

UDK.621.31

ENJAAC 37 (1-6) 1-706 (1988)

YU ISSN 0013 — 7448

# energija

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

Zagreb, prosinac 1988

# SADRŽAJ »ENERGIJE« U 1988. GODINI

	str.	br.		str.	br.
<i>Aksin M.</i> : Za brže iskorištenje hidroenergetskog potencijala . . . . .	627	6	<i>Mahmutćehajić R. — Hajdin S.</i> : Osvrt na povijest razvoja i primjene visokonaponskih pneumatskih prekidača . . . . .	127	2
<i>Balog M. — Bradač V. — Vojvodić R.</i> : Doprinos sigurnosti i raspoloživosti NE Krško provedbom pogonskih ispitivanja . . . . .	577	5	<i>Malbaša N.</i> : Kritički osvrt na ulogu studije o utjecaju na okolinu u rješavanju ekoloških problema . . . . .	495	5
<i>Begović K.</i> : Izbor tipa proizvodnih grupa za VS Durđevac . . . . .	239	3	<i>Markovčić B.</i> : Naše prve javne elektrane . . . . .	375	4
<i>Bojić S. — Blažičko M. — Stanković D.</i> : Suvremeni pristup održavanju grupe hidroelektrana u slivu . . . . .	573	5	<i>Mehmedović M.</i> : Identifikacija EES u svrhu parametriranja LFC opreme . . . . .	45	1
<i>Crnogorac Ž.</i> : Analiza rastalne karakteristike visokoučinskih osigurača . . . . .	641	6	<i>Milanović Z.</i> : Ekološki aspekti izgradnje TE-TO na otpad u Zagrebu . . . . .	327	4
<i>Čerina P. — Šaina B.</i> : 110 kV-tna kabelska veza otok Krk — otok Rab . . . . .	363	4	<i>Mužek Z. — Komerički Z.</i> : Analiza društvene opravdanosti gradnje jedinice za zajedničku proizvodnju topline i električne energije u uvjetima neizvjesnosti . . . . .	475	5
<i>Čorak D. — Mužek Z. — Jelavić V.</i> : Usmjeravanje energetske opskrbe urbane sredine . . . . .	447	5	<i>Mužny J. — Sekso A. — Mihalic D.</i> : Karakteristike mjerne opreme i statističke metode pri ispitivanju izolacijskih sistema u visokonaponskom laboratoriju i na terenu . . . . .	557	5
<i>Filipović-Grčić B.</i> : Novi pristup proračunu podešenja i analizi rada relejne zaštite u visokonaponskim mrežama . . . . .	527	5	<i>Nadinić B.</i> : Utvrđivanje energetske karakteristika termoenergetskih postrojenja . . . . .	551	5
<i>Granić G. — Bradarić M. — Topić J. — Bilčar N. — Alerić S.</i> : Planiranje razvoja elektroenergetskog sistema . . . . .	453	5	<i>Naumovski I.</i> : Zahtjevi kojima mora udovoljiti visokonaponska oprema u uvjetima potresa . . . . .	143	2
<i>Jelavić B. — Klepo M. — Zeljko M. — Tomašić D.</i> : Planiranje eksploatacije elektroenergetskog sistema . . . . .	457	5	<i>Nevečerel D.</i> : Programski sustav RIMA za proračun kratkog spoja u elektroenergetskim mrežama . . . . .	221	3
<i>Jelavić V.</i> : Komparativna analiza računskih modela disperzije polutanata iz točkastih izvora onečišćenja . . . . .	105	2	<i>Nevečerel D.</i> : Proračun kratkog spoja u mreži SR Hrvatske za 1990. godinu . . . . .	11	1
<i>Jelavić V. — Čurković J.</i> : Matematički modeli za procjenu utjecaja termoenergetskih postrojenja na okolinu . . . . .	503	5	<i>Novosel D.</i> : Izbor simulacijskog modela za analizu potfrekventnog rasterećenja EES-a i njegova primjena za podešenje releja prvog stupnja . . . . .	659	6
<i>Jugovac M.</i> : Izvještaj o havariji na nadzemnim vodovima RO »Elektroprimorje« Rijeka u siječnju 1987. godine . . . . .	245	3	Okrugli stol »Energije« . . . . .	305	4
<i>Jung M. — Tonković Z. — Nevečerel D. — Jerbić G.</i> : Utjecaj elektroenergetskih vodova na okolinu . . . . .	533	5	<i>Pehani A. — Jakl F. — Plaper M.</i> : Utjecaj interkonekcije s Austrijom na pouzdanost jugoslavenskog elektroenergetskog sistema . . . . .	5	1
<i>Kalea M.</i> : Neki aspekti prijenosne mreže Mađarske i Čehoslovačke u vezi s tipizacijom dalekovoda 110 kV . . . . .	135	2	<i>Perić A. — Plećaš I. — Kostadinović A.</i> : Pregled razvoja tehnika i mogućnosti primene procesa imobilizacije radioaktivnih otpadnih materijala bitumenskim postupkom . . . . .	343	4
<i>Kandžija V.</i> : Nuklearna energija u energetske politici Evropske zajednice . . . . .	231	3	<i>Petričec M.</i> : Pristup planiranju višenamjenskih hidrotehničkih objekata . . . . .	467	5
<i>Koruza J.</i> : Zbrinjavanje radioaktivnog otpada nuklearnih elektrana . . . . .	581	5	<i>Pešut D. — Topić J.</i> : Analiza potrošnje energije u Jugoslaviji i SR Hrvatskoj . . . . .	209	3
<i>Krejči M. — Štingl H. — Selanec Z. — Kučak J. — Avdejev D. — Bezlaj H.</i> : Consulting-usluge za gradnju energetske postrojenja i osiguranje kvalitete . . . . .	565	5	<i>Popović D.</i> : Prilozi metodici studijskih analiza statičke sigurnosti elektroenergetskih sistema . . . . .	197	3
<i>Krulc Z.</i> : Doprinos poznavanju geotermijske energije u Jugoslaviji . . . . .	339	4	<i>Putanec I.</i> : Pouzdanost napajanja električnom energijom u nuklearnoj elektrani . . . . .	635	6
<i>Kunaj H. — Barilar D.</i> : Značenje i osnove metode optimizacije hladnog kraja termoelektrana . . . . .	541	5	<i>Rajić Ž. — Baldasari D.</i> : Kompenzacija jalove snage i energije u distributivnim mrežama . . . . .	517	5
<i>Magdić M. — Staničić L. — Jurišić S.</i> : Investicije, financiranje, cijena električne energije . . . . .	483	5	Radovi Instituta za elektroprivredu u 1987. godini . . . . .	379	4

	str.	br.		str.	br.
<i>Schenner R.</i> : Usporedba transformatora 10/0,4 kV smanjenih gubitaka i transformatora klasične konstrukcije . . . . .	17	1	<i>Udovičić B. — Pešut D. — Vuk B.</i> : Planiranje razvoja energetskeg sistema . . . . .	439	5
<i>Staničić L.</i> : Izdaci za energiju u osobnoj potrošnji stanovništva . . . . .	357	4	<i>Uglešić I.</i> : Postupak proračuna otpora električnog luka nakon proboja u plinovitim dielektricima . . . . .	647	6
<i>Sicel M.</i> : Današnje stanje mrežno-tonfrekventne komande u SR Hrvatskoj . . . . .	49	1	<i>Vagić N.</i> : Kompenzacija jalovog opterećenja TS 110/20(10) kV Samobor . . . . .	21	1
<i>Štingl H. — Bradač V.</i> : Osiguranje kvalitete pri provedbi periodičkih pogonskih ispitivanja NE . . . . .	653	6	<i>Vuković V.</i> : Otok tri milje i Černobil . . . . .	317	4
<i>Tonković Z.</i> : O naponskom slomu i prilikama u zapadnom dijelu jugoslavenskoga elektroenergetskog sistema . . . . .	513	5	<i>Vučetić V.</i> : Proračun maksimalnih brzina vjetra iz kratkog niza mjerenja duž trase dalekovoda . . . . .	35	1
<i>Tonković Z.</i> : Sekcioniranje gradske mreže 110 kV na primjeru šireg zagrebačkog područja . . . . .	631	6	<i>Zelić M.</i> : Praćenje rada hidroenergetskih objekata . . . . .	569	5
<i>Topić J. — Pešut D. — Staničić L.</i> : Analiza potrošnje energije u Jugoslaviji i SR Hrvatskoj . . . . .	91	2	<i>Žutobradić S. — Delbianco L.</i> : Doprinosi analizi unutrašnjih prenapona u rezistantno uzemljenim razdjelnim mrežama . . . . .	119	2
<i>Torma L. — Stančić M.</i> : Korištenje mjerenja tlaka u uljnome mjernom transformatoru za kontrolu nivoa ulja, tlaka, signalizaciju njihova stanja i zaštitu mjernog transformatora . . . . .	255	3	<i>Žutobradić S. — Mehičić K. — Šimunec R.</i> : Tehničko-informacijski sustav distributivnih mreža SR Hrvatske . . . . .	523	5
			<i>Žutobradić S. — Puharić M.</i> : Uloga uzemljivača stupova u zaštiti distributivnih vodova od atmosferskih prenapona . . . . .	349	4

IZDAVAČI

Godište 37 (1988)

Zagreb 1988

Br. 1

Zajednica elektroprivrednih  
organizacija Hrvatske

Institut za elektroprivredu, Zagreb

SIZ za znanstveni rad Hrvatske

## SADRŽAJ

Riječ glavnog urednika . . . . .	3
<i>Pehani A. — Jakl F. — Plaper M.</i> : Utjecaj interkonekcije s Austrijom na pouzdanost jugoslavenskoga elektroenergetskog sistema (Prethodno saopćenje) . . . . .	5
<i>Nevečerel D.</i> : Proračun kratkog spoja u mreži SR Hrvatske za 1990. godinu (Pregledni rad) . . . . .	11
<i>Schenner R.</i> : Usporedba transformatora 10/0,4 kV smanjenih gubitaka i transformatora klasične konstrukcije (Pregledni rad) . . . . .	17
<i>Vagić N.</i> : Kompenzacija jalovog opterećenja TS 110/20(10) kV Samobor (Stručni rad) . . . . .	21
<i>Vučetić V.</i> : Proračun maksimalnih brzina vjetra iz kratkog niza mjerenja duž trase dalekovoda (Prethodno saopćenje) . . . . .	35
<i>Mehmedović M.</i> : Identifikacija EES u svrhu parametriranja LFC opreme (Prethodno priopćenje) . . . . .	45
<i>Šicel M.</i> : Današnje stanje mrežno-tonfrekventne komande u SR Hrvatskoj . . . . .	49
<b>Vijesti iz elektroprivrede</b> . . . . .	52
<b>Iz strane stručne literature</b> . . . . .	54
<b>Nove knjige</b> . . . . .	58
<b>Oglasi</b> . . . . .	61

## IZDAVAČKI SAVJET

Dr Ivo Hrs, dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Josip Antić, dipl. inž., »Elektroprimorje« Rijeka — Anđelko Modrčin, dipl. inž., »Elektroprivreda« Rijeka — Anđelko Dujmović, dipl. inž., »Elektroslavonija« Osijek — Dragutin Stanić, dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Split — mr Damir Subašić, dipl. ecc., Republički komitet za energetiku — Zdenka Jelić, prof., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Mladen Zeljko, dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Zagreb

## UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: dr Zorko Cvetković, dipl. inž.  
Urednik: Zdenka Jelić, prof.

Urednici rubrika: »Energetski sistemi«, Nikola Bilčar, dipl. inž. — »Hidroelektrane«, Krunoslav Begović, dipl. inž. — »Termoelektrane i Toplane«, Mladen Nadinić, dipl. inž. — Prijenos električne energije, Zdenko Tonković, dipl. inž., Zagreb — »Razvod, distribucija i potrošnja električne energije«, Josip Antić i Mladen Ježić, dipl. inž., — »Ekonomika elektroprivrednih poduzeća, ekonomskofinancijska i tarifna pitanja, te ekonomika poslovanja«, dr Jure Šimović, dipl. oec. i Željko Vodopija, dipl. oec. — Tehnički urednik: Branko Mališ — Lektor: Vladimir Strojny, prof. — Metrološka recenzija: Mladen Zeljko, dipl. inž.

Časopis je oslobođen plaćanja poreza na promet rješenjem Republičkog sekretarijata za prosvjetu, kulturu i fizičku kulturu SR Hrvatske broj 886/1-1979.

## Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica Proleterskih brigada 37

Pošt. pretinac 293, telefoni 511-455, 513-822 (328)

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 6000 dinara, a za poduzeća i ustanove 16000 dinara (za studente 3000) dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 2600.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

Institut za elektroprivredu (za »Energiju«) broj 30101-603-565

Tisak i klišej: RO »Zrinski« TIZ, Čakovec



# SOUR **MONTING** RO ENERGETIKA ZAGREB

RO ZA IZGRADNJU I MONTAŽU  
OBJEKATA I ENERGETSKIH POSTROJENJA  
41000 ZAGREB, Kesterčankova 1

*Predstavništva:*

**MONTING RO ENERGETIKA**  
**38000 PRIŠTINA**  
Dardanja 9/a pt 277  
Telefon: 038/42-900

»INGRA-MONTING«  
**DÜSSELDORF**  
Telefon: 21184788  
Telex: 172114560

»MONTING«-ZAGREB  
**PRAG**  
Telefon: 297223; 292918  
Telex: 122065

Telefoni:

Centrala	041/217-700
Direktor	222-499
Komercijalni sektor	214-960
Tehnički sektor	218-798
Financijski sektor	218-479
Telex: 21473 Mont yu	

## VRŠI IZGRADNJU I MONTAŽU:

- termoelektrana, toplana, energana, hidroelektrana, nuklearnih elektrana, te u sklopu istih montira sva pripadajuća postrojenja, kao kotlovska, turbinska, postrojenja za tretman industrijskih voda, mazutna gospodarstva i drugu pripadajuću opremu
- naftna, petrokemijska i procesna postrojenja
- metalurška, rudarska i postrojenja za proizvodnju obojenih metala
- čeličnih konstrukcija, unutrašnjih i vanjskih razvoda svih medija unutar termoelektrana, toplana, nuklearnih elektrana, hidroelektrana, naftnih, procesnih i metalurških postrojenja



**PROIZVODNI POGON U DUGOM SELU — PROIZVODNJA SILOSA I ČELIČNIH KONSTRUKCIJA**

- remonte i održavanje termoelektrana, hidroelektrana, nuklearnih elektrana, kotlovskih i turbinskih postrojenja, postrojenja za tretman industrijskih voda, mazutnih gospodarstva s rezervoarima, te remont i održavanja unutrašnjih razvoda
- remonte i održavanja naftnih, petrokemijskih, procesnih i metalurških postrojenja
- predušionice i sušionice za drvo, različitih tipova i za različite režime sušenja, postrojenja za zaštitu čovjekove okoline
- antikorozivnu zaštitu čeličnih konstrukcija i opreme

## PROIZVODI:

- čelične konstrukcije, cijevne mostove, stepeništa i galerije, različitih tipova i za različite namjene
- predfabricira cjevovode svih dimenzija i kvaliteta, izrađuje fazonske dijelove za energetska i druga postrojenja
- posude, rezervoare, gazometre raznih tipova, namjena i za različite medije
- projektira u suradnji sa Institutom za drvo — Zagreb, i proizvodi predušionice i sušionice za drvo, različitih tipova i za različite režime sušenja
- raznu specijalnu ne standardnu energetska i drugu opremu za različite svrhe i namjenu

### *Riječ glavnog urednika*

Završila je još jedna godina izlaženja časopisa ENERGIJA, nadamo se uspješno. Na prijelazu u 1988. godinu osvrnimo se na rezultate ostvarene u prošloj i na zadatke koji nas čekaju u ovoj godini.

Kao prvo, treba konstatirati da je svih šest brojeva navrijeme izišlo do kraja godine. Dosljedno svojoj izdavačkoj politici, ENERGIJA se trudila da objavljuje članke visokoga znanstvenog dometa, kao i članke i informacije zanimljive širem krugu elektroprivrednika. Kao novost u 1987. godini ENERGIJA je održala i dva Okrugla stola na kojima je razmatrana najaktualnija problematika razvoja i eksploatacije elektroenergetskog sistema. Upravo bi ta problematika i u 1988. godini trebala biti naglašeno prisutna. Znamo da stalni porast potrošnje nije praćen odgovarajućom dogradnjom elektroenergetskog sistema, što smanjuje pouzdanost i sigurnost rada sistema, a osim toga najavljuje vrlo mračnu sliku za sljedeću deceniju.

Stoga se obraćamo našim suradnicima s molbom za što aktivniju suradnju u obradi tih tema. Nijedan scenarij koji pruža mogućnost zadovoljenja rastuće potrošnje ili nužne sigurnosti ne bi smio ostati neobrađen s tehničke, ekonomske, ekološke i financijske strane, i to bez ikakvih ograničenja. Najskuplji scenarij je ipak redukcija električne energije ili raspadi sistema.

U očekivanju dalje uspješne suradnje, u ime Uredništva ENERGIJE svima želim sretnu i uspješnu 1988. godinu.

Telefon: (041) 216-666

\*

Telegram: TEPEKA — Zagreb

\*

Telex: 21-319 YU TPK ZG

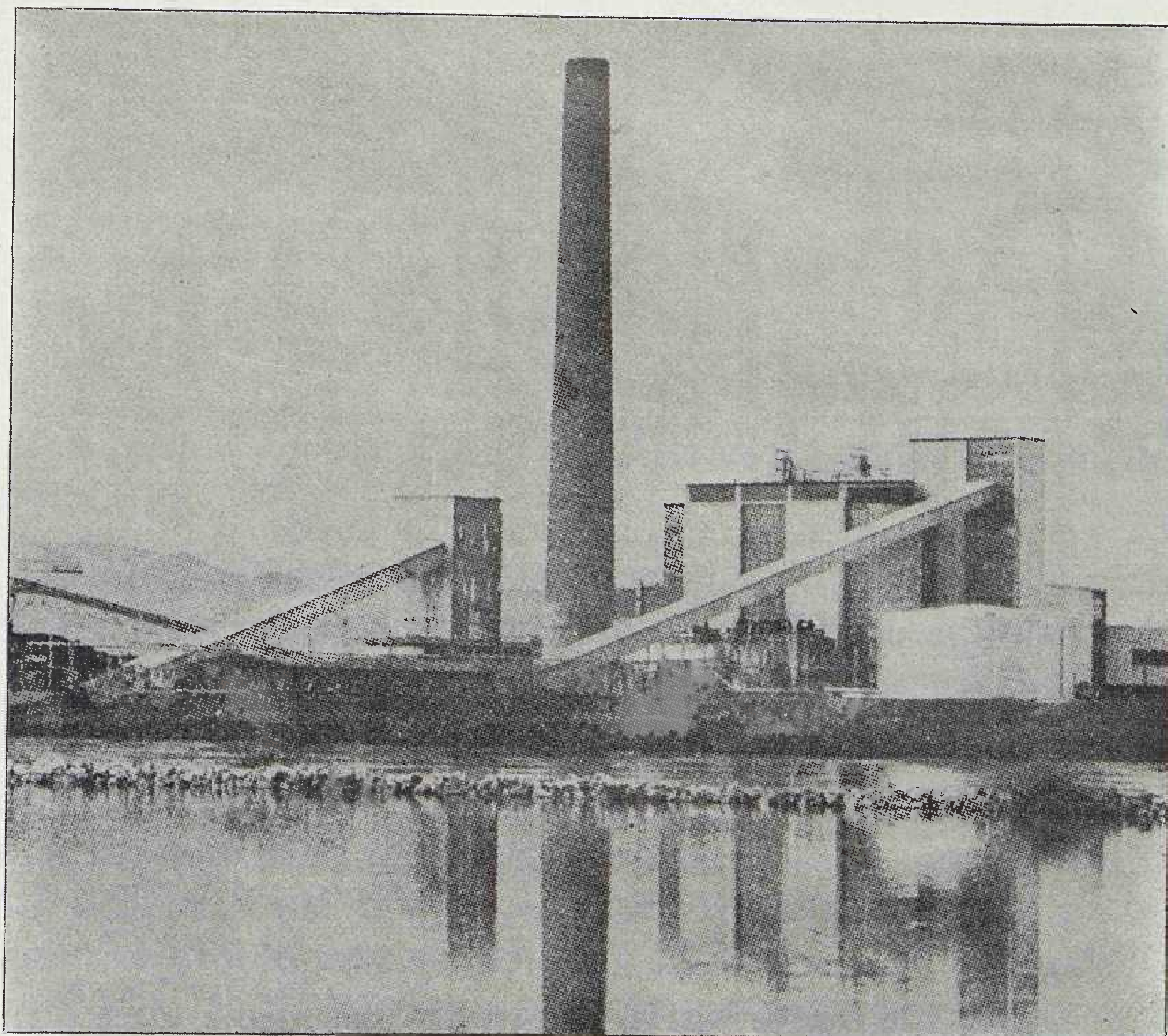
**Projektira**

**Proizvodi**

**Konstruira**

**Montira**

**Izvodi**



#### STACIONARNE KOTLOVE

po vlastitoj dokumentaciji i u suradnji do najvećih učina, tlakova i temperatura pare ili vode: za centralna grijanja • za daljinska grijanja • za tehnološke procese • za pogon parostrojeva • za baznu energetiku

#### BRODSKE KOTLOVE

po vlastitoj dokumentaciji i po licenci: glavne: • pomoćne: na naftu, na ispušne plinove, kompozitne itd.

#### ELEMENTE KOTLOVA

bubnjeve • cijevne sisteme • zagrijače vode • zagrijače zraka • pregrijače pare • čelične konstrukcije itd.

#### OPREMU KOTLOVNICA

uređaje za kemijsku pripremu vode • uređaje za toplinsku pripremu vode • cjevovode • hladnjake pare • spremnike goriva • razne posude pod tlakom • prečistače dimnih plinova • limene dimnjake • uređaje za transport goriva itd.

#### UREĐAJE ZA LOŽENJE

nepokretne roštilje • pokretne roštilje • mlinska ložišta • plinska ložišta • pneumatska ložišta • ložišta za drvenu piljevinu i otpatke • ložišta za ulja • ložišta za plin • drobilice i izbacivače šljake itd.

#### OPREMU ZA PROCESNU INDUSTRIJU

za petrokemijsku industriju • za farmaceutsku industriju • za prehrambenu industriju • za industriju građevinskog materijala • za metalurgiju itd.

#### BRODSKU OPREMU

spremnike • bojlere • hidrofere • rashladnike • zagrijače itd.

#### ARMATURE

ventile ravne, kose i kutne: zaporne, zapornoodbojne, odbojne, regulacione, sigurnosne • hvatala nečistoće • glave za napajanje • termodinamička odvajala kondenzata • kondezne lonce • vodokaze • regulatore vodostaja • ispusne pipe • slavine • prirubnice za navarivanje itd.

#### ELEMENTE ENERGETSKIH UREĐAJA

posude pod tlakom • izmjenjivače topline • razne spremnike • podnice itd.

#### OPREMU ZA TEHNOLOŠKE PROCESSE

za zagrijavanje i toplinske obrade • za transport limova, profila i cijevi • pomoćnu za zavarivanje • za uvaljavanje cijevi itd.

#### PRIBORE

za pogonska ispitivanja vode • za utvrđivanje kvalitete radiograma • za toplinska mjerenja itd.

#### SERVISIRANJE ENERGETSKIH POSTROJENJA

REKONSTRUKCIJE ENERGETSKIH POSTROJENJA  
LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

defektoskopska • kemijska • metalografska • mehanička itd.

#### ATESTACIJU ZAVARIVAČA

RAZVOJNA ZNANSTVENA ISTRAŽIVANJA

# UTJECAJ INTERKONEKCIJE S AUSTRIJOM NA POUZDANOST JUGOSLAVENSKOGA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Dr. Andrej Pehani, Ljubljana — mr. Franc Jakl, Maribor — dr. Marijan Plaper, Ljubljana

UDK 621.311.161

PRETHODNO SAOPĆENJE

Međusobno povezivanje elektroenergetskih sistema jedan je od bitnih postupaka postizanja veće pouzdanosti elektroenergetskih sistema. U članku su ukratko prikazane dosadašnje studije i analize koje su morale biti izrađene za pripremu gradnje 400 kV-tnog dalekovoda Maribor — Kainachtal. Dana je kvantitativna ocjena doprinosa 400 kV-tnog dalekovoda Kainachtal — Maribor povećanju pouzdanosti napajanja potrošača električnom energijom u Jugoslaviji.

**Ključne riječi:** pouzdanost, interkonekcija, dalekovod.

Jugoslavenski elektroenergetski sistem povezan je sa sistemima svih susjednih zemalja. Međunarodne su veze izgrađene radi obostranih koristi. To su:

- brza i djelotvorna pomoć u slučaju havarije te pomoć u regulaciji frekvencije
- posuđivanje električne energije u slučaju velikih manjkova energije ili snage u elektranama
- plasiranje viškova hidroenergije
- razmjena ekonomskog karaktera.

Koristi iz prve alineje mogu se realizirati samo sinhronim povezivanjem sistema, kao u slučaju Jugoslavije i UCPTA-a. S ostalim zemljama Jugoslavija je povezana otočno.

## POVIJEST POVEZIVANJA SA UCPTA-OM

Nakon uključenja Jugoslavije u organizaciju SUDEL 1964. godine, prvo je povezivanje ostvareno 1970. godine izgradnjom 220 kV-tnog SUDEL prstena između Jugoslavije, Austrije i Italije. U 1972. god. organizaciji SUDEL se, osim Austrije, Italije i Jugoslavije, priključuje i Grčka. Godine 1974. uspostavljen je stalni sinhroni rad s Italijom, a 1975. i s Austrijom. U 1977. godini sinhronom se radu pridružuje i Grčka na nivou 150 kV, te 1979. i na nivou 400 kV. Godine 1981. pušten je u pogon 400 kV-tni dalekovod između Italije i Jugoslavije. To je stanje do danas nepromijenjeno.

## ENERGETSKA OPRAVDANOST 400 kV-TNOG DALEKOVODA MARIBOR — KAINACHTAL

Već se u 1981. godini u studiji Elektroinstituta »Milan Vidmar« iz Ljubljane [1], u analizama za 1985. godinu, pokazalo da samo jedna 400 kV-tna prema zapadu ne zadovoljava sve energetske situacije. Najkritičnijim su se u studiji pokazala stanja, a kasnije je to potvrdila i praksa, u kojima Jugoslavija zimi zbog manjkova energije uvozi velike količine energije. Ti-

me se interkonektivni vodovi okupiraju stalnim prijenosom i ne mogu pomoći u slučajevima havarija u Jugoslaviji ili Grčkoj. Naprotiv, u slučaju havarija dalekovodne se veze preopterećuju i ispadaju, što u jugoslavenskom sistemu izaziva još veće poteškoće.

Iako između Italije i Austrije, s jedne, i Jugoslavije, s druge strane, postoje dvije 220 kV-tne i jedna 400 kV-tna veza, krajnja je mogućnost prijenosa prema Jugoslaviji 100 do 1100 MW. Prema spomenutoj studiji, razlog tome je nehomogenost veza prema Italiji i Austriji. U skladu sa 2. Kirchoffovim zakonom, 220 kV-tni vod Austrija — Jugoslavija (Obersielach — Podlog) često se opterećuje do granice termičke zaštite prije nego što se iskoriste vodovi iz Italije. Ta je pojava još očitija u slučajevima dodatnih kružnih tokova snaga iz Austrije prema Italiji preko slovenske mreže, koji se pojavljuju kada se snaga prenosi iz Švicarske ili Njemačke u Italiju.

Opisanim je situacijama u studiji [1] utvrđena potreba izgradnje 400 kV-tnog dalekovoda Maribor — Kainachtal za 1985. godinu u jednosistemskoj izvedbi. Znajući da će se veza kasnije morati pojačati, a i zbog velikih poteškoća pri pronalaganju trase, partneri su se dogovorili da će odmah postavljati stupove za dvostruki vod.

## PROBLEMATIKA UTVRĐIVANJA TRASE I UTJECAJ DALEKOVODA NA OKOLINU

Pitanje trase dalekovoda prvi je put pokrenuto 1973. godine prilikom izbora trasa za 400 kV-tne dalekovode »Osnovne prijenosne mreže Nikola Tesla«. Analize trasa tada su pokazale da od 2 milijuna ha ukupne površine u Sloveniji milijun ha čine šumske površine, a 375000 ha zemljišta je pod zakonskom zaštitom Zavoda za zaštitu spomenika SR Slovenije. To zemljište zauzimaju prirodni i krajinski parkovi, prirodni rezervati, prirodni spomenici, prašume i slično. U to su se vrijeme u Sloveniji počele sistematski prou-



čavati trase dalekovoda svih naponskih nivoa, plinovoda i naftovoda. Pitanja energetske koridora rješavala su se u suradnji sa svim institucijama i organizacijama koje brinu o zaštiti prirode i ekonomskih interesa svih korisnika prostora, analizirajući šumarske, poljoprivredne, ekološke, krajinske, kulturne i druge aspekte.

Takva su ispitivanja provedena i u toku pripreme gradnje dalekovoda Maribor – Kainachtal [6], [7], [8], [9], [10]. Od 1973. godine, kada su počeli prvi radovi za pronalaženje najpogodnije trase od TS 400/110 kV Maribor do državne granice s Austrijom, do 1985. godine, kada je izdana službena lokacija dozvola za taj dalekovod, razmotreno je više varijanti trase, uz mnoga usuglašavanja s austrijskim partnerom. Treba napomenuti da su se i austrijski graditelji pri utvrđivanju trase na svom terenu suočavali sa sličnim problemima.

U periodu finalizacije utvrđivanja već konačno usuglašene lokacije trase, osim nabrojanih općih zahtjeva, pojavio se i poseban zahtjev nadležnog Zavoda za spomeniško varstvo iz Maribora. Postavljen je poseban zahtjev za zaštitu ptica selica jer one udaraju u dalekovodne provodnike u krajinskom parku Jarenini, nedaleko od Maribora, koji se nalazi na međunarodnom putu seobe ptica u pravcu sjever – jug. S obzirom na to da nije bilo moguće zaobići taj krajinski park, Zavod je zahtijevao postavljanje određenih markacija i prepreka za udaljavanje ptica od dalekovoda, pozivajući se na Zakon o ratifikaciji međunarodne konvencije o zaštiti ptica (Sl. l. SFRJ br. 6/73), uz izradu specijalnih studija za istraživanje ornitofaune na tom području te migracije ptica selica u toku cijelog migracijskog perioda. Više detalja o problematici utvrđivanja trase dalekovoda Maribor – Kainachtal i o utjecaju te gradnje na okolinu nalazi se u literaturi [2].

Osim mnogih prostorskih, financijskih i ekoloških problema u pripremi za gradnju bilo je potrebno riješiti i niz tehničkih problema koji se odnose na problematiku utjecaja dalekovoda na objekte u njegovoj blizini. Posrijedi su bili elektromagnetni utjecaji na susjedne TK vodove (PTT, JŽ, SUP, smještaj vojske), utjecaj na prijem radijskih i TV-signala u stambenim zgradama u neposrednoj blizini dalekovoda te utjecaj na plinovod Ceršak – Rogatec, gdje je dužina približavanja pri paralelnom vođenju bila 19.375 m. Više detalja o tom pitanju nalazi se u literaturi [2], [11], [12].

Primjer dalekovoda Maribor – Kainachtal pokazuje da pri gradnji dalekovoda, uz standardne zahtjeve za zaštitu okoline, ubuduće treba očekivati i nove. U posljednje se vrijeme zahtjevi sve više zaoštavaju, što svakako utječe na još detaljniju mikrorazradu trasa dalekovoda i produžavanje procesa gradnje dalekovoda. Stoga je razumno što bolje iskoristiti već utvrđenu trasu, odnosno odmah izgraditi dvostruki dalekovod.

## POKAZATELJ POUZDANOSTI ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Dalekovod Maribor – Kainachtal 400 kV povećat će propustljivost veza između UCPTE-a i Jugoslavije od današnjih 1000 MW na bar 1600 MW u jednostrukoj izvedbi, te na 2200 MW u dvostrukoj izvedbi. Time bi se povećala mogućnost pomoći Jugoslaviji od UCPTE-a, zbog čega bi pouzdanost opskrbe potrošača u Jugoslaviji porasla.

Izradom prostornog modela hidrotermalnog sistema [3], [4] u Elektroinštitutu »Milan Vidmar« dobili smo mogućnost izračunavanja kvantitativnih pokazatelja pouzdanosti opskrbe potrošača električnom energijom. U studiji [3] napravljeni su i prvi pokušaji izračunavanja pouzdanosti po područjima za jugoslavenski sistem u samostalnom radu te u interkonekciji s UCPTE-om. Da bismo objasnili značenje upotrijebljenog indeksa pouzdanosti, koji u našoj stručnoj javnosti još nije u čestoj upotrebi, ukratko ćemo obrazložiti što ustvari znači model računa i iz kojih podataka proizlazi.

U našem prostorskom modelu elektroenergetski sistem je modeliran od više energetske područja, međusobno povezanih dalekovodima. Model odjednom obrađuje neki vremenski interval (obično dan ili tjedan) karakterističan za neko duže razdoblje (mjesec, sezonu).

Za svako je područje dan sredeni dijagram potrošnje u promatranom vremenskom intervalu i energetske podaci o proizvodnim jedinicama na tom području. Za termojedinice se daje i vjerojatnost ispada jedinice, a za hidroelektrane je navedena raspoloživa energija u vremenskom intervalu u različitim hidrološkim uvjetima. Veze između područja dane su snagama i vjerojatnostima pojvaljivanja različitih stupnjeva propusnosti.

U prvom dijelu proračuna pripremaju se ulazni podaci za prostornu obradu koja se nalazi u drugom dijelu.

U prvom se dijelu potrošnje po područjima najprije sumiraju u dijagram potrošnje sistema kao cjeline. Na osnovi tog dijagrama izračuna se angažiranje hidroelektrana. Njihova se proizvodnja primjeni na područja. Izračunaju se snage i vjerojatnost pojave viškova i manjkova po područjima, uzimajući u obzir osciliranje potrošnje, proizvodnju hidroelektrana u različitim hidrološkim uvjetima i vjerojatnost ispada termičkih jedinica. Time je završena priprema podataka za prostornu obradu.

U drugom se dijelu u prostornoj obradi, izračunava vjerojatnost da se manjkovi nekih područja ne mogu pokriti viškovima drugih područja. U proračunu se primjenjuje metoda dekompozicije stanja sistema.

Stanja sistema modeliraju se na osnovi diskretnih vrijednosti za viškove i manjkove po područjima te diskretnih vrijednosti propusnosti veza. Te diskretne vrijednosti označavaju stanja elemenata sistema. Svaki element sistema (područje, veza) zauzima svoja stanja vjerojatnošću izračunatom u prvom dijelu proračuna. Stanje sistema je kombinacija stanja ele-

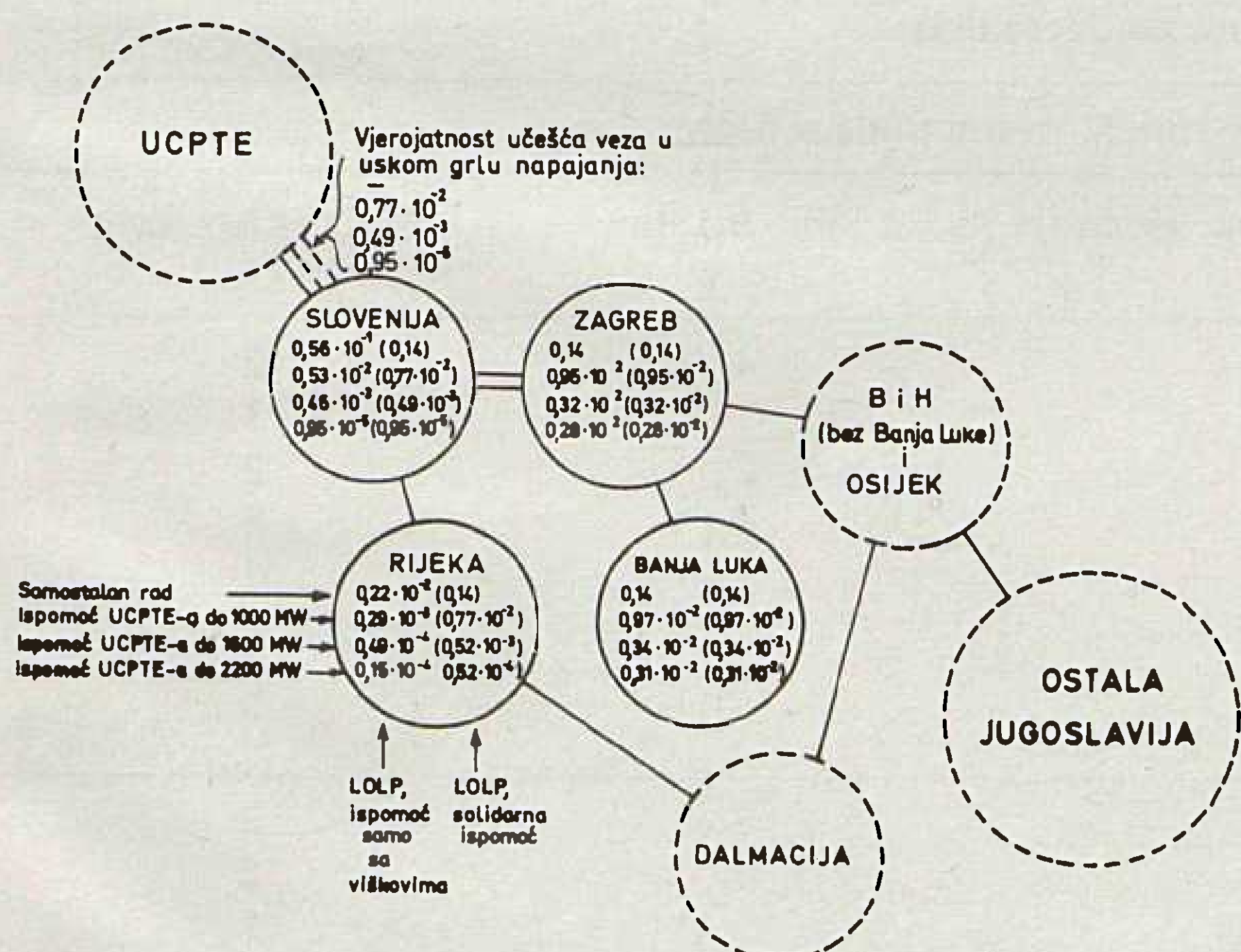
menata. Neka stanja nemaju manjkove po područjima, u drugima viškovi jednih područja mogu pokriti manjkove drugih. Sva ta stanja mogu podmirivati ukupnu potrošnju. Za proračun pouzdanosti zanimljiva je treća grupa stanja u kojoj se ne mogu pokriti svi manjkovi. Suma vjerojatnoća pojave tih stanja, prema definiciji, jest pokazatelj (ne)pouzdanosti sistema, u literaturi označen simbolima LOLP (Loss of load probability) ili LOLE (loss of load expectation). Pokazatelj LOLP u našim proračunima odnosi se na područje ili sistem kao cjelinu te, dakle, daje vjerojatnost (u relativnom obliku ili postocima) prema kojoj sistem ili dio sistema odnosno područja neće biti potpuno napajani zbog nedovoljnog dimenzioniranja proizvodnog sistema ili superponirane mreže.

### DOPRINOS DALEKOVODA KAINACHTAL — MARIBOR POUZDANOSTI SISTEMA

(Ne)pouzdanost sistema, u ovisnosti o intenzitetu međunarodnog povezivanja, u analizi ćemo prikazati za prilike koje se prema studiji [5] očekuju u jugoslavenskom sistemu za 1990. godinu. Predviđa se da će vrh potrošnje u Jugoslaviji biti 15500 MW, a instalirane snage termičkih jedinica 12500 MW. Neizvjesnost proizvodnje u hidroelektranama obuhvaćena je sa po tri hidrološka stanja: za decembar 1990. to su proizvodnje 70, 100 i 133 GWh/dan, s pripadajućim vjerojatnostima 25, 50 i 25 %. Snaga hidroelektrana izračunava se prema energiji iz dijagrama potrošnje. Analiza je rađena s posebnim osvrtom na zapadni, energetske pasivan dio zemlje, za koji su obrađivači raspolagali i pouzdanijim energetske podacima. Taj smo dio zemlje podijelili na četiri područja (sl. 1):

- područje Slovenije
- riječko područje (kao dio Hrvatske),
- zagrebačko područje (dio Hrvatske),
- banjalučko područje (dio BiH).

Ostalu smo Jugoslaviju modelirali u tri područja koja u analizi označuju vanjski ekvivalent sistema, a na slici su prikazana iscrtkanim kružnim linijama.



Slika 1. Pokazatelji pouzdanosti LOLP za analizirani sistem u decembru 1990. god.

Potrošnja, termičke jedinice i hidroenergija raspoređeni su na sedam spomenutih područja kako pokazuje 1. i 3. tablica. Područja su bila povezana dalekovodnim vezama; uz postojeće vodove uzet je u obzir i 400 kV-tni dalekovod Zagreb — Banja Luka.

Pokazatelji pouzdanosti LOLP, koji su rezultat proračuna prikazani su na 1. slici, i to za četiri varijante povezivanja prema sistemu UCPTE-a. Pokazatelji su prikazani prema područjima u stupcima; svaki redak stupca pripada jednoj varijanti povezivanja.

Pokazatelji u prvim redovima stupaca odnose se na jugoslavenski sistem u samostalnom radu. Pokazatelji pouzdanosti dosta su slabi. Ako energetska područja promatramo kao elemente sistema koji svojom proizvodnjom ponajprije podmiruju vlastitu potrošnju, a samo u slučaju viškova podmiruju i manjkove susjednih područja (kada to međupodručne veze dozvoljavaju), u decembru 1990. na područjima Zagreba i Banje Luke pojavile bi se smetnje u napajanju potrošača, i to s vjerojatnošću (prema analizi) od 14 %; drugim riječima, to je vjerojatnost prema kojoj svi potrošači neće biti dokraja napajani zbog nedovoljno dimenzioniranog sistema na nivou proizvodnje i nivou superponirane mreže. (U vjerojatnost nije uključena i mogućnost nenapajanja potrošača zbog drugih razloga, npr. zbog manjkova goriva u termoelektranama ili havarija u distributivnoj mreži.) Pokazatelj pouzdanosti za Sloveniju na slici je 0,056 (što u postocima iznosi između 5 i 6 %), a za područje Rijeke, imajući u rezervi u TE Urinj, pokazatelj je niži od 1 %.

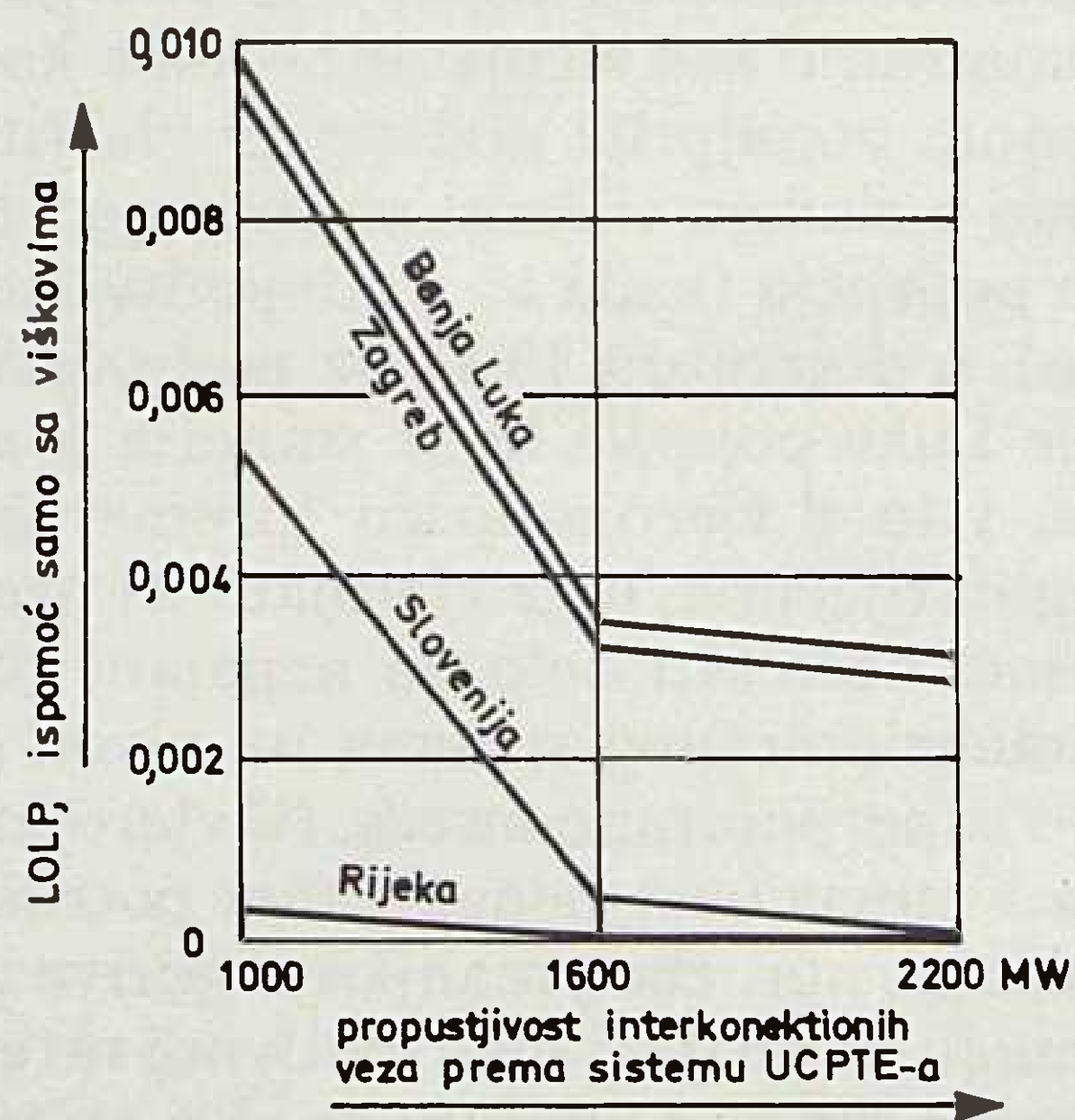
Brojke u drugim stupcima (u zagradama) navode pokazatelje pouzdanosti u slučaju da susjedna područja pomažu deficitnim područjima i u slučajevima kada nemaju viškova snage (znači na svoju štetu). Uz takvo polazište, posljedice deficita na nekom području proširuju se i na susjedna područja, pa su stoga te brojke veće od prvih ili su jednake. Jednake su samo za najslabije napajana područja u sistemu.

Pokazatelji u drugim redovima stupaca odnose se na sistem koji je u radu povezan sa sistemom UCPTE postojećim vodovima (ispomoć do 1000 MW). Vrijednosti pokazatelja smanjuju se na svim područjima na manje od 1 %. Najviše se popravljaju na područjima gdje su dotad bili najnepovoljniji (Zagreb, Banja Luka). Ta se tendencija nastavlja, ako se uključe prvi i drugi sistem dalekovoda Kainachtal — Maribor. Treći (ispomoć do 1600 MW) i četvrti (ispomoć do 2200 MW) redovi u stupcima odnose se na te varijante.

Pokazatelji su unijeti i u dijagram na 2. slici, na kojoj je prikazano poboljšanje pokazatelja pouzdanosti u analiziranom sistemu u slučaju da postojećim vezama prema sistemu UCPTE dodamo još jednostruki ili dvostruki dalekovod Kainachtal — Maribor. Utjecaj dodatne veze najbolje se osjeća u Sloveniji, ali se i pokazatelji nepouzdanosti na području Zagreba i Banje Luke smanjuju na trećinu.

Tablica 1. Potrošnja i raspoloživa hidroenergija po područjima

Područje	Vrh potrošnje (MW)	Raspoloživa hidroenergija u decembru (GWh/dan)			
		niža vjeroj. 25 %	srednja v. 50 %	v. 25 %	
Slovenija	1870	4,5	7,2	9,9	657
Zagreb	1220	1,4	2,2	3,0	168
Rijeka	440	5,4	7,1	8,8	399
Banja Luka	440	—	—	—	—
Dalmacija	570	9,9	15,8	21,7	1171
BiH – B.L. + Osijek	2110	17,4	25,2	33,0	1883
Ostali dio Jugoslavije	8850	31,4	42,5	56,6	3636



Slika 2. Doprinos 400 kV-tnog dalekovoda Maribor – Kainachtal pouzdanosti napajanja pojedinih područja

Na 1. slici dana je vjerojatnost da i nedovoljna propustljivost dalekovoda između Jugoslavije i UCPTe-a pridonosi uskom grlu napajanja potrošača. Ta se vjerojatnost prema analizi smanjuje sa 0,77 %, pri sadašnjem opsegu veza, na 0,00095 %, u slučaju izgradnje dvostrukog dalekovoda Maribor – Kainachtal.

U analizirani sistem za 1990. godinu uključeno je, u odnosu prema sadašnjem stanju, niz novih elektrana (tablica 2). Ako se dinamika gradnje elektrana uspori taj će sustav elektrana poslije 1990. godine biti opte-

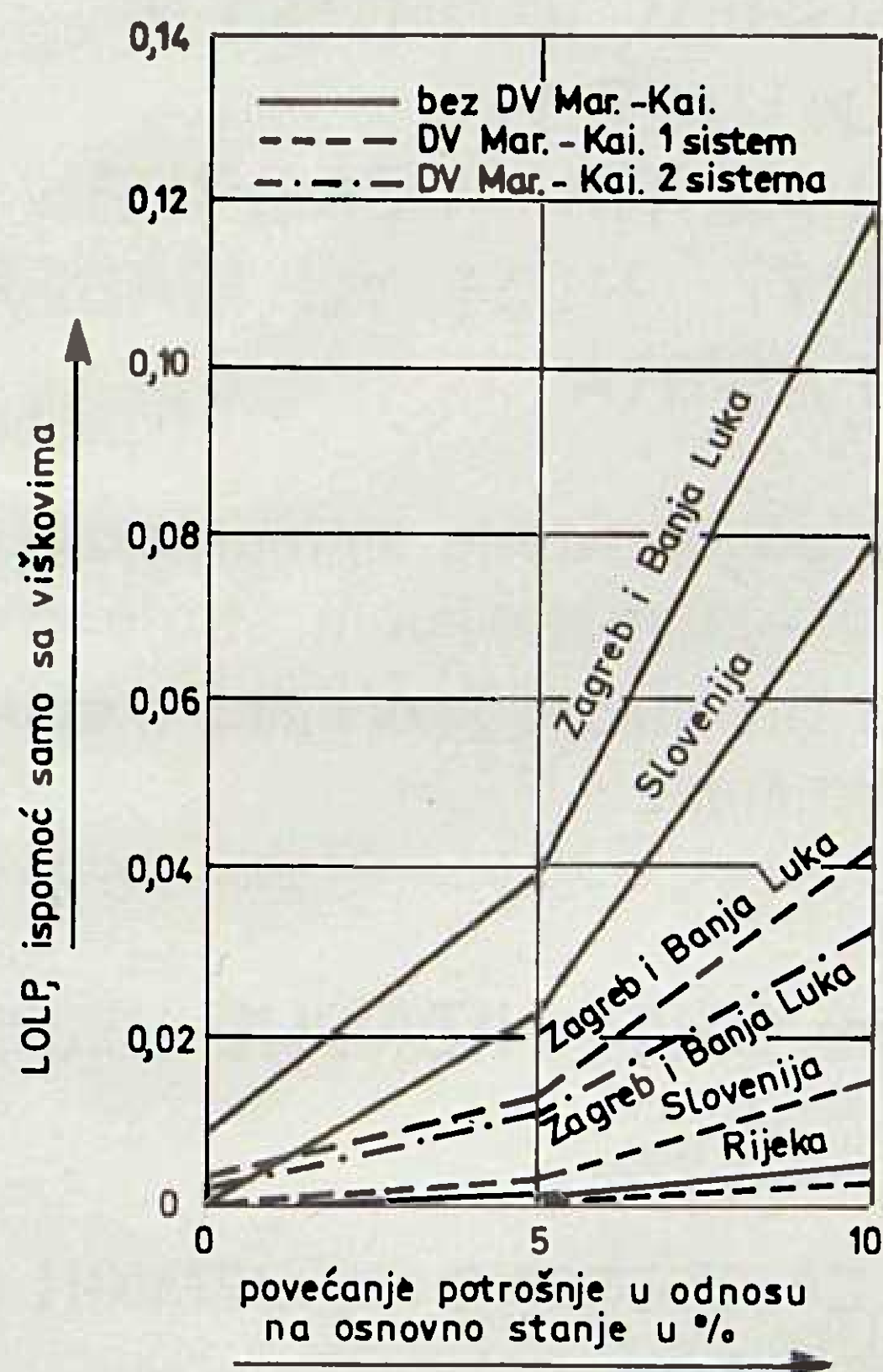
Tablica 2. Termičke elektrane koje su uključene u sistem osim elektrana iz 1984. god.

Elektrana	Snaga u MW
Ugljevik	279
Tuzla B	460
Kakanj 5	210
Ugljevik II	279
Osijek III	42
Plomin II	188
Bitola III	193
TE – TO Skoplje	164
Drmno I	320
Drmno II	320
Kolubara B I	275
Kolubara B II	275
Kosovo B II – 1	310
Kosovo B II – 2	310
Zrenjanin	81
Kovin	192
Novi Sad II	110
Trbovlje	1960
N. Tesla B	575,4

rećen većom potrošnjom. Uvjeti pokrivanja potrošnje bit će teži, što se vidi iz dijagrama na 3. slici. Dijagram pokazuje porast pokazatelja pouzdanosti u slučaju da analizirani proizvodni sistem mora pokrivati 5 ili 10 % veću potrošnju. Potrošnja je na svim područjima proporcionalno povećana. Pouzdanost

Tablica 3. Termičke proizvodne jedinice uzete u obzir u analizama za decembar

Gorivo	Snaga na pragu (MW)	Broj jedinica prema područjima						
		Slovenija	Zagreb	Rijeka	Banja Luka	Dalmacija	BiH – B. Luka Osijek	Ostali dio Jugoslavije
čvrsto	50	4					4	2
	100	1		1			1	3
	150						2	2
	200	1		1			4	8
	250	1					1	4
	300	1						6
	500						1	2
	600	1						
tekuće ili plinovito	50	2	2				2	2
	100							2
	150		2					1
	200							1
	300			1				



Slika 3. Pogoršavanje pokazatelja pouzdanosti u slučaju porasta potrošnje uz neizmijenjeni sustav elektrana

napajanja potrošača u Jugoslaviji u takvoj se situaciji brzo pogoršava i bez dalekovoda Kainachtal – Maribor postaje neusporedivo manja od one u normalnim prilikama. Od prikazanih područja opet su najkritičnija područja Zagreba i Banje Luke, gdje je faktor nepouzdanosti bez dalekovoda Kainachtal – Maribor čak 12 %. Izgradnjom dvostrukog dalekovoda taj bi se faktor smanjio na 3,3 %, tj. gotovo na četvrtinu.

## ZAKLJUČAK

Dalekovod Maribor – Kainachtal poboljšava pouzdanost napajanja potrošača, i to ne samo u prikazanom zapadnom dijelu Jugoslavije, nego u čitavoj Jugoslaviji, što u ovom članku, zbog nedostatka podataka, nismo mogli pokazati. Taj je efekat mnogo izrazitiji u slučaju usporene gradnje elektrana u Jugoslaviji, kakva se realno može očekivati. U takvoj je situaciji jače sinhrono povezivanje sa susjedima jedina mogućnost da se jugoslavenskim potrošačima osigura normalna opskrba električnom energijom. Stoga bi već utvrđenu trasu dalekovoda Maribor – Kainachtal trebalo maksimalno iskoristiti gradnjom dvostrukog 400 kV-tnog dalekovoda.

## LITERATURA

- [1] M. PLAPER, A. PEHANI: »Analiza paralelna obratovanja 400 in 220 kV omrežij Jugoslavije, Italije in Avstrije«, Elektroinštitut »Milan Vidmar«, ref. št. 823, Ljubljana, 1981.
- [2] F. JAKL: »Problematika predhodnih del na daljnovodu 2 × 400 kV Maribor – Kainachtal (Avstrija)«, »Elektrotehniški vestnik«, vol. 54, št. 1–2, str. 61–76, Ljubljana, 1987.
- [3] A. PEHANI, A. BABIČ: »Zanesljivost napajanja porabe po elektroenergetskih područjih Slovenije«, Elektroinštitut »Milan Vidmar«, ref. št. 1000, Ljubljana, 1987.

- [4] A. PEHANI: »Probabilistički prostorski model elektroenergetskog sistema«, XVII. savjetovanja JUKO CIGRE, ref. br. 31.13, Struga, maj 1985.
- [5] Z. MLADENVIĆ, N. NOVOSELAC, S. RAĐENVIĆ, G. HINIĆ: »Analiza mogućnosti primene jedinstvenih kriterijuma sigurnosti u jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu za ocenu ukupne potrebne izgradnje rezervnih kapaciteta«, Energoprojekt, Beograd, 1985.
- [6] M. CIGLAR: »Trasiranje in oblikovanje koridorjev električnih daljnovodov«, »Gozdarski vestnik«, 31, Ljubljana, 1973.
- [7] M. ADAMIČ: »Koridorji 380 kV daljnovodov in lovstvo«, »Lovec«, 12, Ljubljana, 1976.
- [8] Inštitut za gozdno in lesno gospodarstvo pri Biotehniški fakulteti Ljubljana: Oblikovanje in ureditev koridorjev 380 kV daljnovodov v Sloveniji, Ljubljana, 1976.
- [9] J. JAKŠE, J. KERN: »Oblikovanje daljnovodnih koridorjev in vključevanje le-teh v okolico«, ref. br. 22.11 na XIII. savetovanju JUNAKO CIGRE, Bled, 1977.
- [10] B. JOVANOVIĆ: »Uklapanje dalekovoda u okolinu – današnja shvatanja i pogledi na razna rešenja«, ref. 22.12 na XIV savetovanju JUKO CIGRE, Sarajevo, 1979.
- [11] T. MARINČEK, F. CURK, F. JAKL: »Istraživanje uticaja 110 kV dalekovoda na paralelni plinovod«, XVIII. savetovanje elektroenergetičara Jugoslavije JUKO CIGRE, ref. 36.08, Budva, april 1987.
- [12] F. JAKL, T. Marinček: »Vpliv DV 2 × 400 kV Maribor – Kainachtal (Avstrija) na sosednje objekte«, referat na III, Höflerjevih dnevnih na Elektroinštitutu »Milan Vidmar«, Ljubljana, november 1987.

## IMPACT OF INTERCONNECTION WITH AUSTRIA ON THE RELIABILITY OF YUGOSLAV POWER SYSTEM

Interconnection of power systems is one of base requirements for greater reliability of power system. In the article are presented up-to-now studies and analyses for preparation of construction of 400 kV overhead line Maribor-kainachtal. It is presented a calculated benefit of 400 kV overhead line Maribor-kainachtal on the reliability of power supply in Yugoslavia.

## EINFLUSS DER GEGENSEITIGEN VERBINDUNG MIT ÖSTERREICH AUF DIE ZUVERLÄSSIGKEIT DES JUGOSLAWISCHEN ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEMS

Die gegenseitige Verbindung der elektroenergetischen Systeme ist eines der bedeutenden Verfahren für das Erreichen einer größeren Zuverlässigkeit des elektroenergetischen Systems. Im Referat werden in Kürze die bisherigen Studien und Analysen geschildert die für die Vorbereitung des Baus der 400 kV Fernleitung Maribor – Kainachtal erarbeitet werden mußten. Es wurde die quantitative Beurteilung des Beitrages der 400 kV Fernleitung Kainachtal – Maribor gegeben und zwar bezüglich der Zuverlässigkeit der Versorgung der Verbraucher mit elektrischer Energie in Jugoslawien.

## ВЛИЯНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ С АВСТРИЕЙ НА НАДЕЖНОСТЬ ЮГОСЛАВСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Взаимо связь электроэнергетических систем является одним из существенных способов повышения надежности электроэнергетических систем. В докладе вкратце изложены предыдущие научные труды и анализы, необходимые для сооружения ЛЭП 400 кВ Каинахталь-Марибор. Дана качественная оценка вклада ЛЭП 400 кВ Каинахталь-Марибор в повышение надежности электроснабжения потребителей в Югославии.

Naslov pisaca:

**Dr. Andrej Pehani, dipl. inž.**  
**Elektroinštitut »Milan Vidmar«**  
**61000 Ljubljana, Jugoslavija**  
**Mr. Franc Jakl, dipl. inž.**  
**Dravske elektrane, 62000**  
**Maribor, Jugoslavija**  
**Dr. Marijan Plaper, dipl. inž.**  
**61000 Ljubljana, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis  
 1987 – 11 – 12



# ASTRA

**SPONZOR-SUORGANIZATOR  
UNIVERZIJADE'87**

ZAGREB  
JUGOSLAVIJA



## Djelatnosti na vanjskom tržištu:

- izvoz-uvoz kompletnih objekata, postrojenja i opreme za sve grane industrije;
- izvoz-uvoz brodova i aviona;
- izvoz-uvoz poljoprivredno-prehrambenih proizvoda;
- međunarodno trgovinsko posredovanje;
- međunarodna trgovina putem mreže inozemnih firmi i predstavništava;
- zastupanje inozemnih firmi.

## Djelatnosti na unutrašnjem tržištu:

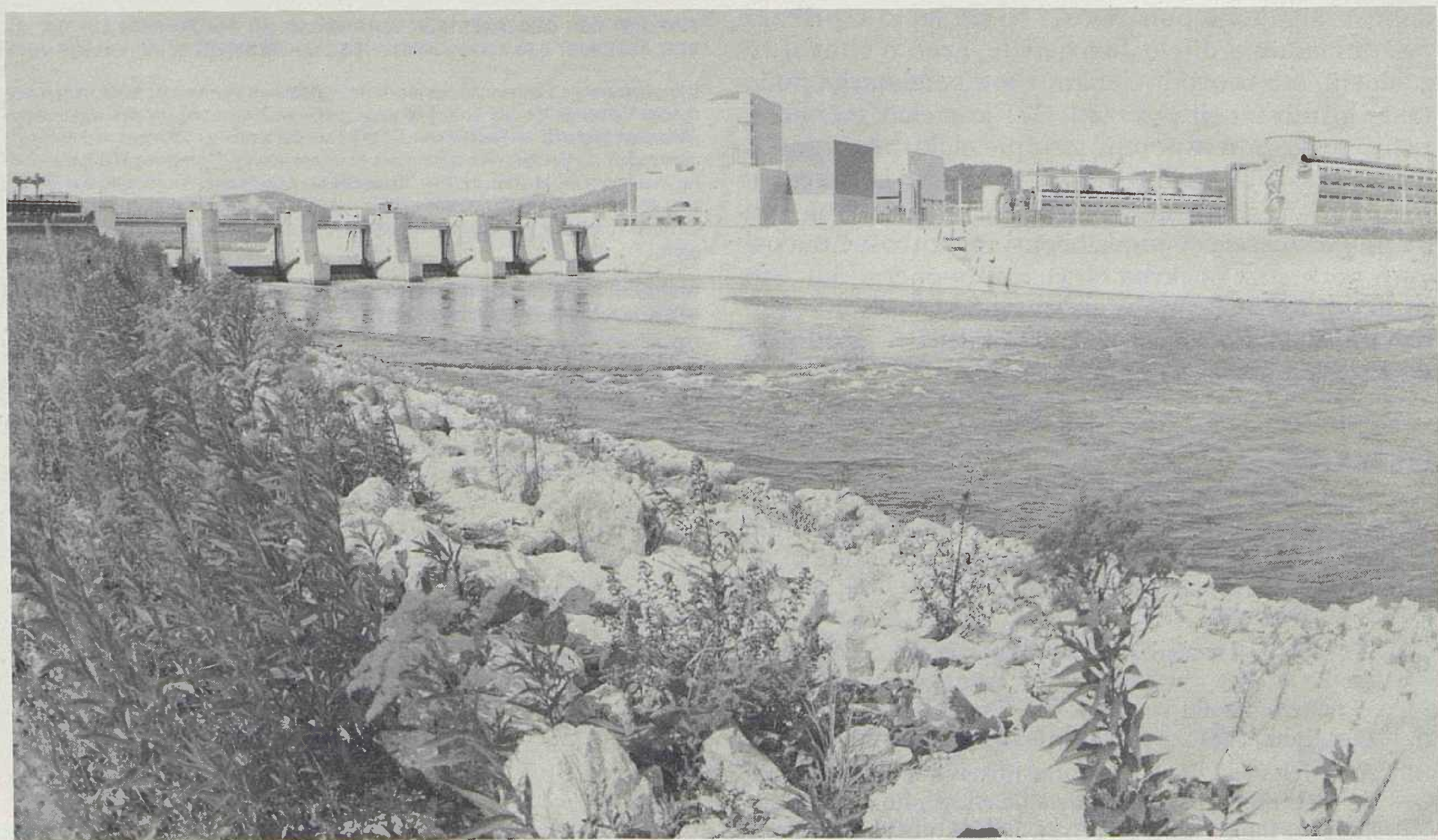
- ugostiteljsko-hotelijska djelatnost putem vlastitih hotela, ugostiteljskih objekata, sportsko-rekreacijskih sadržaja, te prodaja avio-karata i aranžmana putem vlastite turističke agencije;
- prodaja, održavanje i popravak automobila iz programa VOLKSWAGEN-AUDI, te tehnički pregled svih vrsta vozila;

n. sol. o. OOUR-a  
41000 ZAGREB, Varšavska 9  
Telefon: 041/427-111  
Telegram: ASTRA — ZAGREB  
Telex: 21177, 21254 YU MASEX, 21125,  
21281 YU ASTRA

- opskrba poljoprivrede sjemenskom robom, reprodukcijom materijalom, strojevima i alatima;
- opskrba stranih brodova i jahti u domaćim lukama i marinama.

## OSNOVNE ORGANIZACIJE UDRUŽENOG RADA:

- **OOUR ZASTUPSTVO INOZEMNIH FIRMI**, Zagreb, Gajeva 5
- **OOUR MEĐUNARODNA TRGOVINA**, Zagreb, Gajeva 5
- **OOUR MAŠINOIMPEX**, Zagreb Varšavska 9
- **OOUR ZA VANSJKU I UNUTRAŠNJU TRGOVINU POLJOPRIVREDNO-PREHRAMBENIH PROIZVODA**, Zagreb, Harambašićeva 19
- **OOUR AUTOMOBILNE DJELATNOSTI**, Velika Gorica, Zagrebačka bb
- **OOUR UGOSTITELJSTVO**, Stubičke toplice
- **OOUR UGOSTITELJSTVO TOPLICE**, Krapinske Toplice
- **OOUR UGOSTITELJSTVO KUMROVEC**, Tuhejske Toplice



NE KRŠKO za koju je veliki dio opreme uvezla R. O. Mašinoimpex

# PRORAČUN KRATKOG SPOJA U MREŽI SR HRVATSKE ZA 1990. GODINU

Mr. Davor Nevečerel, Zagreb

UDK 621.3.012.5  
PREGLEDNI RAD

Prikazane su pretpostavke proračuna, način računanja i rezultati proračuna najvećih struja početnoga tropsnoga i jednopolnoga kratkog spoja, koji su izradeni pod spomenutim naslovom u Institutu za elektroprivredu, III. 1987. godine.

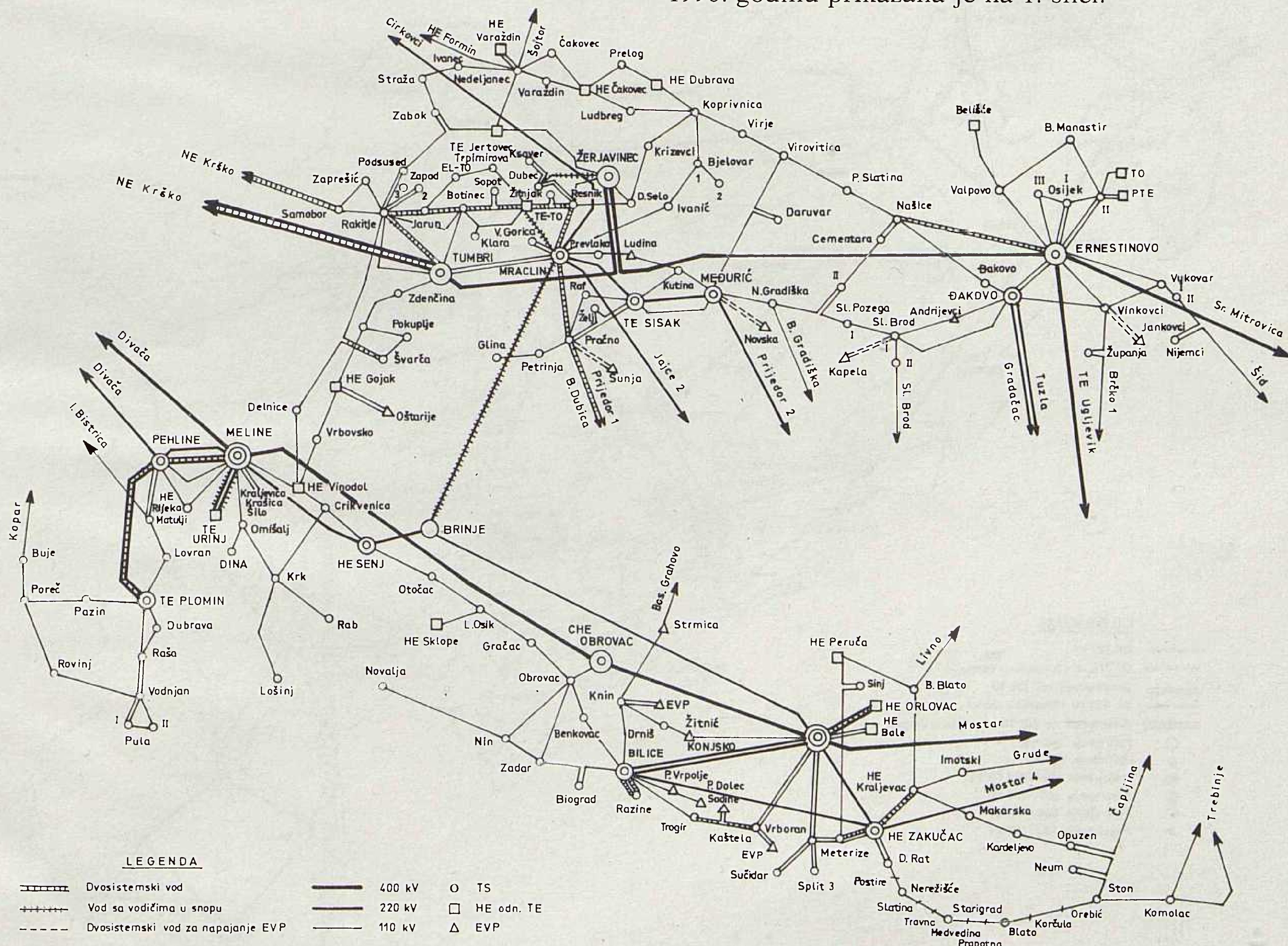
Ključne riječi: kratki spoj, mreža 1990. godine.

## 1. UVOD

Proračuni kratkog spoja u elektroenergetskim mrežama temeljne su studije za dimenzioniranje i kontrolu elektroenergetskih postrojenja i uglavnom se provode po definiranim razvojnim pravcima za odre-

đena, najčešće srednjoročna, perspektivna razdoblja. Proračun najvećega početnog kratkog spoja u mreži SR Hrvatske za 1990. godinu [1] kontinuirano se nastavlja na proračun kratkog spoja u mreži Hrvatske za 1985. godinu [2].

Prijenosna mreža 400, 220 i 110 kV SR Hrvatske za 1990. godinu prikazana je na 1. slici.



Slika 1. Prijenosna mreža SR Hrvatske za 1990. godinu

Budući da je prijenosna mreža na području SR Hrvatske integralni dio prijenosne mreže Jugoslavije, proračuni kratkog spoja u mreži Hrvatske moraju respektirati utjecaje ostale mreže Jugoslavije. Modeliranje tog utjecaja provedeno je jednostavnom redukcijom pasivne elektroenergetske mreže Jugoslavije na mrežu Hrvatske, preciznije, na prva susjedna čvorišta u mrežama Bosne i Hercegovine, Crne Gore, Slovenije i SAP Vojvodine u odnosu prema mreži Hrvatske.

Prijenosna mreža 400 i 220 kV Jugoslavije prikazana je na 2. slici, na kojoj je utjecaj 110 kV-tne mreže u čvorištima interkonekcije sa 400 i 220 kV-tnom mrežom modeliran nadomjesnim generatorima [3].

## 2. PRETPOSTAVKE PRORAČUNA

Proračun najvećega početnog trolnoga i jednopolnoga kratkog spoja proveden je uz uobičajene pretpostavke. Navedimo ih redom:

1. u proračun su uvršteni svi elementi elektroenergetske mreže, tj. pretpostavljeno je da svi genera-

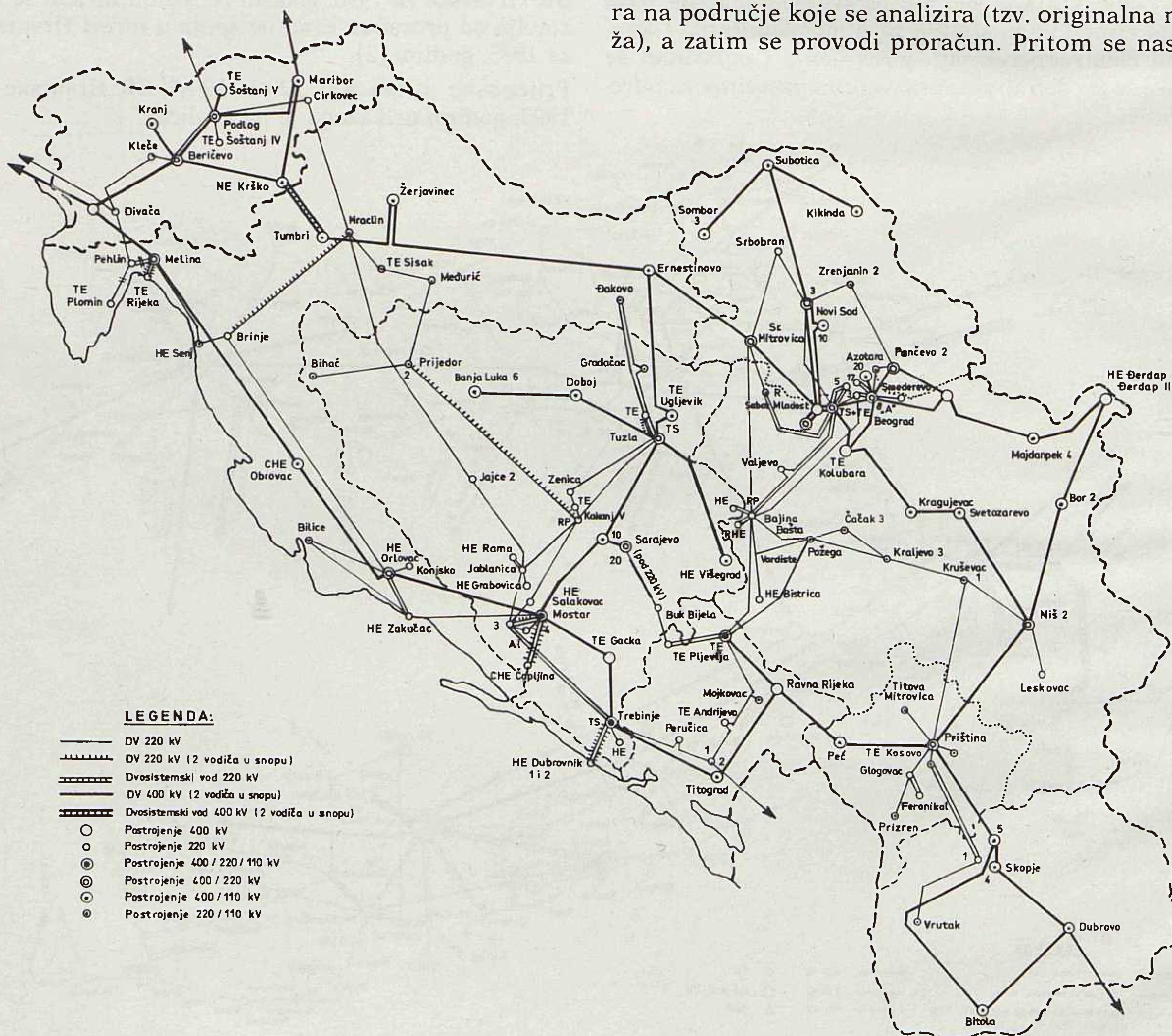
tori, generatorski blok-transformatori, transformatori 110/× kV, interkonektivni transformatori i vodovi 400, 220 i 110 kV paralelno rade u kompletno uzamčenoj mreži,

2. zvjezdišta svih (auto)transformatora uzemljena su direktno,
3. mreža prije nastanka kvara pretpostavljena je u praznom hodu,
4. ekvivalentni napon izvora, jedini aktivni napon u sistemu, definiran je sa  $U_n / \sqrt{3}$ , uz  $U_n = 110, 220$  ili 400 kV.

Proračun kratkog spoja proveden je u mreži SR Hrvatske za 1990. godinu, prema slici 1, a utjecajna elektroenergetska mreža 400 i 220 kV SFRJ prikazana je na 2. slici.

## 3. NAČIN RAČUNANJA

Proračun kratkog spoja u velikim elektroenergetskim mrežama (mreža SRH: 187 čvorova i 272 voda, bez nadomjesne mreže, koja u minimalnoj konfiguraciji sadrži još 33 čvora i 143 voda) provodi se najčešće u dva koraka: najprije se početna mreža reducira na područje koje se analizira (tzv. originalna mreža), a zatim se provodi proračun. Pritom se nastoji



Slika 2. Mreža 400 i 220 kV Jugoslavije 1990. godine

postići minimum reducirane (tzv. nadomjesne) mreže radi lakšeg proračuna.

Programski sustav RIMA, kojim je izvršen navedeni proračun kratkog spoja, sastoji se od dva nezavisna programa povezana u skladnu sjelinu, prikladnu za proračun velikih elektroenergetskih sistema. To su:

1. program za redukciju pasivne elektroenergetske mreže [4],
2. program za proračun kratkog spoja u elektroenergetskim mrežama, izrađen na bazi metodologije proračuna rijetkih matrica [5]

O povezivanju tih programa u skladnu cjelinu, s prikazom mogućnosti rada, izviješteno je već na XVII. savjetovanju elektroenergetičara Jugoslavije CIGRE, u Strugi, 12–15. 05. 1985. godine [6].

Proračun redukcije pasivne elektroenergetske mreže provodi se prema poznatom izrazu za transformaciju opće zvijezde u opći poligon:

$$Y_{s-t} = (Y_{n-s} \cdot Y_{n-t}) / (\sum_{i=1} Y_{n-i}),$$

gdje su s i t čvorovi grana polinoma, a reducira se čvor n.

Proračun struja kratkog spoja provodi se također prema poznatim izrazima:

— struja početnoga trolejnog kratkog spoja u čvoru »k«:

$$I_{k3}'' = U_k / (\sqrt{3} \cdot Z_{kk}^d)'' \quad (\text{kA})$$



Slika 3. Rezultati proračuna kratkog spoja u postrojenjima 400 kV na području SR Hrvatske za 1990. godinu

— struja početnoga jednopolnog kratkog spoja u čvoru »k«:

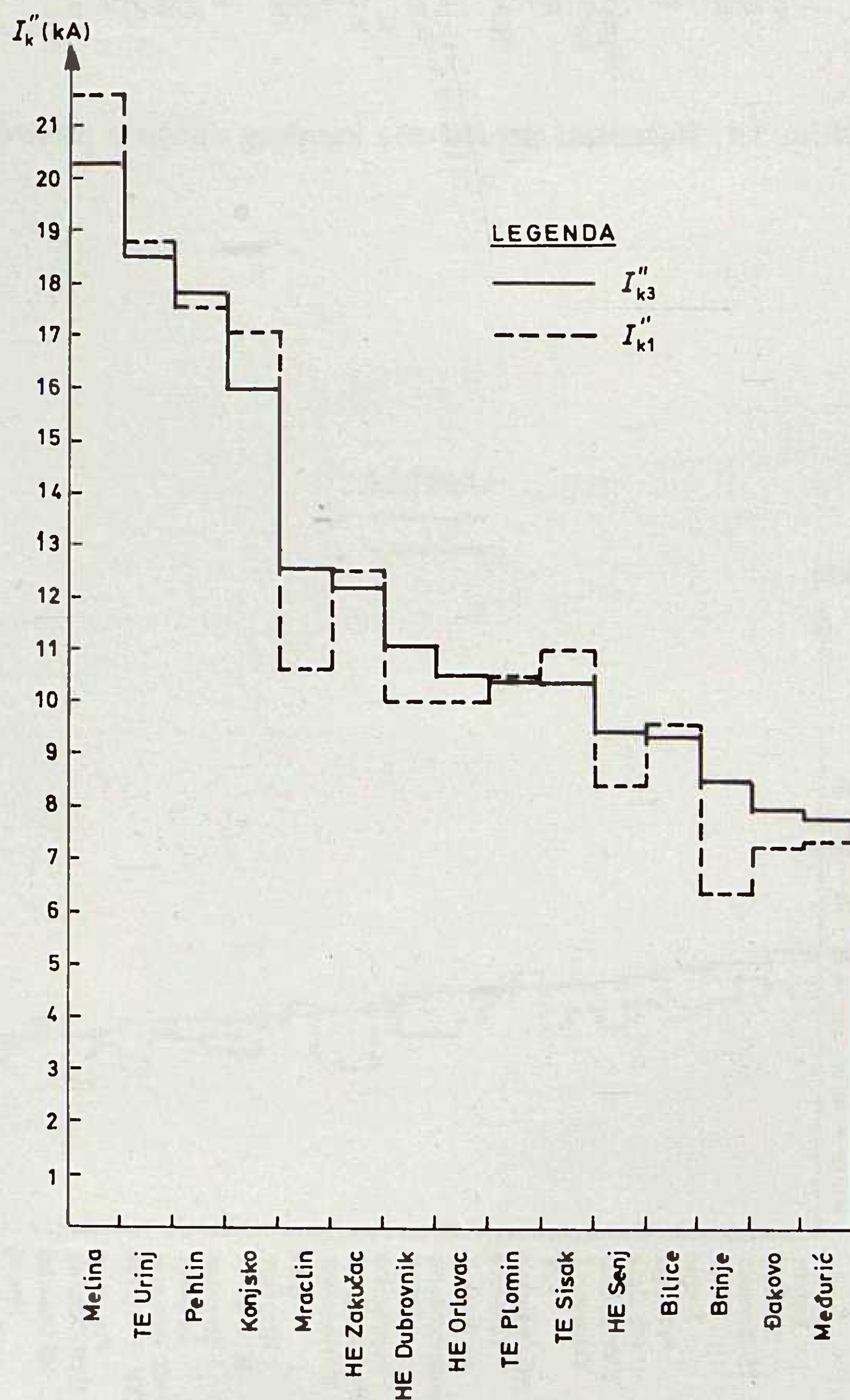
$$I_{k1}'' = \sqrt{3} \cdot U_k / (Z_{kk}^d + Z_{kk}^i + Z_{kk}^o)'' \quad (\text{kA})$$

pri čemu su  $Z_{kk}^{d,i,o}$  vlastite impedancija čvora »k« u sustavu simetričnih komponenata.

#### 4. REZULTATI PRORAČUNA

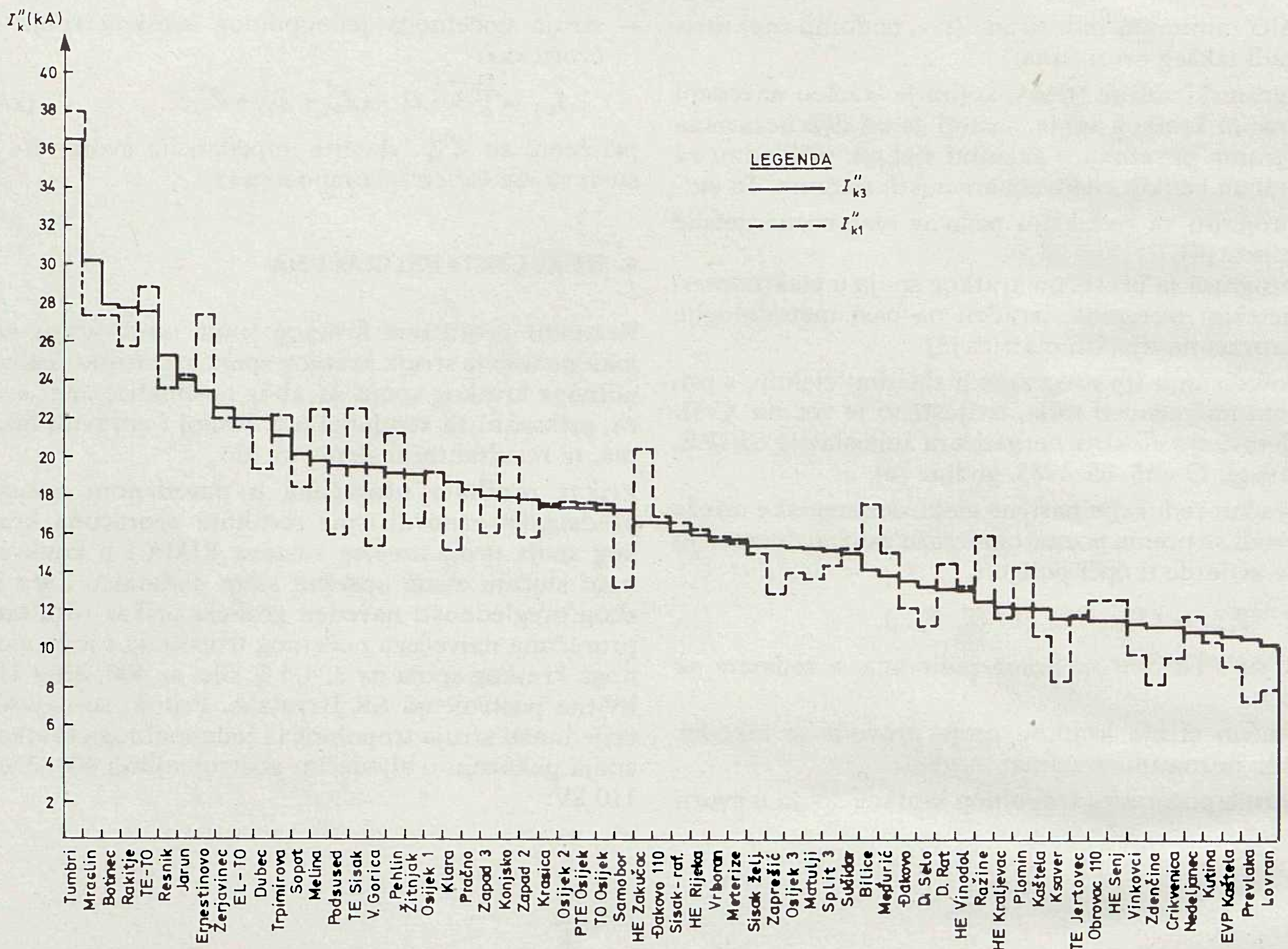
Rezultati proračuna kratkog spoja obuhvaćaju sve lokalne udjele struja kratkog spoja, a rezultati jednopolnoga kratkog spoja su, zbog nesimetričnosti kvara, prikazani sa strujama u bolesnoj i zdravim fazama, te rezultatnim strujama  $3I_0$ .

Prikaz rezultata proračuna u navedenom opsegu predstavlja osnovni ispis rezultata proračuna kratkog spoja programskog sustava RIMA i u konkretnom slučaju znači opsežan skup podataka. Zato je zbog preglednosti naveden grafički prikaz rezultata proračuna najvećega početnog trolejnog i jednopolnoga kratkog spoja na 3, 4, i 5. slici za 400, 220 i 110 kV-tna postrojenja SR Hrvatske. Pritom se najveće vrijednosti struja trolejnoga i jednopolnoga kratkog spoja pokazuju u sljedećim postrojenjima 400, 220 i 110 kV:

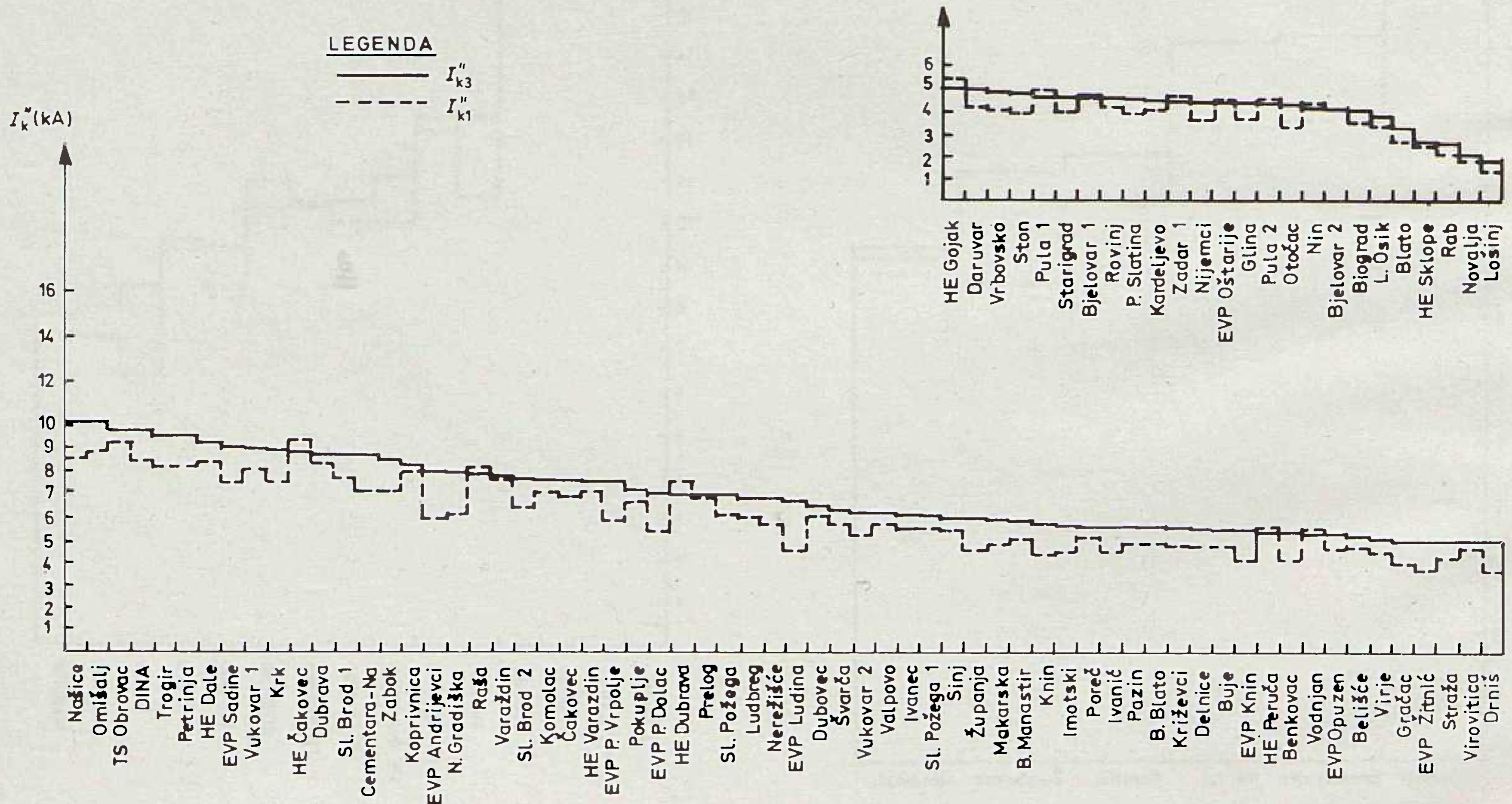


Slika 4. Rezultati proračuna kratkog spoja u postrojenjima 220 kV na području SR Hrvatske za 1990. godinu





Slika 5.1. Rezultati proračuna kratkog spoja u postrojenjima 110 kV na području SR Hrvatske za 1990. godinu



Slika 5.2. Rezultati proračuna kratkog spoja u postrojenjima 110 kV na području SR Hrvatske za 1990. godinu

— struje trolnoga/jednopolnoga kratkog spoja (1990. godina):

TS Tumbri 400 kV — 14.1/12.2 kA

TS Melina 220 kV — 20.3/21.6 kA

TS Tumbri 110 kV — 36.3/38.1 kA

Uspoređujući rezultate dobivene za 1990. godinu sa ekvivalentnim proračunima provedenim 1981. godine za 1985. godinu [2], po kojima su najveće vrijednosti struja trolnoga i jednopolnoga kratkog spoja iznosile:

— struje trolnog/jednopolnog kratkog spoja (1985. godina):

TS Tumbri 400 kV — 18,0/15,6 kA

TS Melina 220 kV — 21,8/23,6 kA

TS Tumbri 110 kV — 34,4/37,8 kA,

može se uočiti u kolikom su raskoraku bili planovi razvoja mreže s realnim mogućnostima razvoja. Konstatacija se posebno odnosi na razvoj mreže 400 kV, pa u mreži za 1990. godinu više ne susrećemo 400 kV vodove Tumbri — Melina i Tumbri-mreža BiH, koji su bili predviđeni u mreži za 1985. godinu [2].

Mreža 220 kV nije dalje razvijana, pa su stoga i vrijednosti struja kratkog spoja u TS 400/220/110 kV Melina manje (nedostaje DV 400 kV Tumbri — Melina!).

Ako usporedimo 110 kV-tne mreže za 1985. i 1990. godinu, vidjet ćemo da se u mreži 1990. godine više ne pojavljuju transformacije 110/× kV u TS Mavrinci, Buzet, Boljun, Kostrena, Zadar — Centar i Dubrovnik 2, predviđene u 1985. godini, a u novim se sagledavanjima mreže 110 kV pojavljuju nove TS 110/× kV: Dubovec, Zagreb-Zapad 3, Žitnjak, NE Prevlaka, HE Dubrava, Bjelovar 2, DINA, Rab, Lošinj, Novalja i Nin. Pojavljuje se nova proizvodnja gradnjom HE Dubrava (2 × 42 MVA), a interkonekcija 400 i 110 kV-tne mreže pojačana je novim autotransformatorima 1 × 300 MVA u TS 400/110 kV Tumbri i Žerjavinec, zbog čega je porasla najveća struja kratkog spoja na 110 kV-tnom nivou u prijenosnoj mreži Hrvatske.

Iz navedenoga slijedi ozbiljna potreba za kontinuiranim praćenjem problematike kratkog spoja u mreži Hrvatske. Nedostatak čvrstih razvojnih planova prijenosne mreže sve se češće iskazuje kao glavni problem računanja kratkog spoja, pa su rezultati proračuna za 1990. godinu u ovom trenutku zadnje sagledavanje kompletne prijenosne mreže 400, 220 i 110 kV Hrvatske u odnosu prema proračunima kratkog spoja. Zbog nedostatka rezultata proračuna kratkog spoja u mreži Hrvatske za perspektivnija razdoblja (do najmanje 2000. godine) za potrebe dimenzioniranja elektroenergetskih postrojenja provode se parcijalni proračuni kratkog spoja, pa parcijalna sagledavanja razvoja mreže u ovom trenutku imaju prednost pred globalnim sagledavanjima cijele prijenosne mreže Hrvatske kao integralnog dijela prijenosne mreže Jugoslavije.

## LITERATURA

- [1] D. NEVEČEREL: »Proračun kratkog spoja u mreži SR Hrvatske za 1990. godinu«, IE Zagreb, 1987.
- [2] D. NEVEČEREL: »Optimiranje elektroenergetskog sistema Hrvatske — Proračun kratkog spoja«, IE Zagreb, 1987.
- [3] M. JUNG, D. NEVEČEREL: »Studija kratkog spoja mreže za 1985. i 1990. godinu«, IE Zagreb, 1984.
- [4] D. NEVEČEREL: »Redukcija pasivnih elektroenergetskih mreža«, Energija br. 3/1984.
- [5] D. NEVEČEREL: »Proračun kratkog spoja na digitalnom elektroničkom računalu«, Energija br. 2/1983.
- [6] D. NEVEČEREL: »Proračun kratkog spoja u velikim elektroenergetskim mrežama«, referat 31.22, XVII Savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije CIGRE, Struga, 12–15. 05. 1985.

## CALCULATION OF SHORT CIRCUIT IN THE NET OF SR CROATIA IN 1990 YEAR

In the article are presented base requirements for calculation, a method and results of initial three-phase short circuit and single line-to-ground short circuit, that are published in »Institut za elektroprivredu«, 1987 year.

## BERECHNUNG DES KURZSCHLUSSES IM NETZ DER SR KROATIEN FÜR DAS JAHR 1990.

Hier werden Berechnungen, die Art der Rechnungsweise und die Resultate der Berechnung der größten Ströme des Anfangs — Dreipoligen und Einpoligen Kurzschlusses dargestellt, die unter dem erwähnten Titel im Institut für Elektrowirtschaft, III. 1987, erarbeitet wurden.

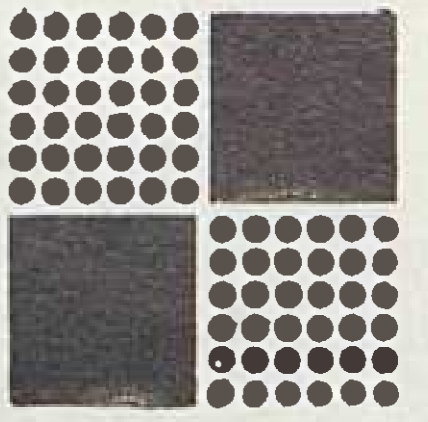
## РАСЧЕТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТИ СР ХОРВАТИИ НА 1990 ГОД

Показаны предпосылки расчета, способ вычисления и результаты расчета наибольших токов начального трехфазного и однофазного коротких замыканий, выполненных по упомянутому заглавию в Институте электрохозяйства, Ш. 1987. года.

Naslov pisca:

**Mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**Zagreb**  
**41000 Zagreb, Proleterskih**  
**brigada 37**  
**Jugoslavija**

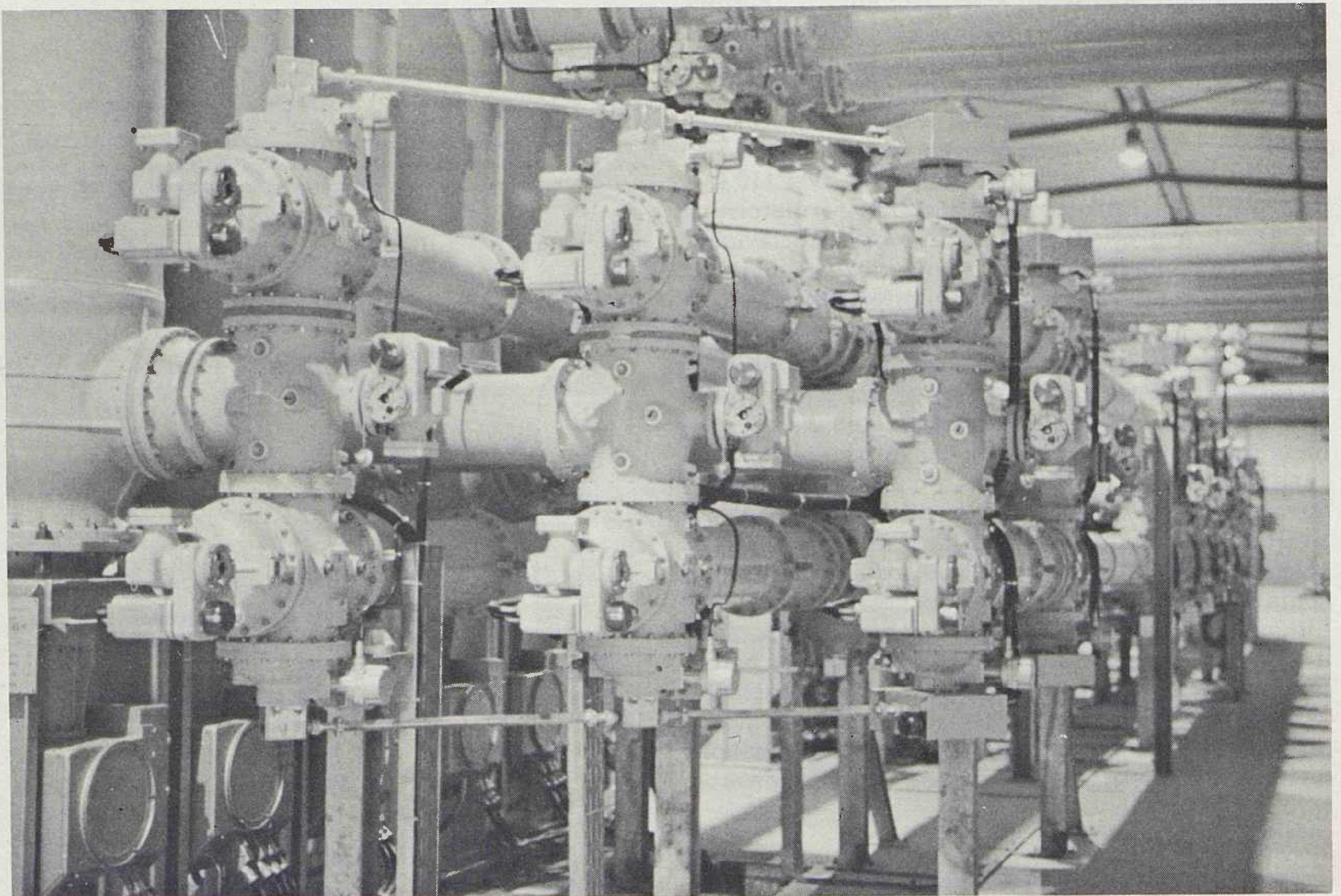
Uredništvo primilo rukopis  
 1987 – 09 – 10



**Radna organizacija za *elektromontažne radove***

ZAGREB ● Kesterčankova 1

- montaža i remont visoko i niskonaponskih postrojenja i razvodnih mreža
- montaža i remont kompletnih elektromotornih razvoda, rasklopnih postrojenja, instalacije rasvjete i uzemljenja
- montaža i remont uređaja, opreme i instalacija za automatiku, mjerenje, regulaciju
- kontrola i izrada tehničke dokumentacije za navedene djelatnosti  
Radove izvodi u zemlji i inozemstvu



# USPOREDBA TRANSFORMATORA 10/0,4 kV SMANJENIH GUBITAKA I TRANSFORMATORA KLASIČNE KONSTRUKCIJE

Mr. Rihard Schenner, Zagreb

UDK 621.3.042.2  
PREGLEDNI RAD

Da bi se ocijenila rentabilnost distributivnih transformatora 10/0,4 kV sa smanjenim gubicima, u radu se, metodom akumulacije, određuje razlika u cijeni tih transformatora u odnosu prema transformatorima klasične izvedbe.

**Ključne riječi:** gubici u transformatorima, transformatori sa smanjenim gubicima.

## UVOD

Gubici električne energije i snage u nas su procentualno znatno veći nego u zapadnoevropskim državama. Budući da sistem proizvodnje električne energije vrlo rijetko radi bez učešća termoelektrana, to znači potrošnju skupog ugljena ili mazuta za nadoknađivanje gubitaka. Stoga se vrlo često za njihovo pokrivanje određuje snaga adekvatne termoelektrane, čime se želi upozoriti na taj problem.

Međutim, malokad se nastoje odrediti troškovi potrebni da se oni smanje. U nas su jedan od uzročnika velikih gubitaka sigurno preveliki padovi napona, koji se ne mogu smanjiti bez ulaganja. U transformatorima su gubici također procentualno dosta veliki. Zato se i proizvođači orijentiraju na nove tipove transformatora sa smanjenim gubicima. Međutim, njihova je cijena veća od cijene klasično konstruiranih transformatora.

U ovom ćemo članku upozoriti na neke činjenice i probleme transformatora 10/0,4 kV odnosno usporediti troškovi jednih i drugih.

## 1. POGON S MINIMALNIM GUBICIMA TRANSFORMATORA

Gubici energije određeni su izrazom:

$$W_g = P_{fe} \cdot 8760 + P_{cu} \cdot b^2 \cdot \mathcal{G} \cdot 8760$$
$$b = \frac{P_v}{P_{inst}}, \quad (1)$$

gdje su:

$P_{fe}$ ,  $P_{cu}$  — gubici u željezu i bakru,  $b$  — faktor opteretivosti,  $\mathcal{G}$  — faktor gubitaka,  $P_v$  — vršno opterećenje,  $P_{inst}$  — instalirana snaga

Transformirana električna energija iznosi:

$$W_{tr} = S_N \cdot b \cdot \cos \varphi \cdot m \cdot 8760, \quad (2)$$

pri čemu je

$m$  — faktor opterećenja

Dijeljenjem izraza (1) i (2) te deriviranjem po  $b$  dobije se optimalni faktor opteretivosti u odnosu prema gubicima:

$$b = \sqrt{\frac{P_{fe}}{P_{cu} \cdot \mathcal{G}}}. \quad (3)$$

Prema podacima proizvođača transformatora, omjer gubitaka u bakru i željezu iznosi između 5 i 6, a faktor  $\mathcal{G}$  može se, prema [1], dovoljno točno odrediti izrazom:

$$\mathcal{G} = 0,17 \cdot m + 0,83 \cdot m^2. \quad (4)$$

Za transformatore 10/0,4 kV, koji napajaju kućanstva i prateće sadržaje (trgovine i sl.), iznosi prosječno vrijeme trajanja vršnog opterećenja  $Tm = 2500$  h, odnosno  $m = 0,285$ , a  $\mathcal{G} = 0,116$ . S tim se vrijednostima, prema izrazu (3) dobije faktor opteretivosti između 1,3 i 1,2. Očito, te se veličine ne mogu postići.

Procentualni iznosi gubitaka energije određeni su izrazom:

$$W_{g\%} = \frac{P_{fe} + P_{cu} \cdot b^2 \cdot \mathcal{G}}{S_N \cdot b \cdot m \cdot \cos \varphi} \cdot 100 \quad (5)$$

Za transformatore klasične konstrukcije nazivnih snaga između 630 i 250 kVA ( $m = 0,285$ ,  $\cos \varphi = 0,9$ ) i uz različite vrijednosti faktora opteretivosti procentualni iznosi gubitaka energije iznose:

	630 kVA	250 kVA
$b = 0,50$	1,84 %	2,32 %
$b = 0,75$	1,42 %	1,79 %
$b = 1,00$	1,27 %	1,60 %
$b = 1,25$	0,98 %	1,55 %

Distributivna poduzeća mogu utjecati jedino na veličinu faktora opteretivosti prilagođavanjem nazivne snage transformatora opterećenju. Međutim, pritom treba imati na umu sljedeće:

— ne bi se smjele prihvatiti pojedinačne vrijednosti veće od 0,9 zbog rezerve u izvanrednim slučajevima

- ma, npr. pri povećanim opterećenjima nakon prekida rada (redukcije, kvarovi i sl)
- zbog tipizacije se upotrebljavaju samo neke nazivne snage. Za gradska područja obično su to 400 i 630 kVA, a za pokrajinske mreže 160 i 250 kVA. U manjim zaseocima opterećenja su i znatno manja, pa je prilagođavanje praktično nemoguće
  - bolje prilagođavanje zahtijeva i veći broj kontrolnih mjerenja, što također stvara određene troškove
  - prilikom planiranja 0,4 kV-tnih mreža i dobivanja trasa za njih te pri određivanju lokacije TS 10,20/0,4 kV nailazi se i na određene probleme vezane za urbanizam i izgradnju, koji utječu na faktor opteretivosti.

Stoga je povećanje faktora opteretivosti vezano za dosta problema. Prema dosadašnjim analizama, procjenjuje se da je povećanje prosječne vrijednosti veće od 0,7 prilično teško ostvariti. Pritom treba imati na umu da se pojedinačne vrijednosti kreću između 0,2 i 1.

Na ostale se faktore ne može utjecati jer su određeni konzumom odnosno konstrukcijom transformatora.

## 2. USPOREDBA TRANSFORMATORA SA SMANJENIM GUBICIMA S TRANSFORMATORIMA KLASIČNE KONSTRUKCIJE

Zbog smanjenja gubitaka u bakru i željezu povećava se cijena transformatora. To je logično, jer bi se u protivnom proizveli već i prije. Očito je da se gubici mogu smanjiti većom investicijom. Za savjetovanje CIRED-a u Liegeu 1987. god. napisana su dva članka o njima [2, 3], a i tvornica »R. Končar« u isto je vrijeme prezentirala svoju konstrukciju tih transformatora.

Očito je problem ekonomske prirode i tipičan je za primjenu metode aktualizacije. Aktualizirani troškovi transformatora određeni su izrazom:

$$T_{\text{atr}} = C_{\text{tr}} \left( 1 + f_g \frac{a^N - 1}{a^N \cdot (a - 1)} \right) + P_{\text{fe}} (8760 \cdot c_e + c_s) \frac{a^N - 1}{a^N (a - 1)} + P_{\text{cu}} (9 \cdot 8760 \cdot c_e + c_s) \cdot \sum_{n=1}^N b_n^2 \cdot a^{-n}, \quad (6)$$

gdje je:

$C_{\text{tr}}$  — cijena transformatora,  $f_g$  — faktor godišnjih troškova,  $a$  — faktor aktualizacije,  $N$  — period analize,  $c_e$ ,  $c_s$  — cijena gubitaka električne energije i snage.

U analizi ćemo definirati kolika treba biti razlika u cijeni transformatora a da njihovi troškovi budu jednaki. Ta je razlika određena izrazom:

$$\Delta C_{\text{tr}} = \frac{\Delta t_{\text{afe}} + \Delta t_{\text{acu}}}{1 + f_g \frac{a^N - 1}{a^N \cdot (a - 1)}}$$

$$\Delta t_{\text{afe}} = (8760 \cdot c_e + c_s) \cdot \frac{a^N - 1}{a^N \cdot (a - 1)} \cdot (P_{\text{fe1}} - P_{\text{fe2}}) \quad (7)$$

$$\Delta t_{\text{acu}} = (9 \cdot 8760 \cdot c_e + c_s) \cdot (P_{\text{cu1}} - P_{\text{cu2}}) \cdot \sum_{n=1}^N b_n^2 \cdot a^{-n}.$$

Podaci za gubitke u bakru i željezu uzeti su iz kataloga tvornica »R. Končar«, odnosno [2], a navedeni su u 1. tablici.

Cijena gubitaka električne energije i snage određena je tarifnim stavom. Tarifni stav za 10 kV nivo od 8. 4. 1987. god. nalazi se u 2. tablici (troškovi energije povećani su za 15 %).

Poznato je da se tarifnim stavom, pogotovo našim, ne mogu računati troškovi gubitaka. Određivanje njihovih realnih vrijednosti jedan je od problema kojemu se, barem dosada, pridavala premala odnosno nikakva pažnja. Vjeruje se da će taj problem biti detaljnije analiziran u narednom periodu. Stoga se troškovi gubitaka procjenjuju na taj način.

Tablica 1. Podaci za gubitke transformatora 10/0,4 kV

Nazivna snaga	Transformator klasične konstrukcije		Transformator sa smanjenim gubicima	
	$P_{\text{cu}}$ kW	$P_{\text{fe}}$ kW	$P_{\text{cu}}$ kW	$P_{\text{fe}}$ kW
50	1,050	0,190	0,850	0,150
100	1,750	0,320	1,400	0,250
160	2,350	0,460	1,850	0,360
250	3,250	0,650	2,600	0,520
400	4,600	0,930	3,650	0,740
630	6,500	1,300	5,600	0,900

Tablica 2. Tarifni stav za 10 kV nivo od 8. 4. 1987. god. (troškovi energije povećani su za 15 %)

Troškovi snage		Troškovi energije			
sezonski		sezonski			
viši	niži	viši dnevni		niži dnevni	
din/kW · mj	din/kW · mj	viši din/kWh	niži din/kWh	viši din/kWh	niži din/kWh
799	5332,00	25,76	12,88	17,25	8,63

Troškovi snage određeni su tarifnim stavom za razdoblje od mjesec dana, a u izrazu (7) računaju se za godinu dana. Realni godišnji troškovi određeni su formulom:

$$C_{\text{sg}} = \frac{\sum_{i=1}^{12} C_{\text{smj}} \cdot P_{\text{vmj}}}{P_{\text{vg}}}, \quad (8)$$

uz:

$C_{\text{sg}}$ ,  $C_{\text{smj}}$  — godišnja odnosno mjesečna cijena snage;  $P_{\text{vg}}$ ,  $P_{\text{vmj}}$  — godišnje odnosno mjesečno vršno opterećenje

S obzirom na realno veće troškove, za snagu se uzima cijena od 96000 din/kW · god.

Cijena energije računat će se po 26 din/kWh, također zbog budućih realno većih troškova.

Faktor opteretivosti u realnoj se mreži svake godine mijenja. Prosječno se povećava od neke početne veličine do približno 1 prema izrazu:

$$b_n = b_0 \cdot r^n \quad b_n \leq 1, \quad (9)$$

pri čemu je

$r$  — trend porasta opterećenja.

Kad se približi vrijednosti 1, pada opet na neku početnu vrijednost, uz određeni trend porasta, pa se ciklus ponavlja.

Uzet će se u obzir trendovi porasta opterećenja između 2 i 3 %, a početne veličine opterećenja između 0,5 i 0,7. Ako se na bazi tih vrijednosti izračuna adekvatni faktor opteretivosti, on se kreće oko 0,7.

U vrijeme jake inflacije odnosno ekonomskih kriza vrlo je teško odrediti faktor aktualizacije. Računat će se sa 10 %, što je prema gruboj ocjeni donja granica.

Godišnji troškovi pojedine investicije po pravilu direktno ovise o veličini investicije. Vrlo se često ti troškovi računaju s premalom vrijednosti. U [1] se kao orijentacijska vrijednost navodi 0,15. Računat će se sa 0,12, što se smatra realnijim. Nazivnik izraza (7) znatno ovisi o toj veličini. Uz faktor aktualizacije od 10 % i vijek trajanja odnosno korištenja transformatora od 25 godina proizlazi:

$$1 + f_g \cdot \frac{a^N - 1}{a^N (a - 1)} = 1 + f_g \cdot 9,077. \quad (10)$$

Uz vrijednost  $f_g = 0,12$  gornja veličina iznosi 2,089, što znači da godišnji troškovi sudjeluju u aktualiziranim troškovima sa 50 %.

Na bazi tih veličina izračunata je razlika cijene transformatora. Podaci su prikazani u tablici 3.

**Tablica 3. Razlika između cijene transformatora klasične konstrukcije i cijene transformatora sa smanjenim gubicima u slučaju jednakih aktualiziranih troškova 6 oznake prema izrazu (7)**

Nazivna snaga (kVA)	Razlike troškova		Razlika cijene $\Delta_{ctr}$ (din)	Cijena transf. klasič.konstr. (din)
	$\Delta_{tafe}$ (din)	$\Delta_{tacu}$ (din)		
50	117561	108899	108406	2546006
100	205715	190573	189702	2861801
160	213878	272247	271003	3240756
250	382042	353921	352304	3724800
400	558369	517269	514906	4896000
630	1175514	490045	797300	6154200

Prema tim podacima, transformatori sa smanjenim gubicima ne bi smjeli biti skuplji od klasičnih više od približno 15 %. Ta vrijednost može se, zbog procjene ulaznih podataka, zaokružiti na 20 %.

### 3. ZAKLJUČAK

Smanjenje gubitaka u željezu i bakru transformatora 10/0,4 kV sigurno je korak naprijed u smanjenju ukupnih gubitaka električne energije i snage cijeloga elektroprivrednog sistema. Međutim, sigurno je i to da rješenje tog problema ima svoju cijenu. Prema relativno grubo određenim ulaznim podacima, čini se da novi transformatori sa smanjenim gubicima ne bi smjeli biti skuplji od klasičnih više od približno 20 %.

### LITERATURA

- [1] Netzverluste — Eine Richtlinie ihre Bewertung und ihre Verminderung, 3. Ausgabe, WDEW, Frankfurt (Main), 1978.
- [2] CAPRIO, F. COLLA, T.F. DI SALVATORE: »New Series of ENEL Transformers with reduced Losses«, CIRED Liege, 1987. (e 14)
- [3] K. FREVIN, J.J. SUD, A. G. FFISHER: »Trends in the Development and Use of Low Loss Distribution Transformers«, CIRED Liege, 1987 (e 13)

#### A COMPARISON OF 10/0.4 kV TRANSFORMER WITH SMALLER LOSSES TO TRANSFORMER OF CLASSICAL CONSTRUCTION

In the Article is presented a accumulation method for evaluation of transformers 10/0.4 kV with smaller losses to the costs of transformers of classical construction.

#### VERGLEICH DER TRANSFORMATOREN 10/0,4 kV, GERINGERER VERLUSTE UND TRANSFORMATOREN DER KLASSISCHEN KONSTRUKTION

Um die Rentabilität der distributiven Transformatoren 10/0,4 kV mit geringeren Verlusten zu beurteilen, wird in der Arbeit durch die Akkumulationsmethode, der Preisunterschied dieser Transformatoren im Verhältnis zu Transformatoren des klassischen Typs bestimmt.

#### СОПОСТАВЛЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ 10/0,4 кВ Пониженных Потерь И ТРАНСФОРМАТОРОВ ТРАДИЦИОННОЙ КОНСТРУКЦИИ

Для оценки рентабельности распределительных трансформаторов 10/0,4 кВ пониженных потерь, в работе методом аккумуляции определяется различие стоимости таких трансформаторов и трансформаторов традиционного изготовления.

Naslov pisca:

**Mr. Rihard Schenner, dipl. inž.**  
Institut za elektroprivredu,  
41000 Zagreb, Proleterskih  
brigada 37, Jugoslavije

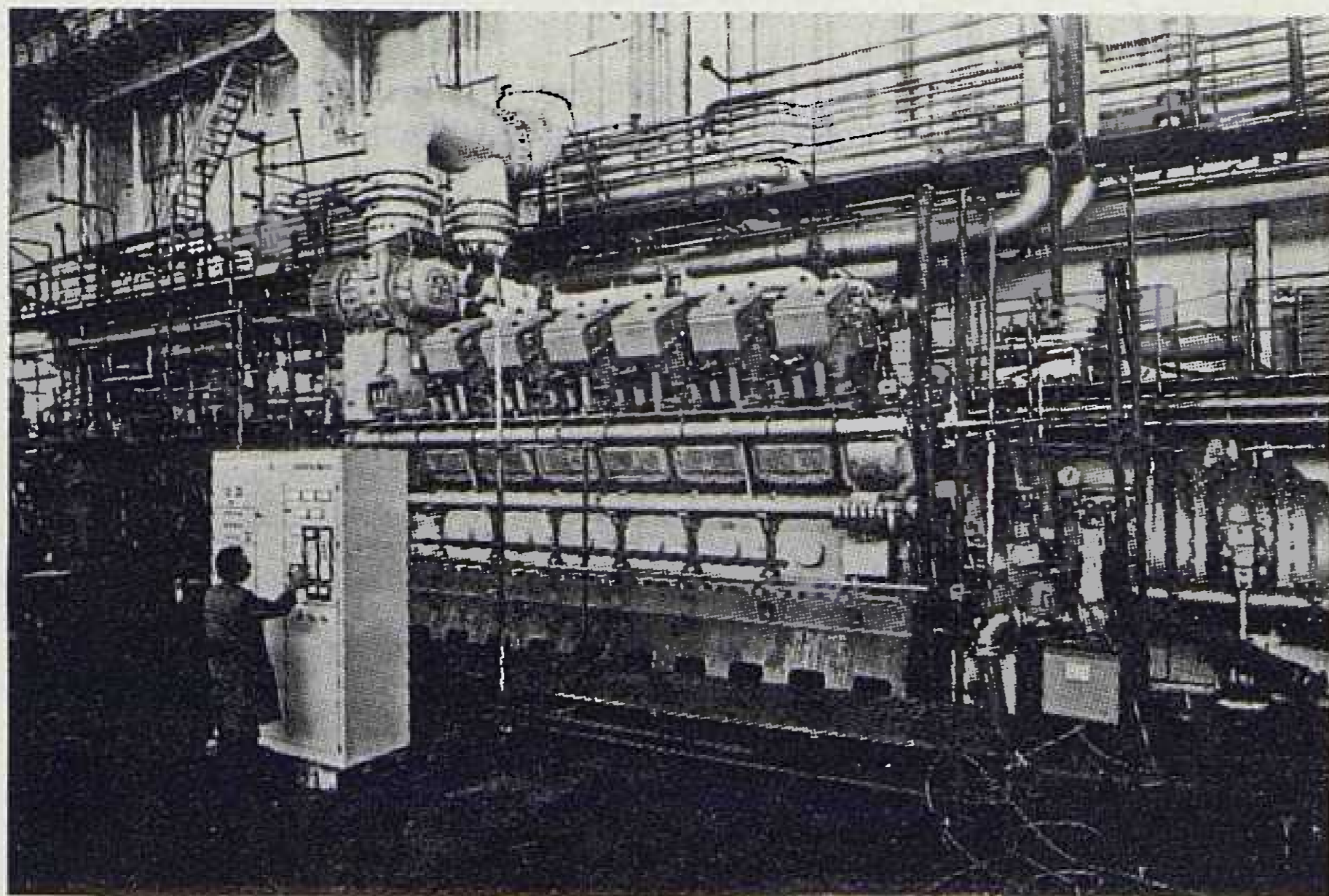
Uredništvo primilo rukopis  
1987 – 08 – 31

# »JUGOTURBINA«

INDUSTRIJA METALNIH PROIZVODA, OPREME I POSTROJENJA SOUR o. sub. o.  
47000 KARLOVAC, VIII divizije 10, Jugoslavija Tel. (047) 31-533; Telex: 23736

## PROIZVODNI PROGRAM:

- ENERGETSKA OPREMA I POSTROJENJA: parne turbine za pogonjenje generatora u nuklearnim i klasičnim termoelektranama i toplanama, te za pogonjenje ostalih radnih strojeva; turbokompresori, dizel agregati i kompletna energetska postrojenja.
- BRODSKA OPREMA: glavni i pomoćni dizel motori, parne turbine, pumpe i automatika
- PUMPE I PUMPNA POSTROJENJA
- POSTROJENJA ZA PROČIŠĆAVANJE KOMUNALNIH I INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA
- KLIZNI LEŽAJEVI
- ELEKTRONIKA, AUTOMATIKA I BIROTEHNIKA
- PROJEKTIRANJE I IZGRADNJA INDUSTRIJSKIH I DRUGIH GRAĐEVINSKIH OBJEKATA
- GRAĐEVINSKI OKOV, ČAVLI I DRUGI ŽIČANI PROIZVODI
- PROIZVODI OD TERMOPLASTIČNIH MASA



Dizel motor 12 ZV 40 od 6220 KW za havarijsku stanicu u NE  
— SSSR

## »JUGOTURBINA«

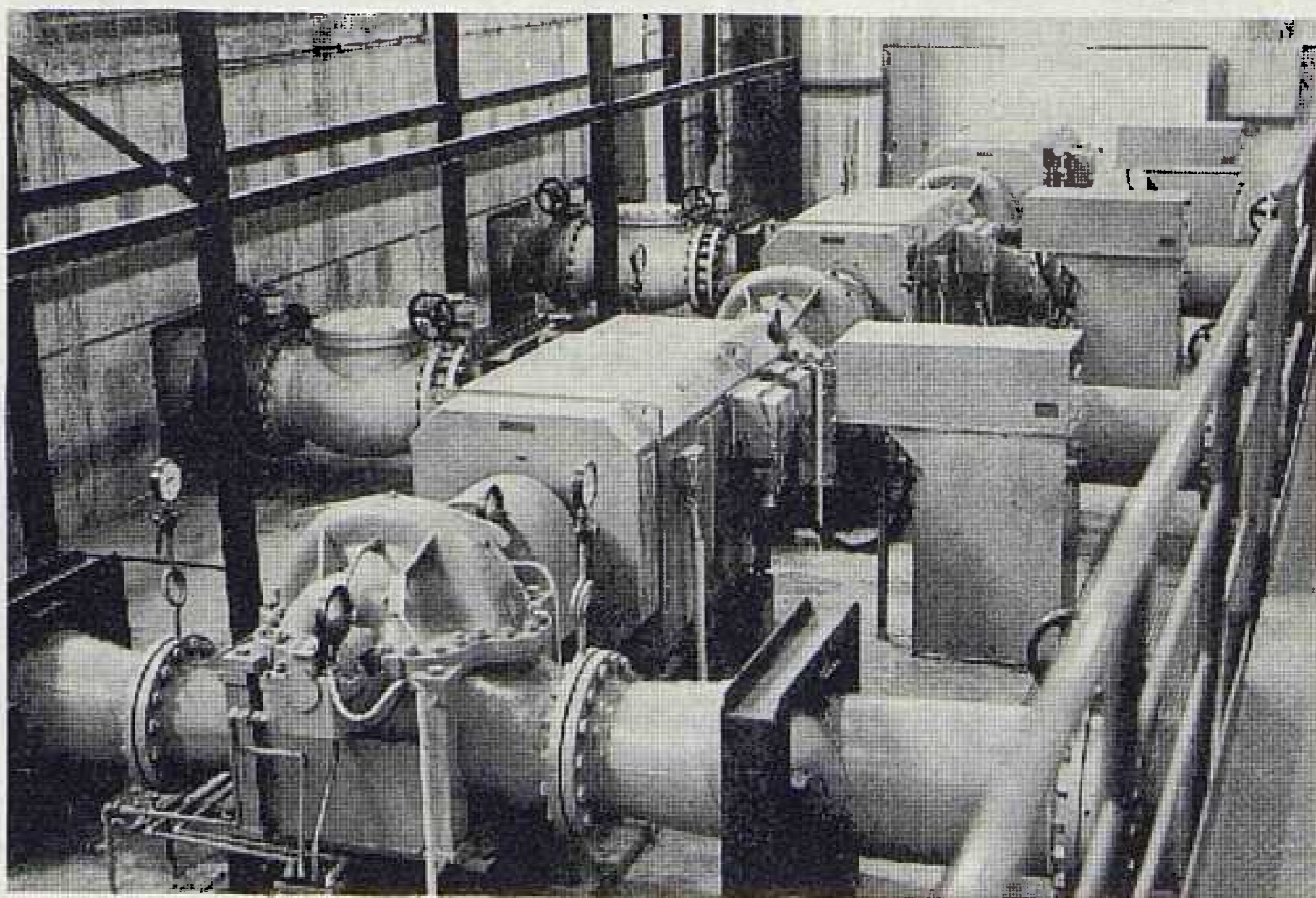
— TRGOVINA I INŽENJERING n. sol. o.  
47000 KARLOVAC, Trg Braće M. i J. Benić 2,  
Jugoslavija Tel. (047) 26-022; Telex 23745

## DJELATNOSTI:

- INŽENJERING (Konzalting, projektiranje, isporuka opreme i izgradnja objekata) za ENERGETSKA, HIDRO I INDUSTRIJSKA POSTROJENJA
- IZVOZ – UVOZ, ZASTUPSTVO, TRGOVINA NA VELIKO I MALO

## REFERENCE NA SVIM KONTINENTIMA:

500 turboagregata  
1.400 dizel motora  
65.000 pumpnih agregata



Pumpna stanica u TO Ljubljana

## PUMPE ZA ENERGETSKA POSTROJENJA (TERMOELEKTRANE-TOPLANE)

Proširenje postojećeg programa napojnih, kondenzatnih i rashladnih pumpi zadovoljit će uvjete termoelektrana i toplana, snage do 1200 MW. Nekoliko stotina instaliranih pumpi od kojih neke besprijekorno rade već više od 20 godina u najvećim energetske postrojenjima u zemlji (Zagreb, NE Krško, Ljubljana, Zenica, Obrenovac, Plomin, Lučani, Brestalnica, Kakanj, Skopje, Zrenjanin, Banja Luka, Kosovo itd) i 70 pumpi koje rade u termoelektranama u Kampuru, Kandli i Barauni — Indija, Rhodos i Linoperamata u Grčkoj kao i saradnja sa vodećim svjetskim firmama, garantiraju uspjeh u razvoju i proizvodnji pumpi za energetiku.

# KOMPENZACIJA JALOVOG OPTEREĆENJA TS 110/20(10) kV SAMOBOR

Nikola Vagić, Zagreb

UDK 621.3.076.12

STRUČNI RAD

U članku je izložen sažet prikaz rezultata rada na projektu kompenzacije jalove snage TS 110/20(10) kV Samobor. U prvom dijelu prikaza iznesena je osnova rješenja, podaci o konzumu stanice, registraciji energetske podataka u stanici i njihovoj obradi, te rezultati obrade i analize obradom dobivenih pokazatelja. U drugom dijelu članka dana je energetska i ekonomska osnova izbora rješenja kompenzacije i osnovni parametri projektnog rješenja postrojenja:

**Ključne riječi:** registracija i obrada podataka, karakteristike elektroenergetskog konzuma, kompenzacija jalovog opterećenja, energetske i ekonomske efekti kompenzacije, elementi projektnog rješenja.

## 1. OSNOVA RJEŠENJA

Izloženo rješenje kompenzacije jalovog opterećenja TS 110/20(10) kV Samobor plod je uspješne suradnje stručnjaka Elektroprojekta iz Zagreba, Elektre Zagreb — OOUR Distribucija Samobor i Minel — RO Statički aparati — OOUR Kondenzatori iz Ripuja.

Kao osnova za njegovu izradu poslužili su:

- rezultati izneseni u Elektroprojektovu elaboratu »Obrazloženje potrebe izgradnje postrojenja za kompenzaciju jalovog opterećenja TS 110/20(10) kV Samobor«,
- podloge i podaci preuzeti iz Končareva »Glavnog projekta TS 110/20(10) kV Samobor«, te
- podaci izneseni u »Ponudi za izvođenje postrojenja za kompenzaciju jalovog opterećenja TS 110/20(10) kV Samobor«, izvođača ovog postrojenja Minel — RO Statički aparati — OOUR Kondenzatori iz Ripuja.

## 2. OSNOVNI PODACI O STANICI I NJENOM KONZUMU

TS 110/20(10) kV Samobor, sada  $2 \times 20$  MVA u pogonu sa 110/10 kV, pokriva potrošačko područje koje ima:

oko 197 km<sup>2</sup> i oko 39000 stanovnika, sa oko 9730 domaćinstava i oko 5430 zaposlenih u domicilnoj industriji, te ukupne elektroenergetske potrebe koje su u 1986. g. dosegle oko 16 MW, oko 70 GWh/g i oko 44 GVarh/g.

## 3. REGISTRACIJA ELEKTROENERGETSKIH PODATAKA

U TS 110/20(10) kV Samobor, slično kao i u drugim stanicama na pragu prijenosa, uz ostalo registiraju se:

- a) četvrtsatni (15-minutni) protoci radne i jalove energije koji se bilježe na maksiprint-trake,
- b) mjesečni protoci radne i jalove energije u doba veće tarife i u doba manje tarife — koji se očitavaju s dvotarifnih brojila i unose u posebne protokole o očitavanju
- c) podaci o naponu koji se očitavaju s pokaznih instrumenata punim satom treće srijede u mjesecu i u nedjelju nakon treće srijede u mjesecu i unose u posebne protokole o očitavanju.

## 4. OBRADA REGISTRIRANIH PODATAKA

Za obradu provedenu u okviru ovog prikaza raspolažalo se s podacima registriranim u 1984. g.

U pripremi obrade prikupljeni podaci su pažljivo pregledani i preneseni na magnetsku vrpcu, a nakon toga su obrađeni na elektroničkom računaru po posebnom programskom sistemu razvijenom za potrebe ovakvih obrada.

Obrada raspoloživih četvrtsatno očitanih protoka radne i jalove energije organizirana je tako da su u prvoj fazi obrađeni podaci o četvrtsatnim protocima radne energije, u drugoj fazi obrađeni su podaci o četvrtsatnim protocima jalove energije, u trećoj fazi sparni su odgovarajući podaci o četvrtsatnim protocima radne i jalove energije i dobiveni podaci o četvrtsatnim prosjecima prividne snage i četvrtsatnim prosjecima faktora snage. Podaci o prividnim snagama u četvrtoj fazi obrade i podaci o faktorima snage u petoj fazi obrade obrađeni su po istom programu po kojem su prije obrađeni podaci o protocima radne i jalove energije.

## 5. REZULTATI OBRADNE REGISTRIRANIH PODATAKA

Iz rezultata provedene obrade, uz ostalo, dobio se:



- a) niz podataka o minimumima, sredinama i maksimumima tokom dana preuzete radne snage, jalove snage, prividne snage i faktora snage u svakom danu u razdoblju obuhvaćenom obradom,
- b) niz podataka o minimumima i maksimumima četvrtosatno preuzimanih radnih snaga, jalovih snaga, prividnih snaga i faktora snage u toku dana u svim danima u razdoblju obuhvaćenom obradom, te srednjih vrijednosti četvrtosatno preuzimanih radnih snaga, jalovih snaga, prividnih snaga i faktora snage u toku dana, posebno samo za radne dane u razdoblju obuhvaćenom obradom i posebno samo za neradne dane u razdoblju obuhvaćenom obradom.
- c) niz podataka o prosjecima četvrtosatne radne snage, jalove snage, prividne snage i faktora snage:
- u danu s maksimalnim jalovim opterećenjem u godini
  - u danu s najnižim dnevnim maksimalnim jalovim opterećenjem u godini i
  - u danu s maksimalnim radnim opterećenjem u godini.

1. da je u stanici u jednogodišnjem razdoblju obračunato ukupno 125 MW uz sljedeću sezonsku raspodjelu
  - u višoj sezoni 71,4 MW ili 57,1% (min. 10,6 MW u rujnu i maks. 14 MW u prosincu) i
  - u nižoj sezoni 53,6 MW ili 42,9% (min. 7 MW u srpnju i max. 10,6 MW u ožujku).
2. da je radno opterećenje stanice variralo između 2 i 14,4 MW (min. između 2 i 6,4 MW, a maks. između 5,4 i 14,4 MW),
3. da se maksimalno radno opterećenje stanice javilo zimi, radnim danom (31.XII) u večernjim satima (u 17,30 sati), a minimalno ljeti, neradnim danom (28. VII) u jutarnjim satima (u 6,00 sati)
4. da se maksimalne vrijednosti radnog opterećenja stanice i radnim i neradnim danom javljaju u isto vrijeme, u večernjim satima, s tim da su neradnim danom niža za oko 17%.
5. da su radnim danom maksimumi prosječnih opterećenja stanice veći od minimuma za oko 58%.

Rezultati provedene analize konzuma područja sadašnje TS 110/20 (10) kV Samobor, djelomično izloženi u tabl. 2. pokazali su da mu je maksimalna snaga u zadnjem desetogodišnjem razdoblju rasla progresivno po stopi od 7,1%/g. i da se za nju i u budućnosti može računati s do sada iskazanim odnosima i tendencijama njezina razvoja.

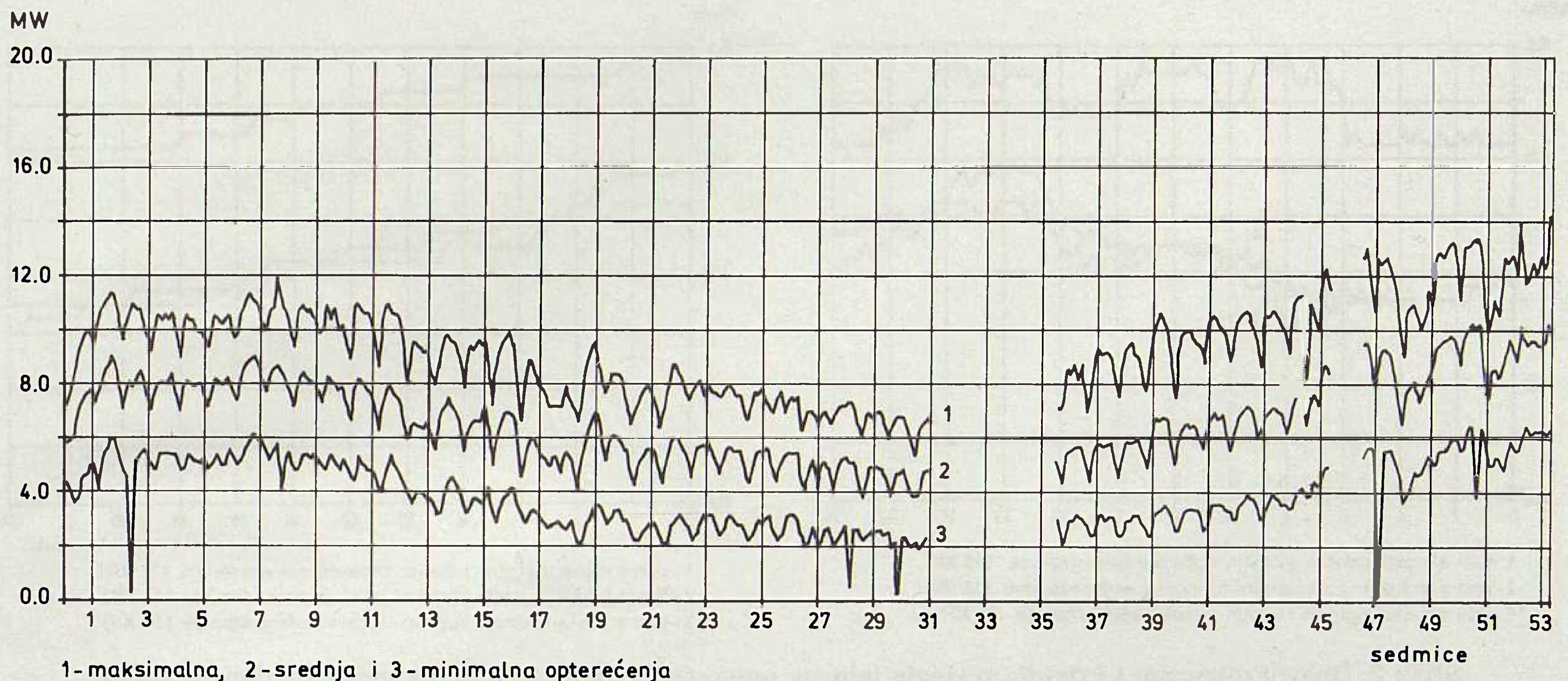
## 6. KARAKTERISTIKE ELEKTROENERGETSKOG KONZUMA STANICE

### 6.1. Radna snaga

Iz rezultata provedene obrade, djelomično predočenih u tablici 1. i na slici 1. proizašlo je:

Tablica 1. Elektroenergetski pokazatelji obračuna u TS 110/20 (10) kV Samobor preuzete energije (stanje 1984. g.)

Razdoblje	siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studeni	prosinac	Godišnji iznosi	viša sezona	niža sezona
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Radna energije (Mhw)</b>															
Veća tarifa	2 814,90	2 817,90	2 784,65	2 244,00	2 178,11	2 015,42	1 799,05	1 989,68	2 081,75	2 677,51	3 023,35	3 384,48	29 810,3	17 502,2	12 308,1
Manja tarifa	2 894,10	2 888,49	2 701,05	2 256,65	1 939,41	1 826,44	1 684,43	1 709,62	1 982,20	2 283,05	2 850,65	3 661,90	28 678,0	17 279,2	11 398,8
Ukupno:	5 709,00	5 705,81	5 485,70	4 500,65	4 117,52	3 841,86	3 483,48	3 699,30	4 063,95	4 960,56	5 874,00	7 046,38	58 488,3	34 781,4	23 206,9
<b>Jalova energija (MVAarh)</b>															
Veća tarifa	1 100,00	1 128,38	1 098,46	1 191,85	1 225,40	1 305,26	1 173,15	1 344,09	1 326,05	1 499,96	1 410,75	1 494,79	15 298,6	7 825,73	7 472,85
Manja tarifa	1 084,08	1 076,90	1 176,12	1 241,13	1 480,75	1 480,27	1 362,46	1 427,69	1 472,90	1 447,60	1 373,90	1 772,33	16 194,1	7 930,90	8 263,20
Ukupno:	2 184,00	2 205,28	2 274,58	2 432,98	2 706,15	2 785,53	2 535,61	2 771,78	2 798,95	2 947,56	2 784,65	3 267,12	31 492,7	15 756,63	15 736,05
<b>Maksimalna radna snaga (MW)</b>															
Ukupno	11,4	11,2	10,8	9,6	9,6	8,0	7,0	8,8	10,6	11,4	12,6	14,0	125,0	71,4	53,6
<b>Obračunski faktori snage (tg fi)</b>															
Ukupno:	0,382	0,386	0,432	0,520	0,608	0,725	0,728	0,749	0,689	0,594	0,474	0,463	0,538	0,453	0,678
<b>Prekomjerno preuzeta jalova energija (MVAar – uz tg fi = 0,33)</b>															
Veća tarifa	171,08	198,66	272,92	357,94	506,62	640,17	579,46	687,50	639,07	616,38	413,04	317,91	5457,20	2 356,14	3 101,06
Manja tarifa	129,00	123,70	284,77	496,44	638,75	877,55	806,60	863,51	818,78	694,19	433,19	562,90	6734,36	2 761,76	3 972,70
Ukupno:	300,08	322,36	557,69	854,38	1145,37	1517,72	1386,06	1551,01	1457,85	1310,57	846,23	880,81	12191,56	5 117,90	7 073,66



Slika 1. Dijagrami dnevnih maksimalnih, srednjih i minimalnih vrijednosti radnih opterećenja stanica

Tablica 2. Osnovni pokazatelji razvoja elektroenergetskog konzuma područja sadašnje TS 110/20(10) kV Samobor

Maksimalna godišnja opterećenja stanice (MW – 15 min. prosjeci)*						Progresivni porast (%/g.)
1975. g.	1976. g.	1977. g.	1978. g.	1984. g.	1985. g.	
7,3	8,1	8,8	9,1	14,4	15,0	7,1

\* Maksimalno opterećenje stanice nije nastupalo istovremeno s obračunskim opterećenjem

## 6.2. Radna energija

Iz prikaza danih u tablici 1. i slici 1. vidi se:

1. da je godišnja potrošnja konzuma stanice dostigla ukupno 58,5 GWh uz sljedeću sezonsku raspodjelu — u doba više sezone 34,8 GWh ili 59,5% (50,3% u doba veće tarife i 40,7% u doba manje tarife) i — u doba niže sezone 23,7 GWh ili 40,5% (51,9% u doba veće tarife i 48,1% u doba manje tarife),
2. da mjesečna potrošnja konzuma stanice varira između 3,5 GWh u srpnju i 7 GWh u prosincu,
3. da prosječna dnevna potrošnja konzuma stanice varira između 94 MWh u srpnju i 247 MWh u prosincu,
4. da prosječni satni protoci radne energije preuzeti u stanici variraju:
  - radnim danom između 6,6 MWh (oko 3 sata) i 14,3 MWh (oko 18 sati) i
  - neradnim danom između 2,2 MWh (oko 6 sati) i 5,3 MWh (oko 22 sata).

Rezultati provedene analize konzuma područja sadašnje TS 110/20(10) kV Samobor, djelomično izloženi u tablici 3, pokazuju da mu je potrošnja energije u zadnjem desetogodišnjem razdoblju rasla progresivno po stopi do 8,1%/g. i da se i u daljnjem razvoju može računati s dosada iskazanim odnosima i tendencama njezina razvoja.

Tablica 3. Osnovni pokazatelji razvoja potrošnje električne energije područja sadašnje TS 110/20(10) kV Samobor

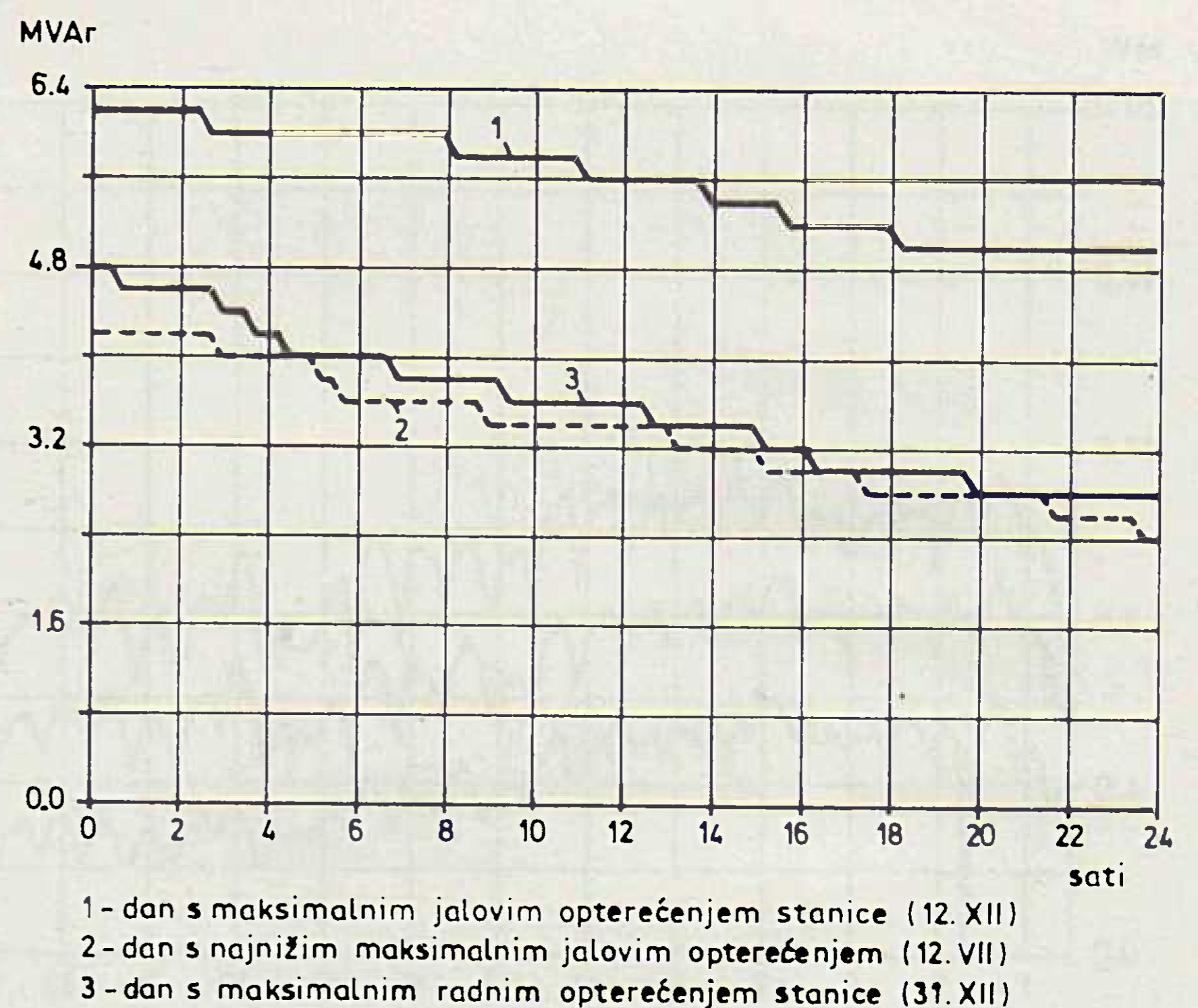
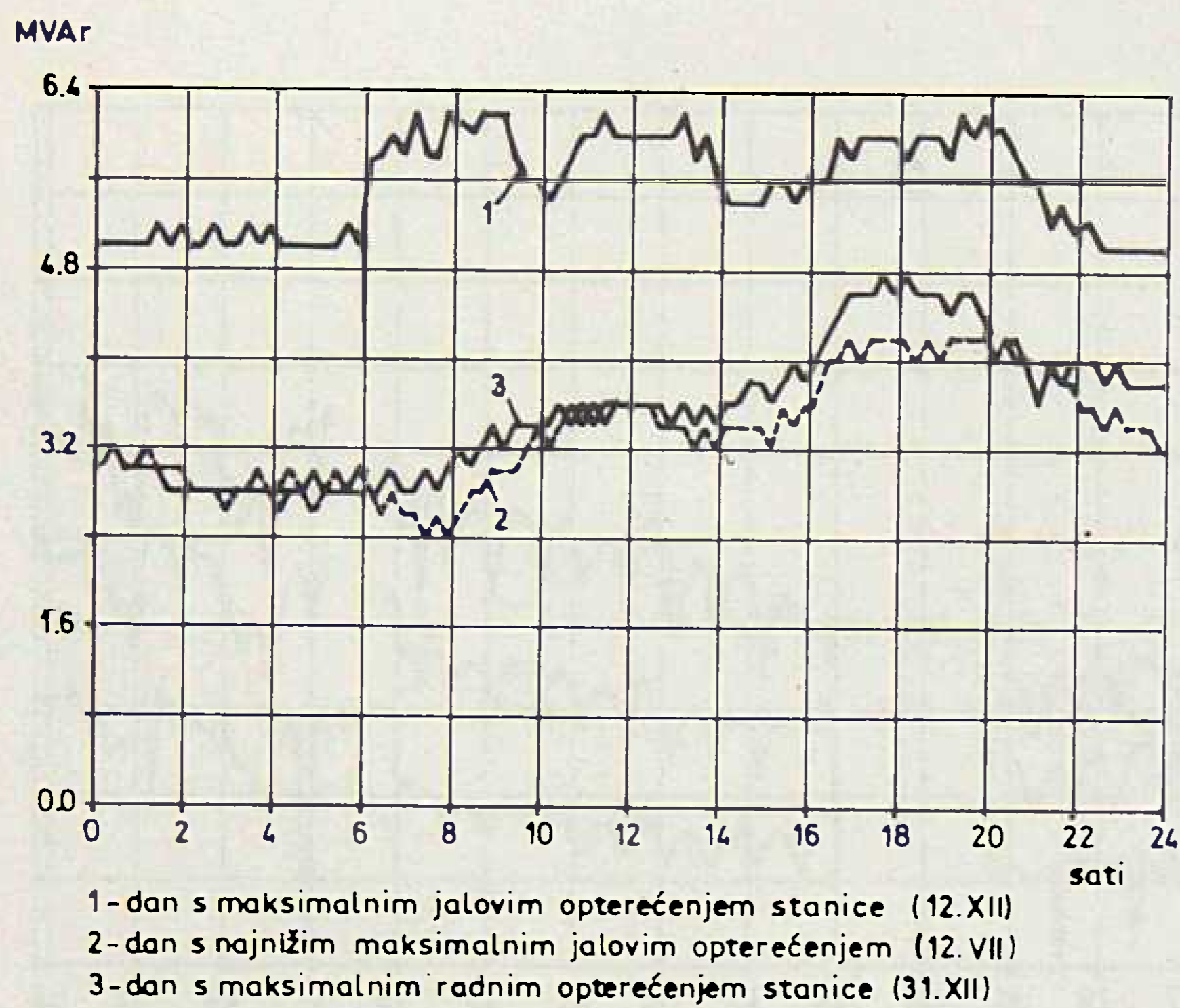
Godišnja preuzeta radna energija (GWh/g.)						Progresivni porast (%/g.) 1975/1985. g.
1975. g.	1967. g.	1977. g.	1978. g.	1984. g.	1985. g.	
3,0	34,6	37,4	41,4	58,5	67,4	8,1

## 6.3. Jalova snaga

Iz rezultata provedene obrade, djelomično prikazanih u sl. 2. i sl. 3. zaključeno je:

1. da je jalovo opterećenje TS 110/20(10) kV Samobor u promatranom jednogodišnjem razdoblju variralo između 2 i 6,2 MVar (maks. između 3,2 i 6,2 MVar, a min. između 2 i 5 MVar),
2. da se maksimalno jalovo opterećenje stanice pojavilo zimi, radnim danom (12.XII) u jutarnjim satima (u 8,00 sati), a minimalno ljeti, neradnim danom (27.VII) u jutarnjim satima (u 8,00 sati),
3. da se radnim danom maksimalne vrijednosti jalovih opterećenja stanice javljaju u prosjeku oko 11 sati, a neradnim danima oko 21 sat,
4. da su maksimalna opterećenja stanice neradnim danima niža od maksimalnih opterećenja radnim danima u prosjeku za oko 30%,
5. da su radnim danima maksimalna jalova opterećenja stanice veća od minimalnih u prosjeku za oko 33%,
6. da jalova opterećenja veća od prosječnog maksimalnog opterećenja radnim danima traju u prosjeku oko 4 sata dnevno, a da jalova opterećenja manja od prosječnog minimalnog opterećenja neradnim danima traju u prosjeku 60 minuta dnevno.

Iz odnosa jalovih opterećenja registriranih u danu maksimalnog radnog opterećenja (31.XII) i u danu



Slika 2. Dnevni dijagram i krivulje trajanja jalovog opterećenja stanice za karakteristične dane u godini

maksimalnog jalovog opterećenja (12.XII) vidi se da su jalova opterećenja u danu maksimalnog radnog opterećenja niža od odgovarajućih opterećenja u danu maksimalnog jalovog opterećenja za:

- oko 26% u doba maksimalnog opterećenja (oko 20 sati) i
- oko 44% u doba minimalnog opterećenja (oko 4 sata).

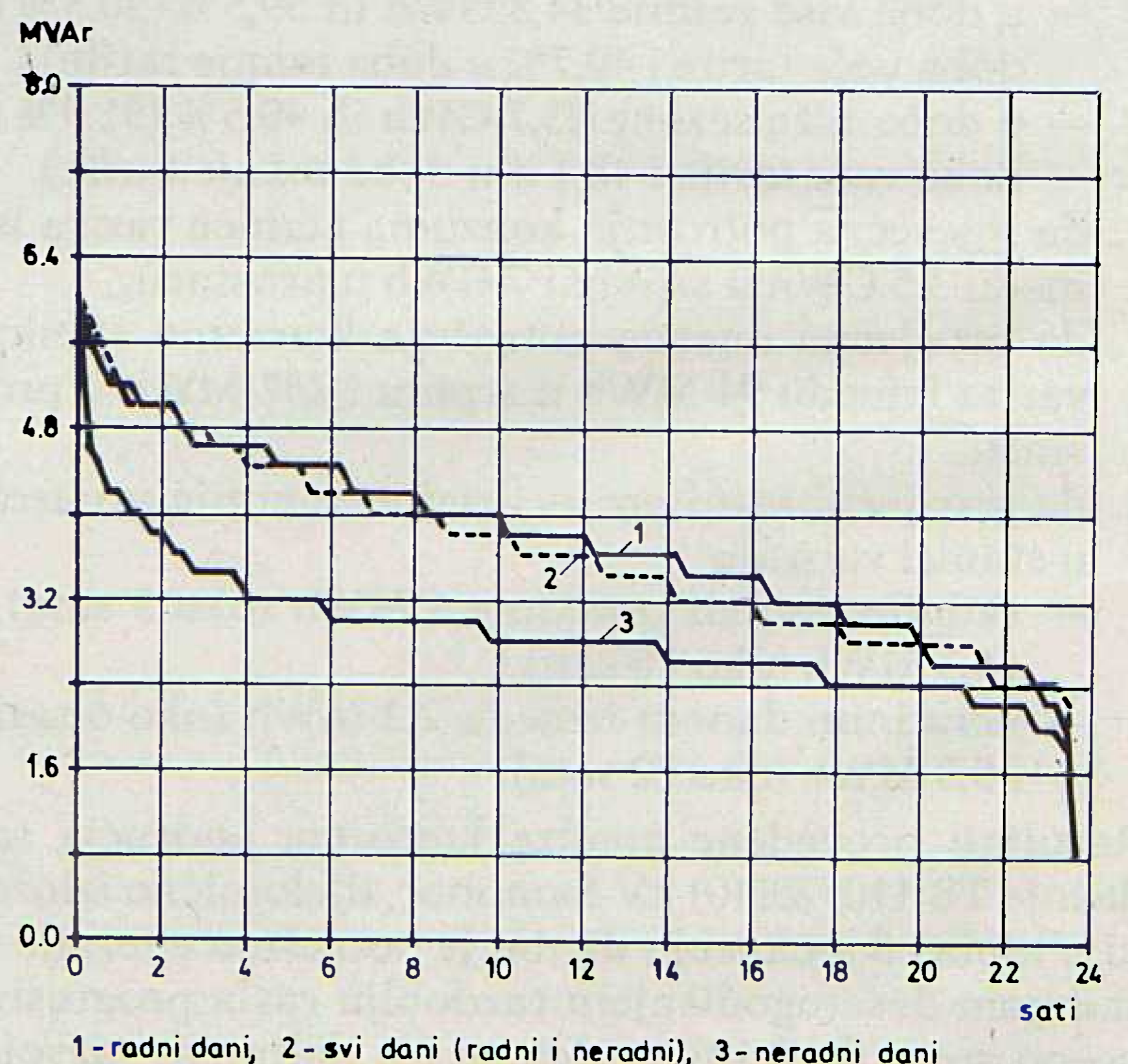
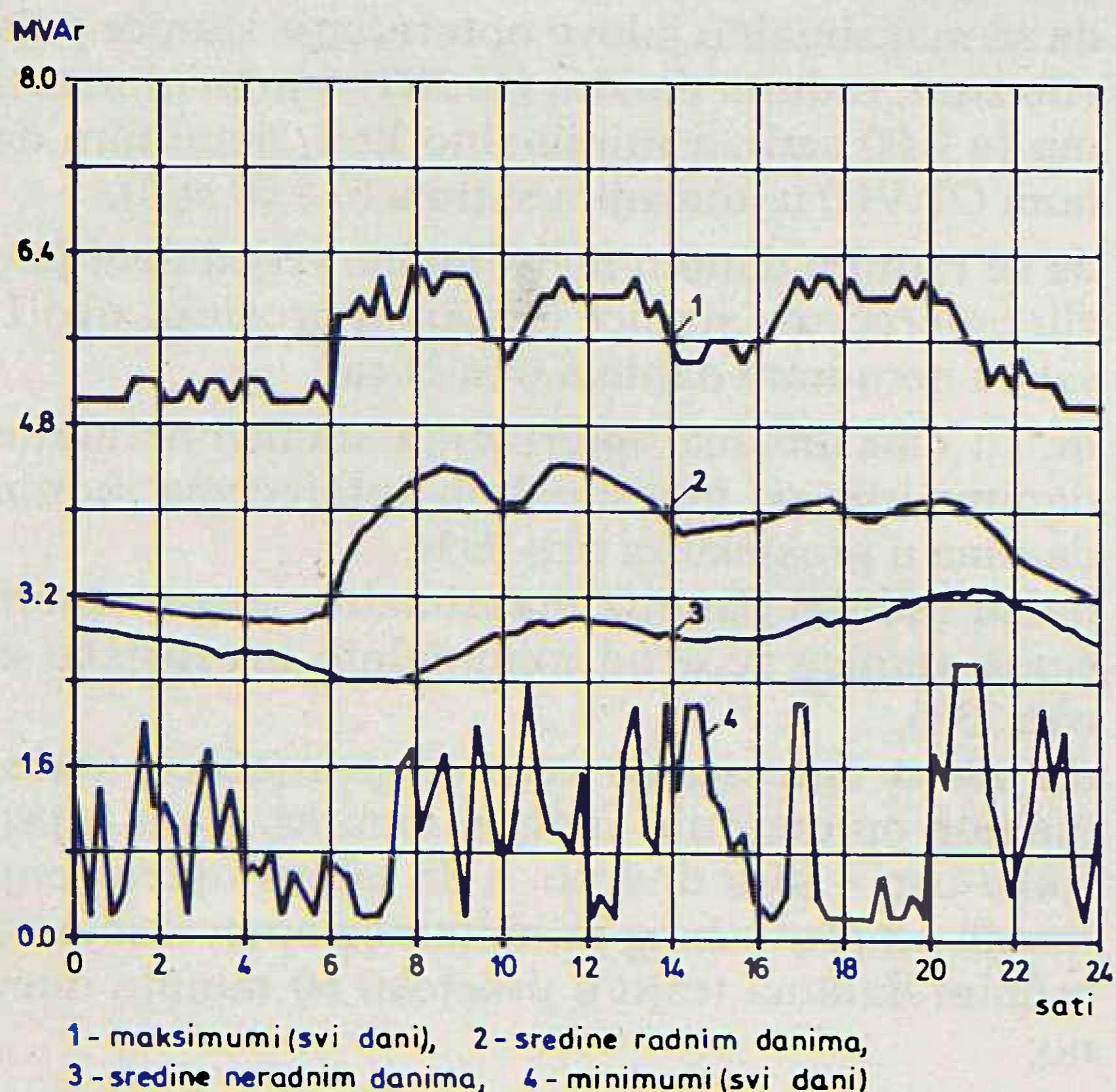
Odnos jalovih opterećenja registriranih u danu s najnižim maksimalnim radnim opterećenjem u godini (neradni dan 28.VII) i u danu s najnižim maksimalnim jalovim opterećenjem u godini (neradni dan 27.VII) pokazuje da se jalova opterećenja TS 110/20(10) kV Samobor za dane najmanjih radnih opterećenja i za dane najmanjih jalovih opterećenja u godini praktično prekrivaju u razdoblju cijelog dana.

Iz iznesenih podataka može se zaključiti da na dan maksimalnog radnog opterećenja stanice četvrtina industrijskih kapaciteta Samobora nije radila.

#### 6.4. Jalova energija

Iz prikaza danih u tablici 1. i na slici 3. vidi se:

1. da je u stanici u jednogodišnjem razdoblju preuzeto ukupno 31,5 GVarh uz sljedeću sezonsku raspodjelu
  - u doba više sezone 15,8 GVAarh ili 50,1% (49,5% u doba veće tarife i 50,5% u doba manje tarife) i
  - u doba niže sezone 15,8 GVarh ili 49,9% (47,5% u doba veće tarife i 52,5% u doba manje tarife),



Slika 3. Sintetički dnevni dijagrami i krivulje trajanja jalovog opterećenja stanice u toku godine

2. da je u stanici godišnja prekomjerno preuzeta jalova energija dostigla ukupno 12,2 GVarh uz sljedeću sezonsku raspodjelu
  - u doba više sezone 5,1 GVarh ili 42% (46% u doba veće tarife i 54% u doba manje tarife) i
  - u doba niže sezone 7,1 GVarh ili 58% (56% u doba veće tarife i 44% u doba manje tarife),
3. da je mjesečno preuzimana jalova energija u stanici varirala između 2 184 MVarh (u siječnju) i 3 267 MVarh (u prosincu),
4. da je mjesečno prekomjerno preuzimana jalova energija u stanici varirala između 300 MVarh (u siječnju) i 1 551 MVarh (u kolovozu).

### 6.5. Prividna snaga

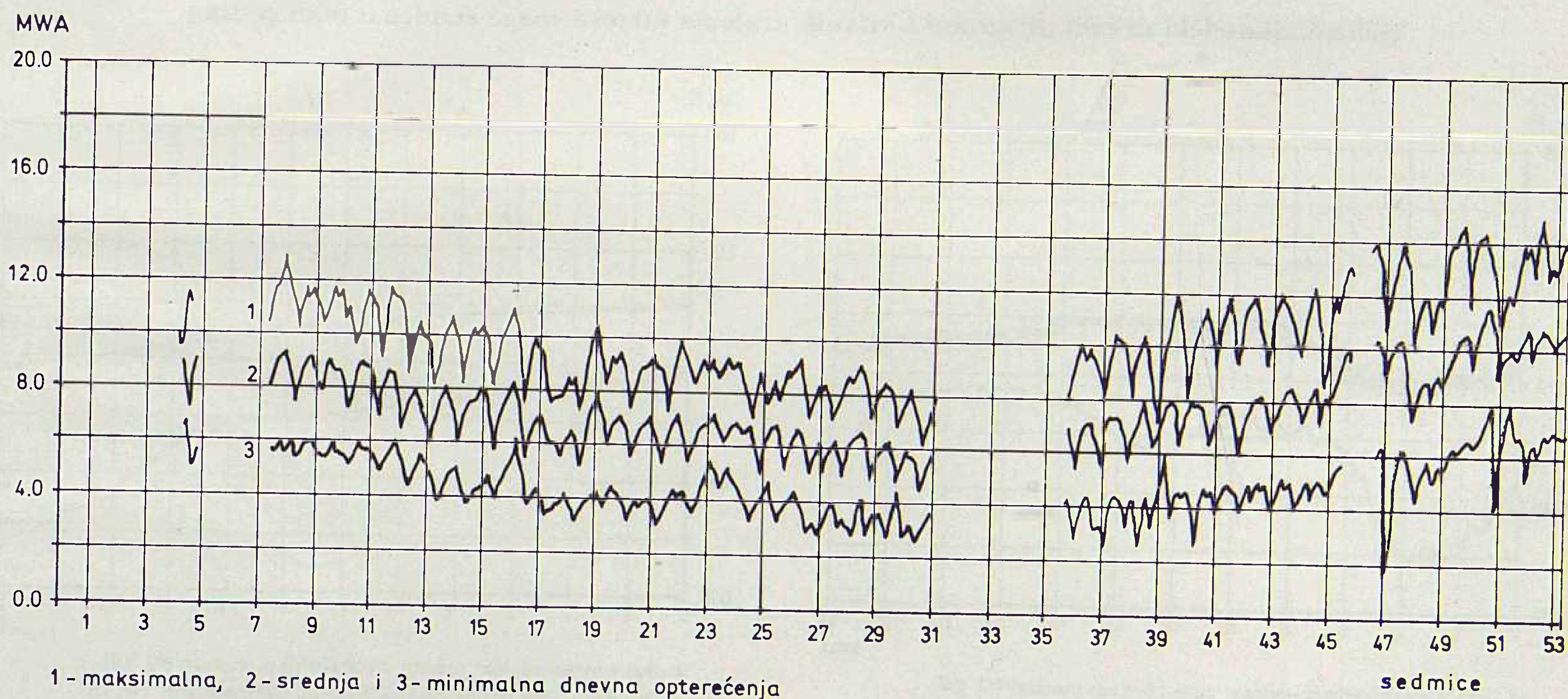
Iz rezultata provedene obrade, djelomično predočenih na slici 1. i sl. 4. zaključeno je da je karakter prividnih opterećenja stanice indentičan karakteru nje-

na radnog opterećenja, a da su prividna opterećenja stanice varirala između 2,6 i 15,2 MVA (maks. između 6,3 i 15,2 MVA, a min. između 2,6 i 7 MVA).

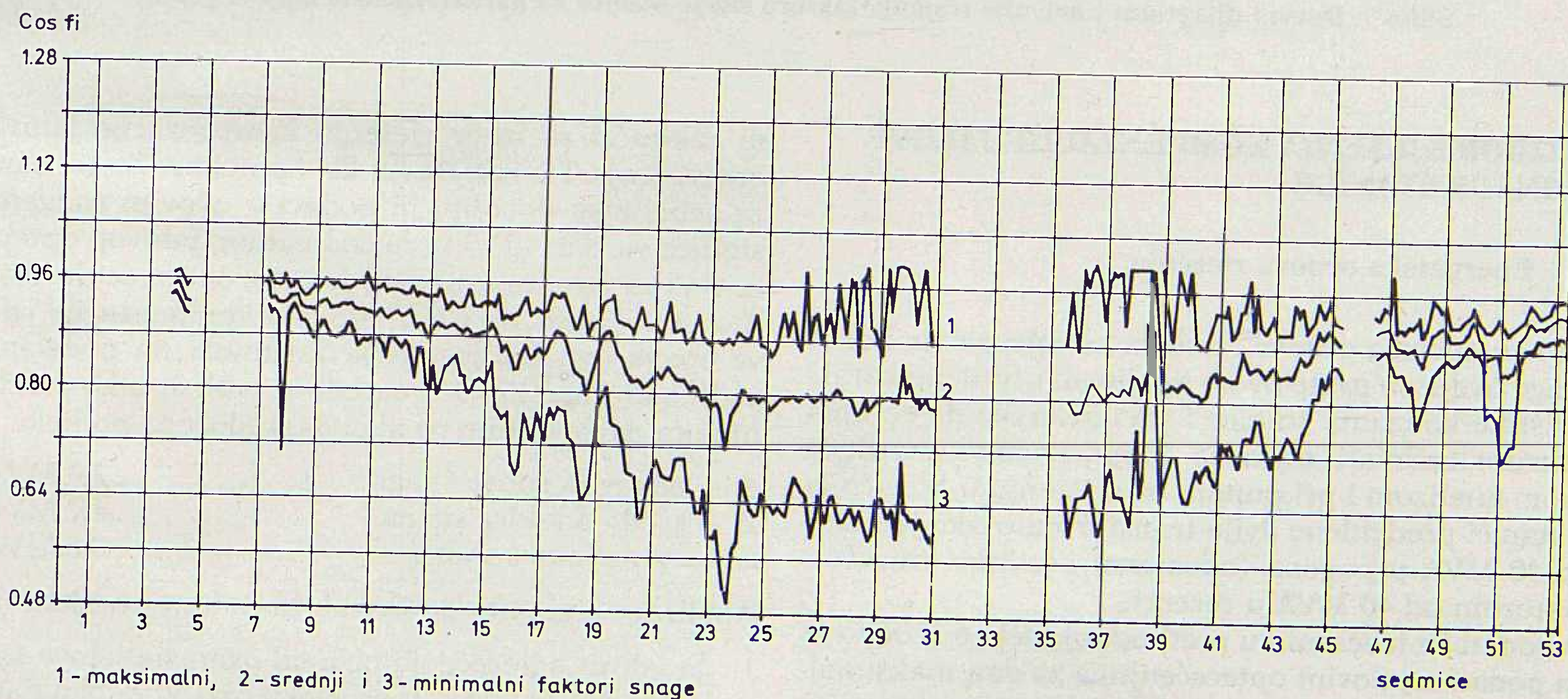
### 6.6. Faktori snage

Iz rezultata obrade podataka o faktorima snage konzuma stanice, djelomično predočenih u tablici 1. i slici 5, sl. 6. i sl. 7. zaključeno je:

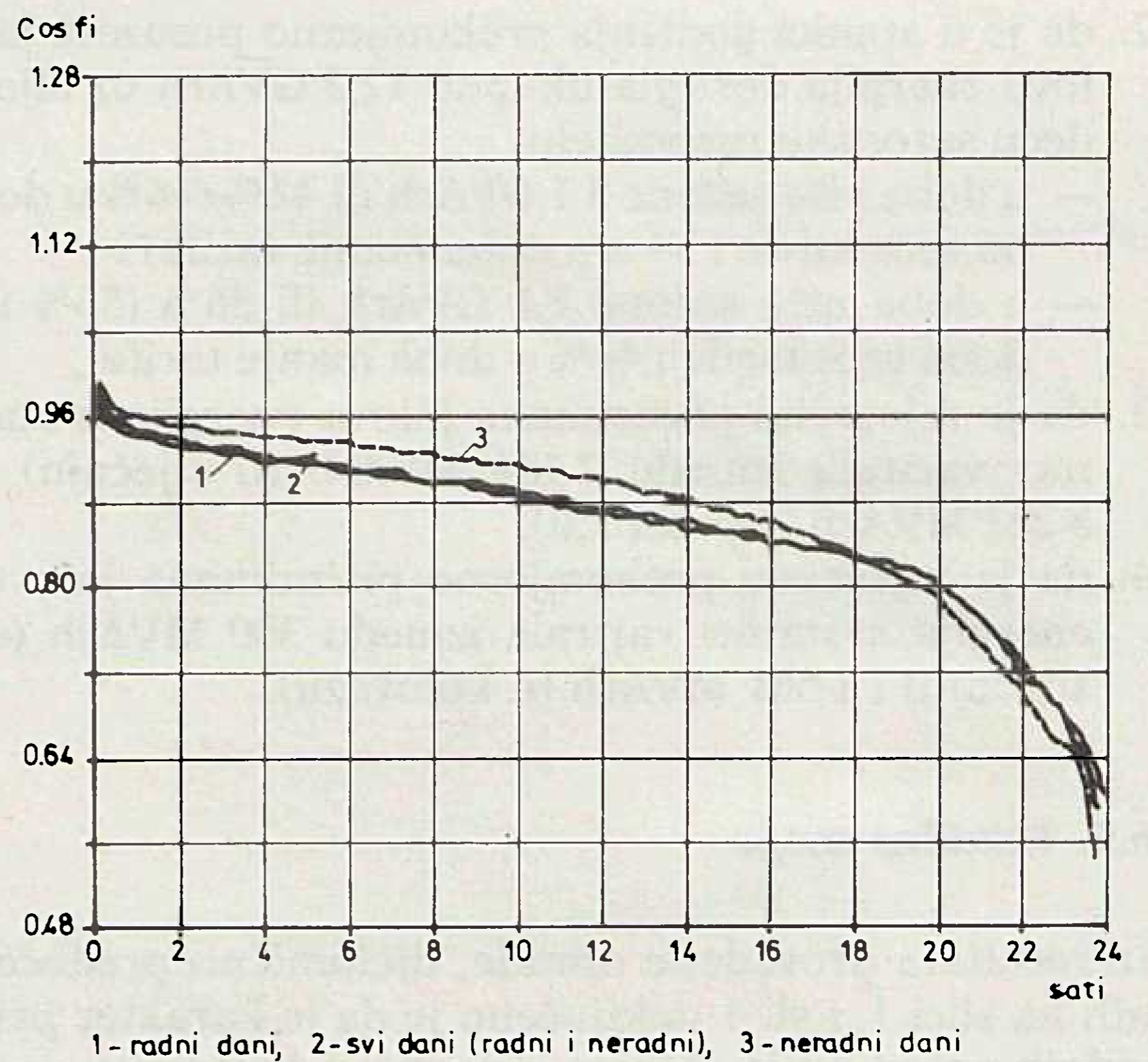
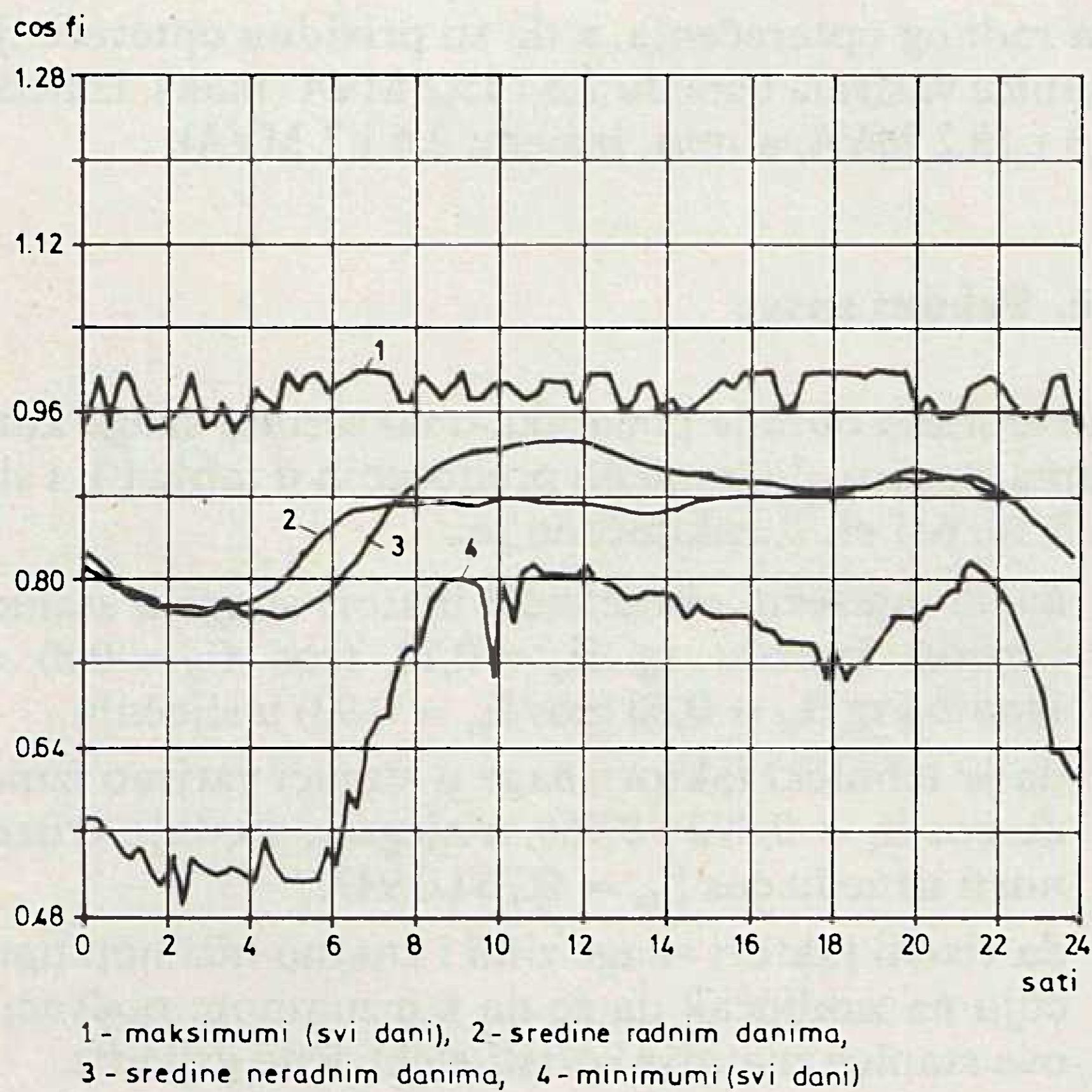
1. da su mjesečni obračunski faktori snage u stanici varirali između  $\text{tg } \text{fi}_o = 0,73$  ( $\text{cos } \text{fi}_o = 0,8$ ) u srpnju i  $\text{tg } \text{fi}_o = 0,80$  ( $\text{cos } \text{fi}_o = 0,93$ ) u siječnju,
2. da je tehnički faktor snage u stanici varirao između  $\text{cos } \text{fi}_t = 0,492$  i  $0,966$ , a njegove srednje vrijednosti između  $\text{cos } \text{fi}_{ts} = 0,76$  i  $0,947$ ,
3. da visoki faktori snage zimi i znatno niži ljeti upućuju na zaključak da se na konzumnom području ove stanice znatnije koristi električno grijanje.



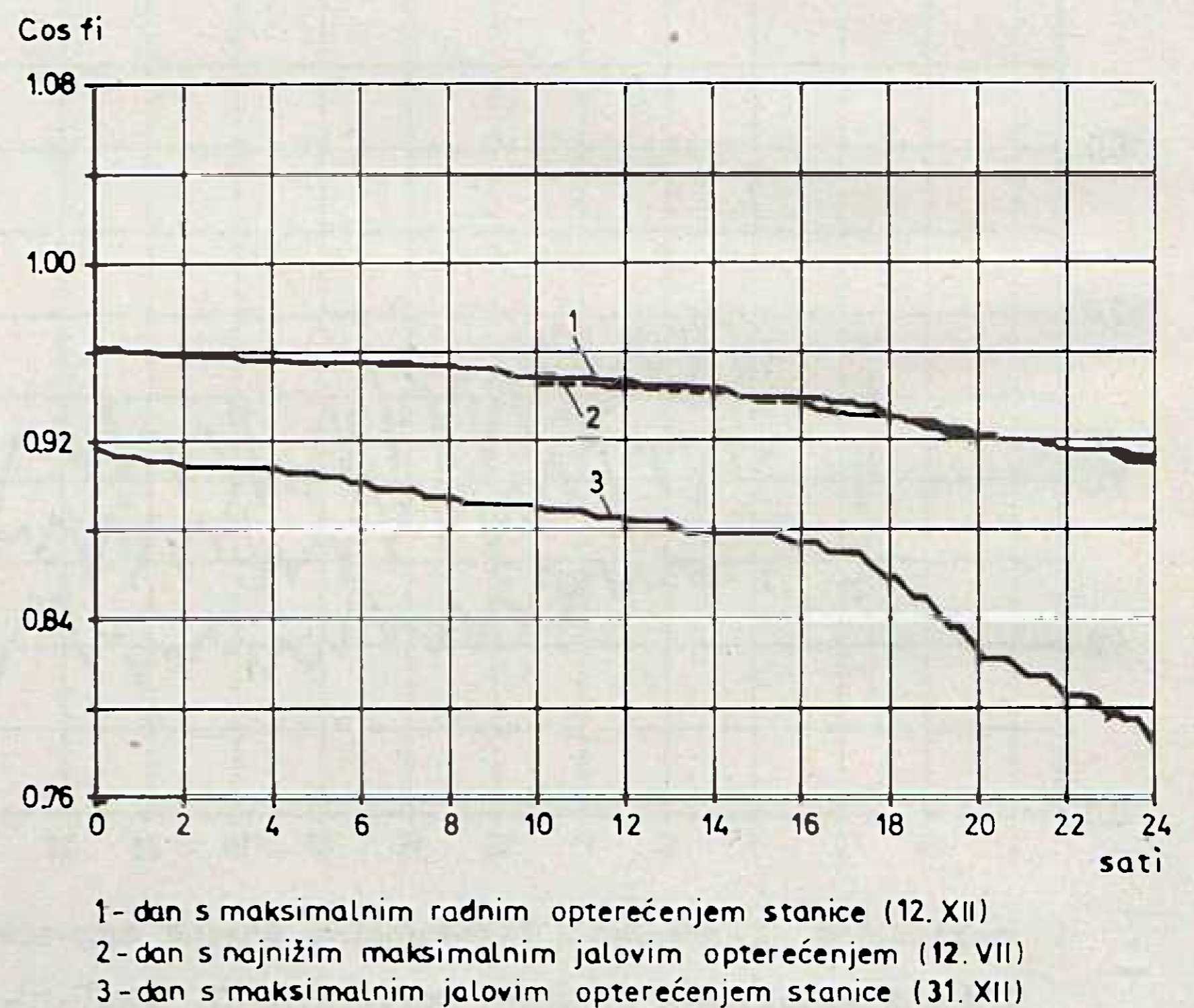
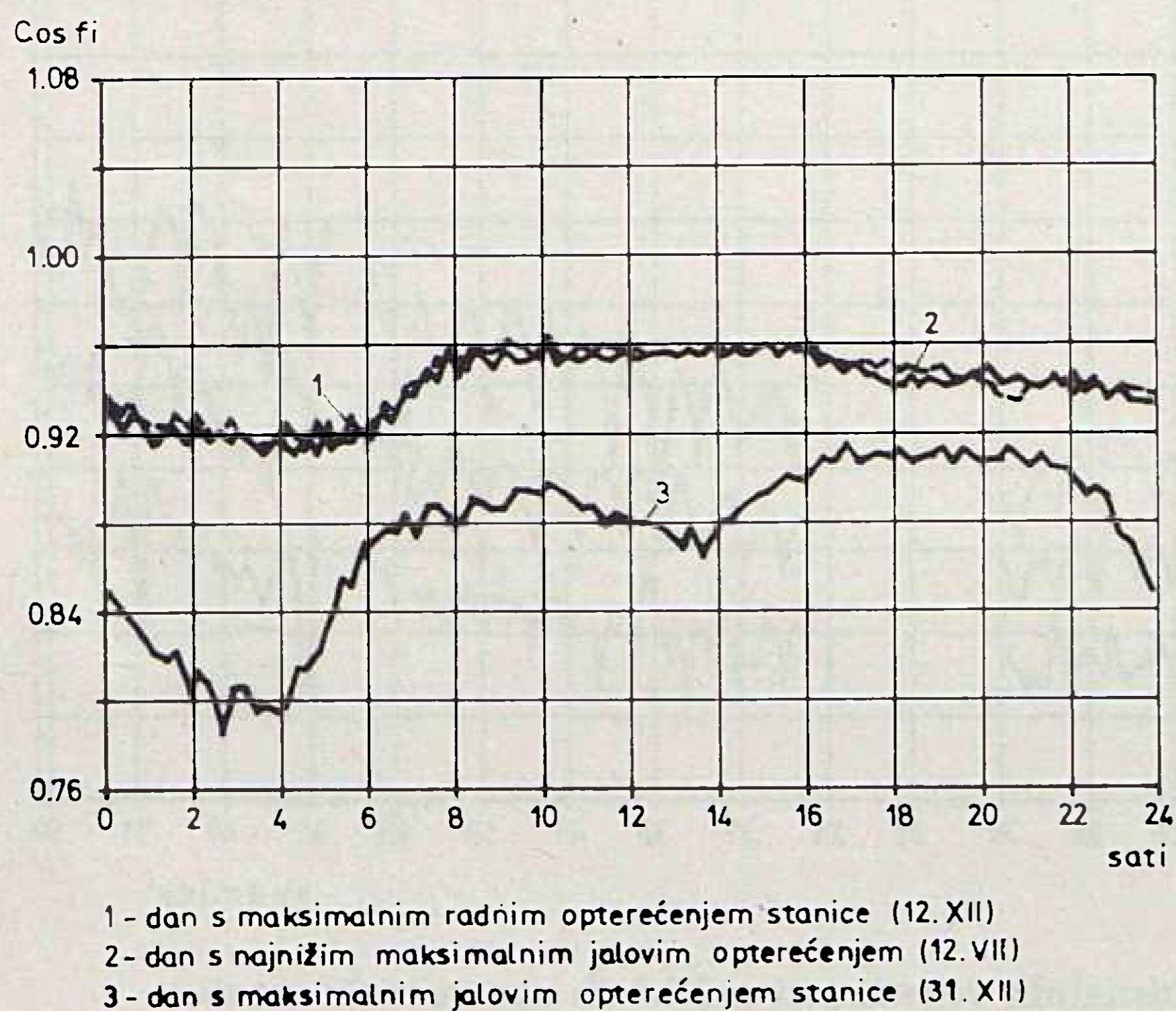
Slika 4. Dijagrami dnevnih maksimalnih, srednjih i minimalnih vrijednosti prividnih opterećenja stanice



Slika 5. Dijagrami maksimalnih, srednjih i minimalnih dnevnih vrijednosti faktora snage stanice u toku godine



Slika 6. Sintetički dnevni dijagrami i krivulje trajanja faktora snage stanice u toku godine



Slika 7. Dnevni dijagrami i krivulje trajanja faktora snage stanice za karakteristične dane u godini

## 7. IZBOR RJEŠENJA KOMPENZACIJE JALOVE SNAGE STANICE

### 7.1. Energetska osnova rješenja

Kao energetska osnova rješenja kompenzacije jalove snage ovdje su uzete ovom analizom utvrđene karakteristike konzuma stanice i pretpostavke da će njen konzum zadržati osnovne karakteristike utvrđene ovom analizom i pri punom iskorištenju u konačnici u stanici predviđene dvije transformatorske jedinice po 40 MVA u pogonu (odvojene) i jednim transformatorom od 40 MVA u rezervi.

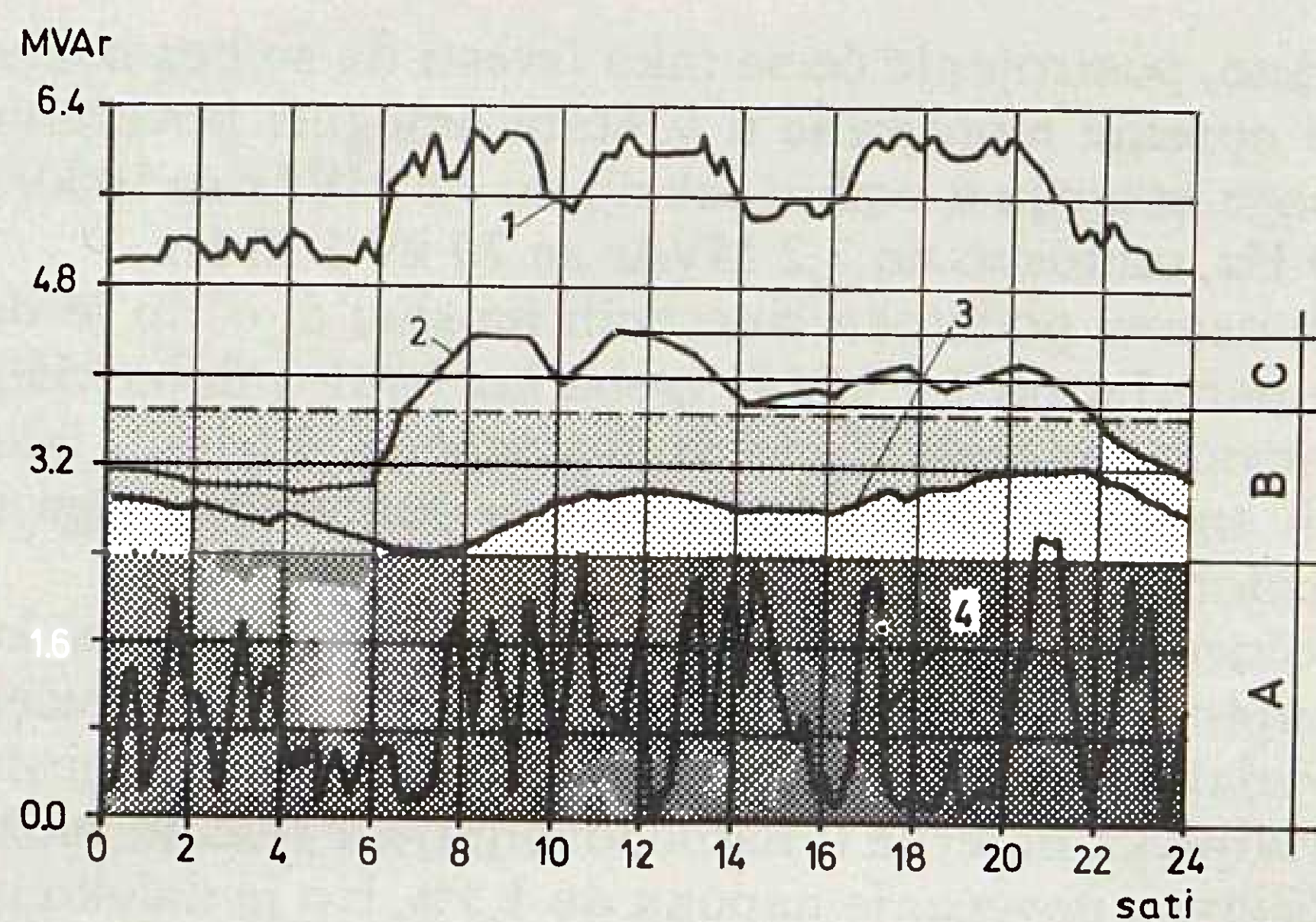
Iz podataka iznesenih u prethodnoj točki 6.3. očito je da podaci o jalovim opterećenjima za dan maksimalnog radnog opterećenja nisu dovoljno reprezentativna podloga na osnovi koje bi se mogli donijeti valja-

ni zaključci za izbor rješenja kompenzacije jalovih opterećenja TS 110/20(10) kV Samobor. Za to, sami za sebe, nisu dovoljni ni podaci o jalovim snagama stanice za dan njezina maksimalnog jalovog opterećenja i za dan minimalnog jalovog opterećenja. Analiza je pokazala da izbor rješenja kompenzacije jalove snage ove stanice treba zasnovati na podacima sadržanim na slici 3. i narednoj tabl. 3. tako raščlanjenim da se dobije na slici 8. predočena podjela:

- A — osnovna jalova snaga . . . . . 2,4 MVar
- B — srednja jalova snaga . . . . . 1,2 MVar
- C — vršna jalova snaga . . . . . 0,6 MVar

Analizom rezultata dobivenih obradom utvrđeno je:

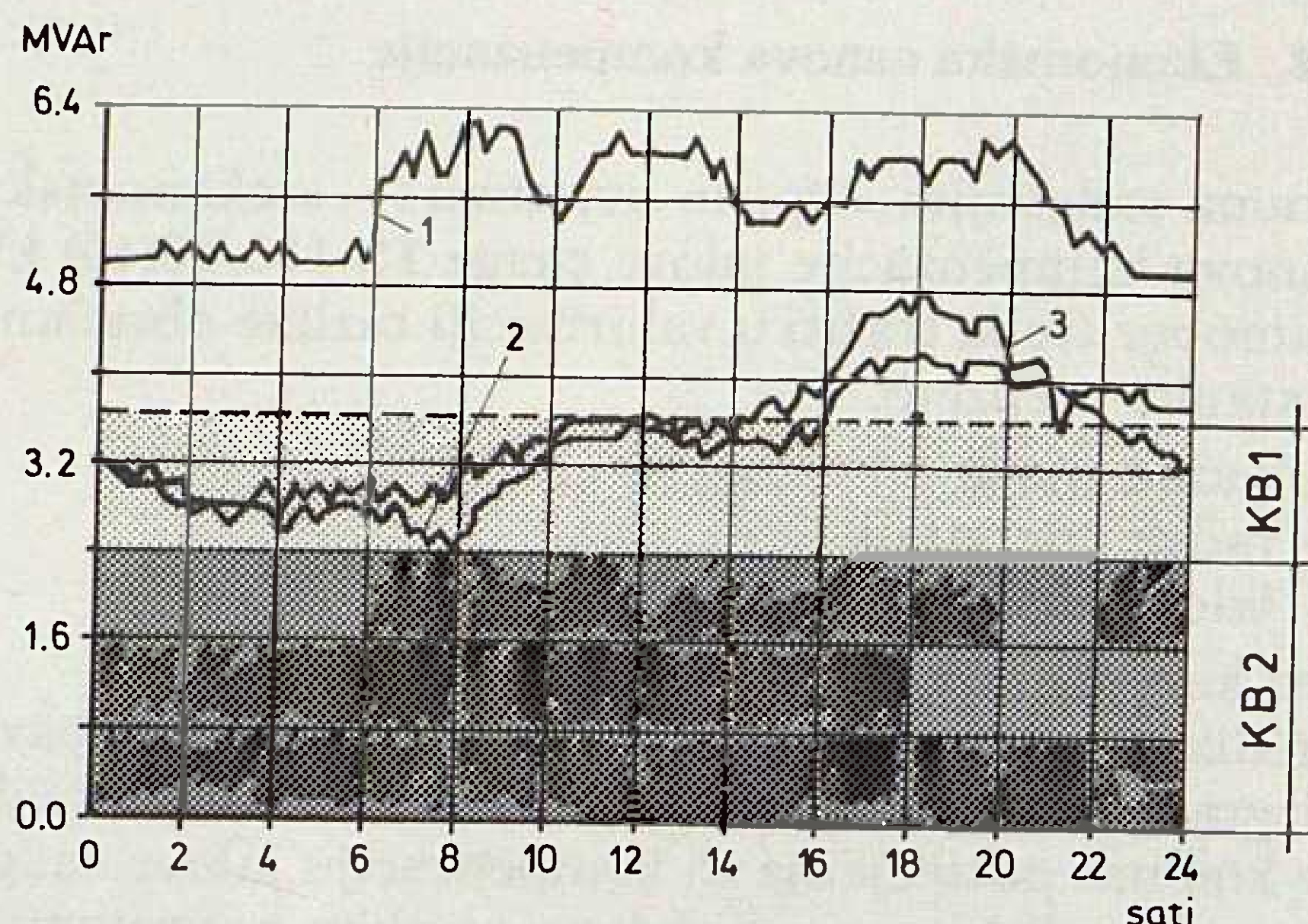
1. da jalova opterećenja niža od osnovne jalove snage (2,4 MVar) traju u prosjeku oko 60 min. u danu u pravilu javljaju se u jutarnjim satima; neradnim



- 1 - maksimalne vrijednosti - svi dani  
 2 - srednje vrijednosti radnim danom  
 3 - srednje vrijednosti neradnim danima  
 4 - minimalne vrijednosti - svi dani

▨ - kompenzira baterija KB 1   ▩ - kompenzira baterija KB 2

A - osnovna snaga, B - srednja snaga, C - vršna snaga



- 1 - dan s maksimalnim jalovim opterećenjem  
 2 - dan s najnižim maksimalnim jalovim opterećenjem  
 3 - dan s maksimalnim radnim opterećenjem

▨ - kompenzira baterija KB 1   ▩ - kompenzira baterija KB 2

**Slika 8. Sintetički dnevni dijagrami godišnjeg opterećenja i dijagrami opterećenja karakterističnim danima**

danom između 3 i 6 sati i radnim danom oko 5 sati,

- da srednje jalove snage traju u prosjeku oko 15 sati dnevno (javljaju se između 6,30 i 21,45 sati),
- da vršne jalove snage traju u prosjeku oko 4 sata dnevno (javljaju se između 7,00 i 9,30, te 10,30 i 13 sati),
- da jalova opterećenja veća od prosječnog maksimalnog jalovog opterećenja traju u prosjeku oko 4 sata dnevno.

Računa li se u perspektivi s odnosima i karakteristikama opterećenja koji su ostvareni u razdoblju 1975-1985. godine, može se zaključiti da će se konzum TS 110/20(10) kV Samobor razvijati u skladu s procjenom danom u tablici 4.

Iz svega dosad iznesenog jasno je da bismo s energetskog gledišta najpovoljnije rješenje za kompenzaciju jalovih opterećenja u TS 110/20(10) kV Samobor dobili kada bismo ugradili uređaj za kompenzaciju s automatskom regulacijom koja bi u cijelosti pratila dijagram jalove snage stanice. Energetski manje vrijedna rješenja dobili bismo primjenom stupnjevane kondenzatorske baterije, a najmanje kada bismo primijenili rješenje s kondenzatorskom baterijom bez mogućnosti regulacije njezine snage. Očito, osnovna opterećenja, odnosno band u dijagramu dnevnog op-

terećenja najjeftinije se kompenzira kondenzatorskom baterijom bez regulacije njene snage.

Odgovarajućim uređajima s dva stupnja regulacije mogu se kompenzirati osnovna i srednja opterećenja, a onim s tri stupnja regulacije osnovna, srednja i vršna opterećenja. Potpunija analiza je pokazala:

- da su rješenja sa statičkim kompenzatorom višestruko (oko 4 puta) skuplja od rješenja s kondenzatorskom baterijom koja bi kompenzirala samo osnovnu snagu
- da bismo s kondenzatorskim uređajima sa tri zasebne baterije tipske snage 2,4 + 1,2 + 0,6 MVar mogli kompenzirati oko 60% jalovog opterećenja stanice
- da bi prvi stupanj kompenzatora (snage 2,4 MVar) svojim neprekidnim radom mogao prekompenzirati postojeće induktivne snage u doba minimalnih opterećenja, prvenstveno praznikom u jutarnjim satima, pri čemu prekompenzacija u prosjeku ne bi prelazila 0,1 MVar
- da bi se drugi stupanj kompenzatora (snage 1,2 MVar) trebao uključivati oko 6,30 sati, a isključivati u 22 sata i kompenzirao bi srednja jalova opterećenja,
- da bi se treći stupanj kompenzatora (snage 9,6 MVar) uključivao oko 7,30 sati i isključivao u 9,30 sati, te ponovo uključivao u 11, a isključivao u 13 sati.

**Tablica 4. Rezultati procjene konzuma TS 110/20(10) kV Samobor u perspektivi**

Godina	Maks. radno optereć. (MW)	Maks. jalovo optereć. (MVar)	Min. jalovo optereć. (MVar)	Struktura jalovog opterećenja (MVar)			Snaga baterija (MVar)	
				osnovno	srednje	vršno	KB 1	KB 2
1981.	14,1	6,2	2,2	2,1	1,2	0,6	0	0
1986.	16,5	7,1	2,3	2,7	1,3	0,6	1,2	2,4
1990.	21,2	9,3	3,0	3,6	1,8	0,9	1,8	3,6
2000.	42,1	18,6	6,1	7,3	3,6	1,8	7,2	3,6
2010.	83,7	36,7	11,8	14,2	7,1	3,6	7,2	7,2

## 7.2. Ekonomska osnova kompenzacije

Prema sadašnjim »Općim uvjetima . . . « ekonomsku osnovu kompenzacije jalove snage TS 110/20(10) kV Samobor treba tražiti u valorizaciji razlike obračuna u stanici preuzete.

- radne snage
- radne energije i
- jalove energije

bez kompenzacije i s kompenzacijom.

Analizom prethodno prikupljenih ponuda za dobavu i izgradnju ovog postrojenja došlo se do zaključka da se kod nas postrojenja za kompenzaciju jalove snage mogu izvoditi samo s kondenzatorskim baterijama. Cijene ovih uređaja kreću se između 8 000 000 i 11 000 000 dinara/MVAr.

Bilanca troškova izgradnje postrojenja preuzeta je iz ponuda, a rentabilitet postrojenja računat je putem smanjenja troškova za preuzetu snagu i energiju, do koje treba doći primjenom kompenzacije jalove snage.

Iz rezultata provedenih proračuna rentabiliteta kompenzacije sažetih u tablici 5. vidi se:

- da je varijanta I. najekonomičnije rješenje za kompenzaciju jalovih snaga u TS 110/20(10) kV Samobor i da se investicija za takav uređaj za kompenzaciju isplati već za 5,8 mjeseci.
- da je rješenje u varijanti II. skuplje za 50% od rješenja predviđenog u varijanti I, ali da uz veću prilagodivost potrebama pogona ovo rješenje u odnosu na rješenje u varijanti I. ima za 26% veće efekte kompenzacije i da se investicija isplati za 6,5 mjeseci
- da je rješenje u varijanti III. ekonomski slabije od rješenja predviđenih i u varijanti I i u varijanti II, jer se uz povećanje investicija od 75% u odnosu na rješenje u varijanti I. ekonomski efekti kompenzacije povećavaju za samo 31%.

**Tablica 5. Osnovni pokazatelji proračuna rentabilnosti kompenzacije jalove snage u I etapi**

Parametri	Varijanta I.	Varijanta II.	Varijanta III.
snage kompenzatora (MVA)	2,4	2,4 + 1,2	2,4 + 1,2 + 0,6
investicije (Ik-M din)	26,0	37,0	46,0
uštete (Ug. M din/g)	54,4	68,3	73,7
rentabilnosti (n-god.)	0,48	0,54	0,62

Na osnovi rezultata provedene obrade zaključeno je da se investitor sa stajališta ukupne koristi koju mu kompenzacija može donijeti treba odlučiti za izgradnju postrojenja s dvije zasebne kondenzatorske baterije:

— u prvoj etapi (1986. g.):

$KB1 = 1,2$  MVAr i  $KB2 = 7,2$  MVAr u pogonu s 10 kV i 50 Hz

— u zadnjem etapi (oko 2010. g.):

$KB1 = 7,2$  MVAr i  $KB2 = 7,2$  MVAr u pogonu s 20 kV i 50 Hz.

Jasno, postrojenje će se tako izvesti da se bez izmjenne opreme montirane u I. etapi omogući povećanje snage baterija u svakoj sekciji do 3,6 MVAr sa 10 kV i 50 Hz, odnosno do 7,2 MVAr sa 20 kV i 50 Hz.

Na osnovi podataka iznesenih na slici 8. očito je da se baterija od 1,2 MVAr treba koristiti u doba viših dnevnih opterećenja za kompenzaciju srednjih jalovih snaga, ali i za kompenzaciju osnovnih snaga u razdobljima većih jalovih opterećenja u godini.

Kontrola naponskih prilika, rađena uz pretpostavku potpunog rasterećenja stanice na koju je priključen uređaj za kompenzaciju, pokazala je da se na mjestu priključka baterije u najnepovoljnijem slučaju može očekivati povećanje napona do 1,3%, što je daleko ispod propisane granice dozvoljenog maksimalnog napona baterija od 1,1 Un.

## 8. OSNOVNI PARAMETRI PROJEKTOG RJEŠENJA POSTROJENJA

### 8.1. Osnova rješenja

Pri projektiranju stanice njeno postrojenje 110 kV je dimenzionirano prema snazi kratkog spoja od 5 000 MVA i vremenu trajanja kratkog spoja  $t_K = 0,8$  sek. Na osnovi toga u postrojenje 110 kV ugrađeni su prekidači proizvodnje »Rade Končar« tip 3P rasklopne snage 5 000 MVA.

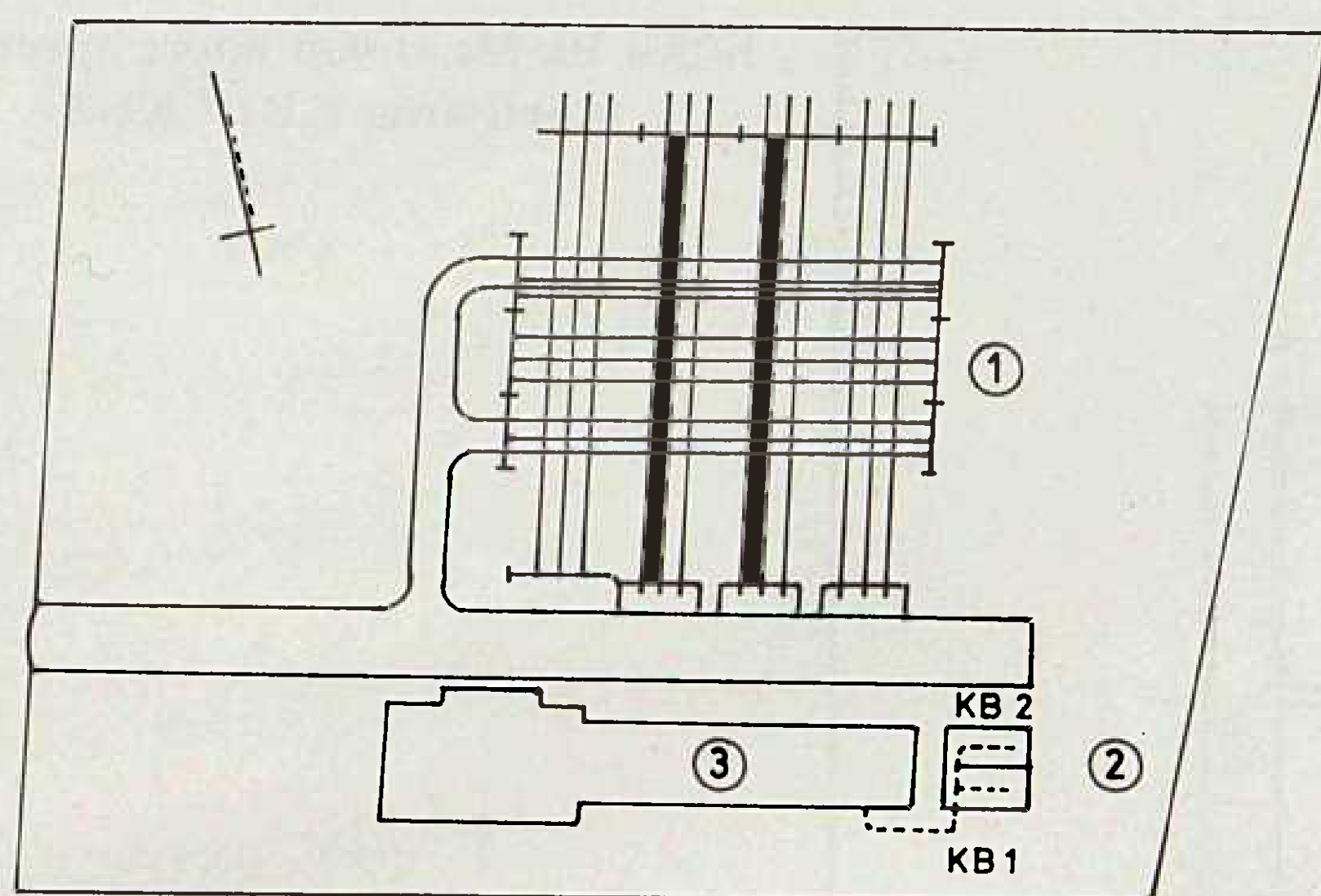
U skladu s rješenjem predočenim na prethodnoj slici 8. i tablici 4, te slici 9 i tablici 6. postrojenje za kompenzaciju jalove snage isprojektirano je u formi dviju zasebnih baterija ( $KB1$  i  $KB2$ ) svaka sa svojim zasebnim upravljačkim i kondenzatorskim sistemom.

U prvoj fazi postrojenje će imati snagu od 3,6 MVAr ( $KB1 = 1,2$  MVAr i  $KB2 = 2,4$  MVAr) pri naponu mreže 10 kV, a u konačnici 14,4 MVAr (svaka baterija po 7,2 MVAr) pri naponu mreže 20 kV.

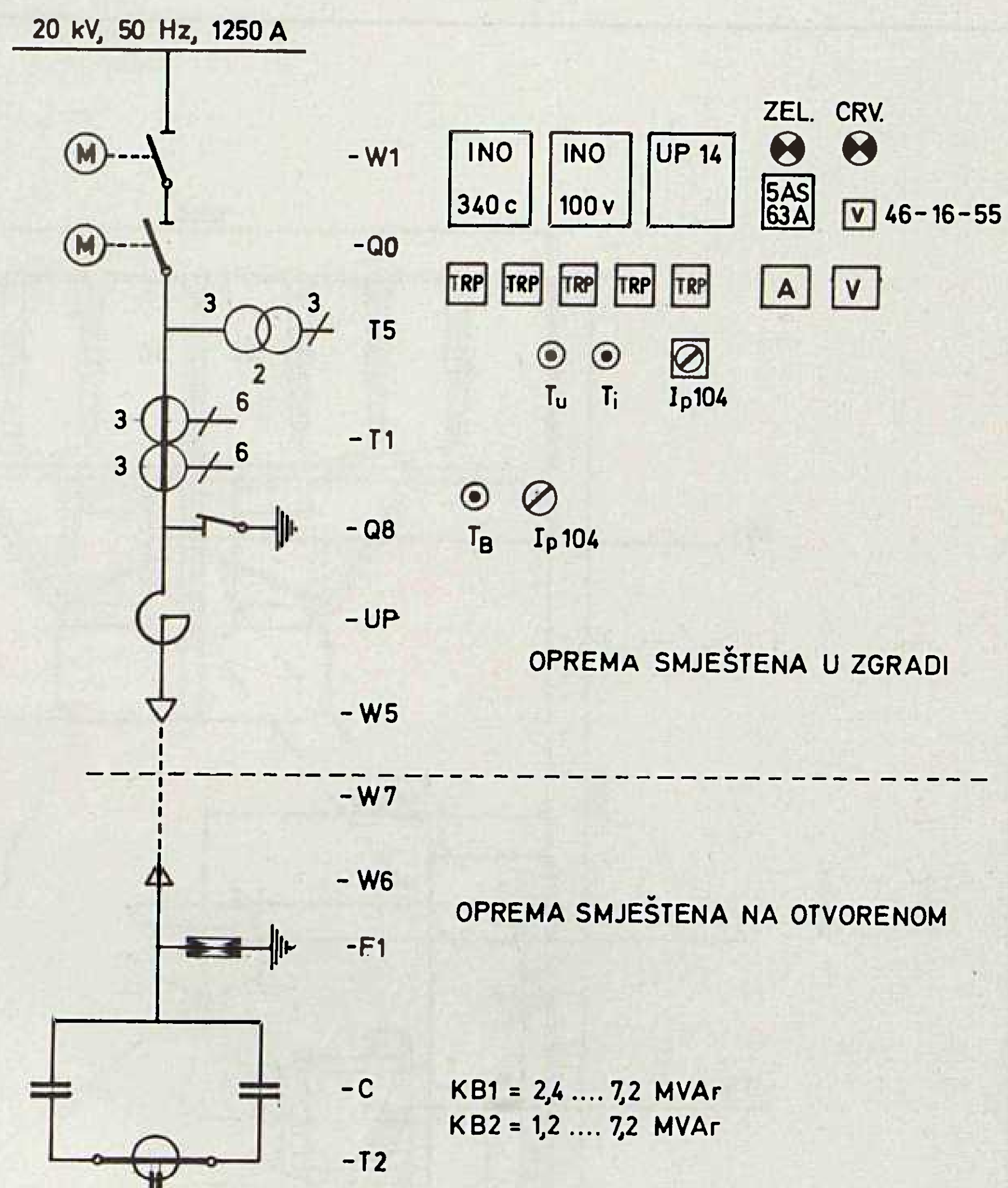
**Tablica 6. Specifikacija opreme kompenzatora**

OZNAKA	NAZIV	TIPSKA OZNAKA	TEHNIČKI PODACI
-W1	rastavljač	SR 24-III-630, KONČAR	$U_n = 24$ kV $I_n = 630$ A
-Q0	matouljni prekidač	PUC 2012-1000, MINEL	$U_n = 24$ kV $I_n = 1250$ A $I_r = 25$ kA
-T1	strujni transformator	AKB 2421, FMT	$U_n = 24$ kV $2 \times 100/5/5A, 15/15$ VA
-T5	naponski transformator	VSK-II-24, FMT	$U_n = 24$ kV $20(10)$ kV/100 V, 95/45A
-Q8	zemljospojnik	MRZ 24-630/75, MINEL	$U_n = 24$ kV
-UP	udarna prigušnica	PU-20/250, MINEL	$U_n = 24$ kV $L = 100 \mu H$ $I_n = 250$ A
-W5	kabelska završnica (unutarnja montaža)	XPGU 24/2, TEP	$U_n = 24$ kV
-W7	kabel	XHP 48-A, ELKA	$U_n = 24$ kV $3 \times (1 \times 150)$ mm <sup>2</sup> Al
-W6	kabelska završnica (vanjska montaža)	XPKG 24/2, TEP	$U_n = 24$ kV
-F1	odvodnik prenapona	VPO 5 da, MINEL	$U_n = 24(12)$ kV, $I_n = 10$ kA
-T2	strujni transformator	STEM-3821 SM, FMT	$U_n = 38$ kV $2 \times 5/5$ A, 15/15 VA
-C	kondenzatorska baterija	PMKS-100, MINEL	$U_n = 21(10 \cdot 5)$ kA $S_n = 7.2(1.2 \dots 7.2)$ MVAr

FUNKCIJA	LOKALNO	DALJINSKI
upravljanje	-Q0, W1, -Q8	-Q0, W1
signalizacija	-Q0, -Q8	-Q0, -Q8
mjerenje	I (L2)	I (L2)
zaštita	(I <sub>1</sub> + I <sub>2</sub> + I <sub>3</sub> )(L1.L2.L3) I <sub>c</sub> + U <sub>1</sub> + I <sub>2</sub>	



- ① POSTROJENJE 110 kV  
 ② KONDENZATORSKO POSTROJENJE  
 ③ POSTROJENJE 20 kV  
 ..... TRASA PRIKLJUČNOG KABELA



Napomena: Parametri aparata dani su u tablici 6.

Slika 9. Specifikacija rješenja kompenzacije jalovog opterećenja TS 110/20(10) kV Samobor

## 8.2. Opis postrojenja

Oprema postrojenja birana je na osnovi podloga spomenutih u prethodnoj točki 8.1, a njezin smještaj u postrojenju prikazan je na slikama 9, 10 i 12.

Iz danih prikaza vidi se:

- da je upravljački dio opreme s udarnim prigušnicama i rastavljačima za uzemljenje za obje baterije smješten u zgradi u ćelije BO3 (za KB1) i B15 (za KB2) prije, u sklopu stanice, izgrađenog postrojenja 20(10) kV i
- da su kondenzatori s odvodnicima prenapona i strujnim transformatorima za balansnu zaštitu obje baterije smješteni na betonskom platou na slobodnom prostoru, ispred istočne strane zgrade postrojenja 20(10) kV.

## 8.3. Kondenzatorske baterije

Prema podacima predočenim na slici 9. i 11. i tablici 6. obje baterije su izvedene s kondenzatorskim jedinicama proizvodnje »Minel« tip PMKS-100, 100 kVAR,  $10,5/\sqrt{3}$  kV, 50 Hz.

Sami kondenzatori raspoređeni su u dvije poluzvijezde po fazi, tako da baterije imaju:

u I. etapi (1986. g.)

- KB1 ukupno 12 kondenzatorskih jedinica (dvije u paralelnom spoju po poluzvijezdi ili četiri po fazi)
- KB2 ukupno 24 kondenzatorske jedinice (četiri u paralelnom spoju po poluzvijezdi ili osam po fazi),

u konačnici (nakon 2010. g.),

- svaka baterija će imati po 72 kondenzatorske jedinice (6 paralelnih grupa s po dvije jedinice u seriji, odnosno 12 jedinica po poluzvijezdi).

## 8.4. Plato i kabelski kanali

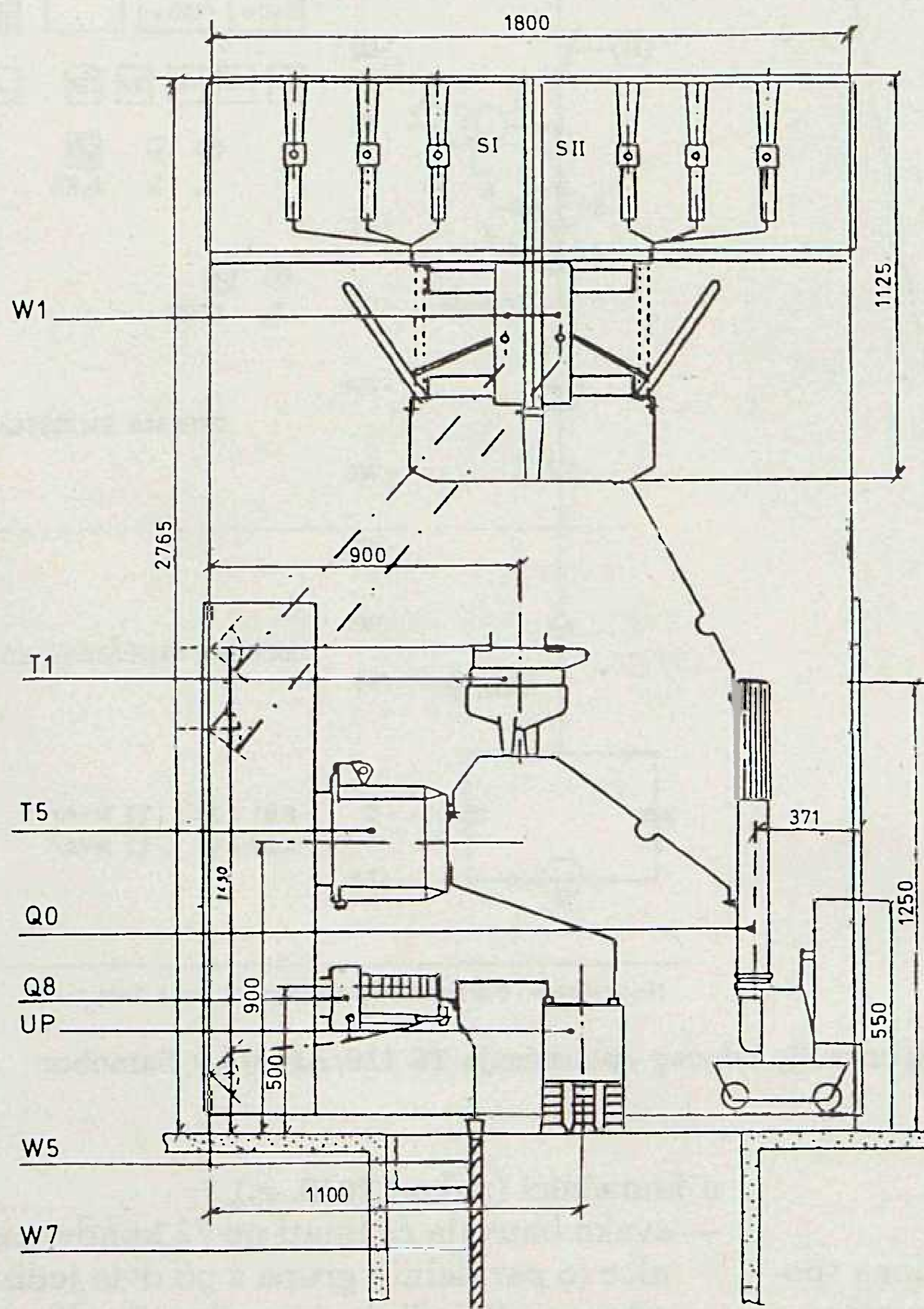
Plato za smještaj opreme vanjskog dijela postrojenja za kompenzaciju (dimenzija 10,2 m × 6,9 m) izveden je na slobodnom prostoru ispred istočne strane zgrade postrojenja 20(10) kV. U sklopu platoa, prema situaciji predočenoj u slici 9. i 13. izveden je betonski kanal profila 60 × 80 cm za smještaj kabelskih vodova koji povezuje vanjsko i unutrašnje postrojenje u jedinstvenu funkcionalnu cjelinu.

## 8.5. Čelične konstrukcije

Iz prikaza predočenog u slici 12. vidi se da su konstrukcije za smještaj obiju kondenzatorskih baterija napravljene u prizemnoj izvedbi s osnovom uzdignutom iznad platoa 125 cm na prednjoj strani i 132 cm na stražnjoj strani. Osnova konstrukcije izvedena je od vruće pocinčanih čeličnih profila NP 100, a unutarnji elementi od vruće pocinčanih čeličnih profila NP 65 i L profila 45 × 45 × 5 mm. Vijčani spojevi na konstrukciji izvedeni su vruće pocinčanim vijcima i nazupčanim podloškama.



Slika 10. Montažni nacrt opreme u ćelijama KB1 i KB2



Napomena: Parametri aparata dani su u priložu 6.

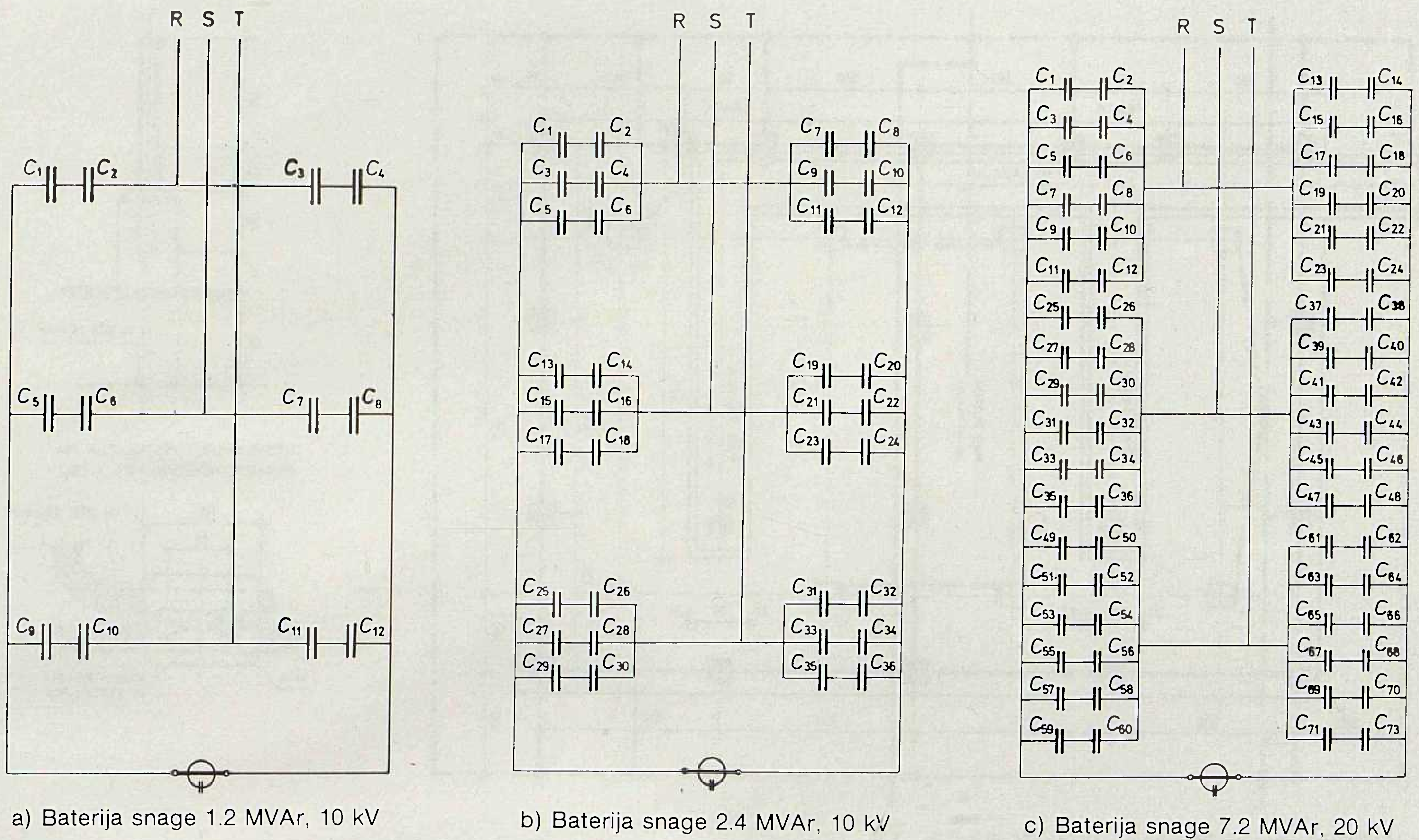
	MINEL – STATIČKI APARATI OOUR KONDEZATORI 11234 RIPANJ, Put za koloniju br. 142		.Kontrolirao: Ing. M. GORUNOVIĆ	<i>M. Gorunović</i>
			.Odobrio: Ing. T. BUJANOVIĆ	<i>T. Bujanović</i>
	elektroprojekt 41000 Zagreb Profesorskih brigada 37		Investitor ELEKTRA ZAGREB OOUR Elektrodistribucija Samobor – Samobor	
			Objekt TS 110/20(10) kV Samobor Postrojenje za kompenzaciju jalove snage	
.Odgovorni projektant: Ing. N. VAGIĆ	.Dat.: 6.86	Projekt Tehnička dokumentacija za građenje postrojenja za kompenzaciju jalove snage		
.Projektirao: Ing. N. VAGIĆ	.Ml.: 1:20	Sadržaj: MONTAŽNI NACRT OPREME U ĆELIJI 20 (10) kV		
.Odobrio: Ing. Z. CRNKOVIĆ	.Form. m <sup>2</sup> : 0,07	KONDEZATORSKE BATERIJE KB1, ODNOSNO KB2		
Tipakl nacrt	Vrsta	Projekt	Knjiga	Prilog
Klesl. oznaka	[E 4]	[K S A 01]	[E 01]	[6 4]
				.Kopirano: 13 .List: 4

### 8.6. Ograda

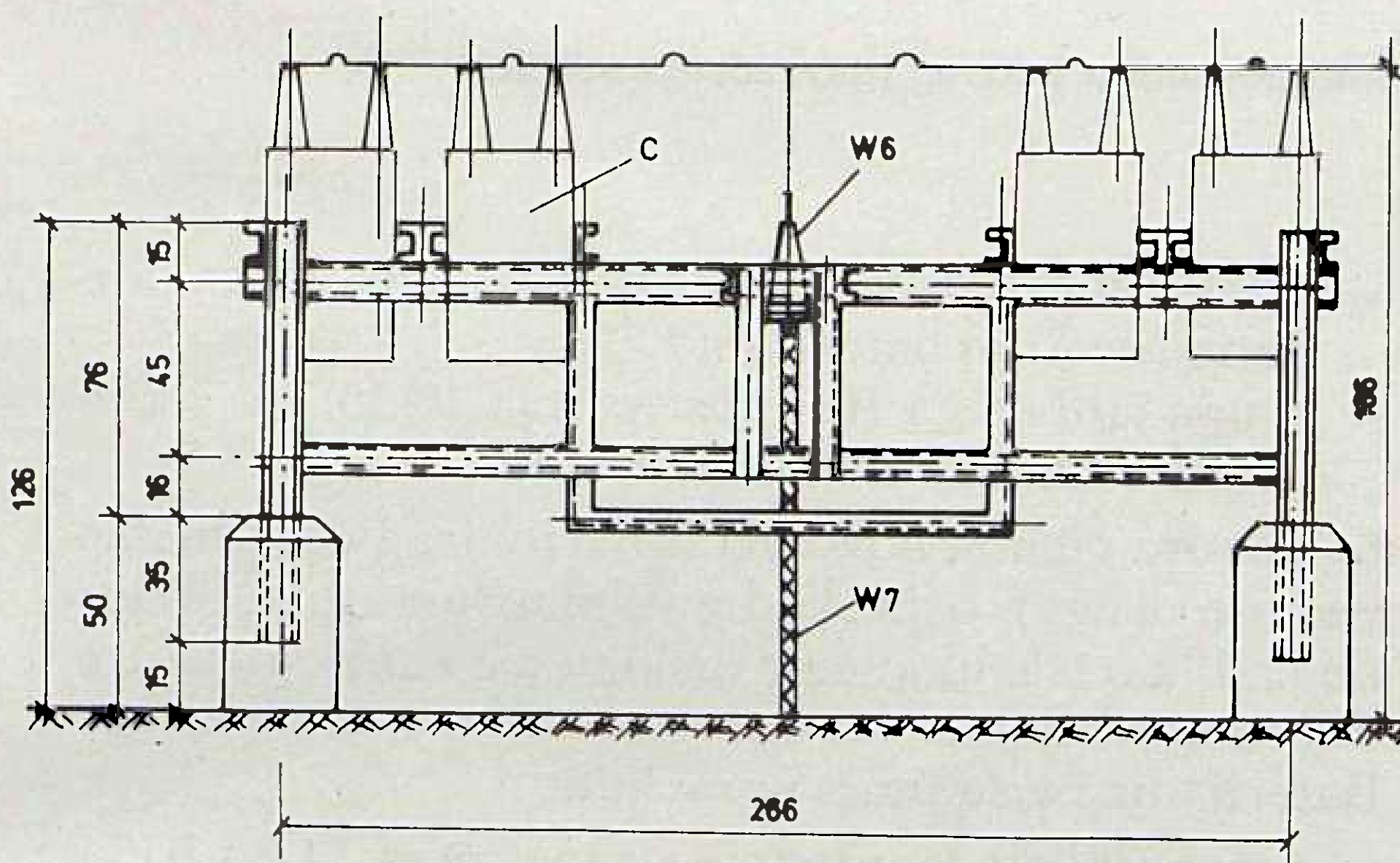
Vanjski dio postrojenja za kompenzaciju jalovog opterećenja TS 110/20(10) kV Samobor ograđen je posebnom, tzv. unutarnjom ogradom visine oko 2 m s pletivom od aluminijske žice i aluminijskim stupovima tvorničke proizvodnje »IMPOL« iz Slovenske Bistrice.

### 8.7. Uzemljenje

Uzemljenje postrojenja za kompenzaciju izvedeno je u skladu s rješenjem predloženim na slici 13, i to tako da svi dijelovi postrojenja koji normalno nisu pod naponom, a mogu doći pod napon, galvanski spojeni na već postojeći sistem uzemljenja TS 110/20(10) kV Samobor. Navedeno znači da je uzemljenje postroje-

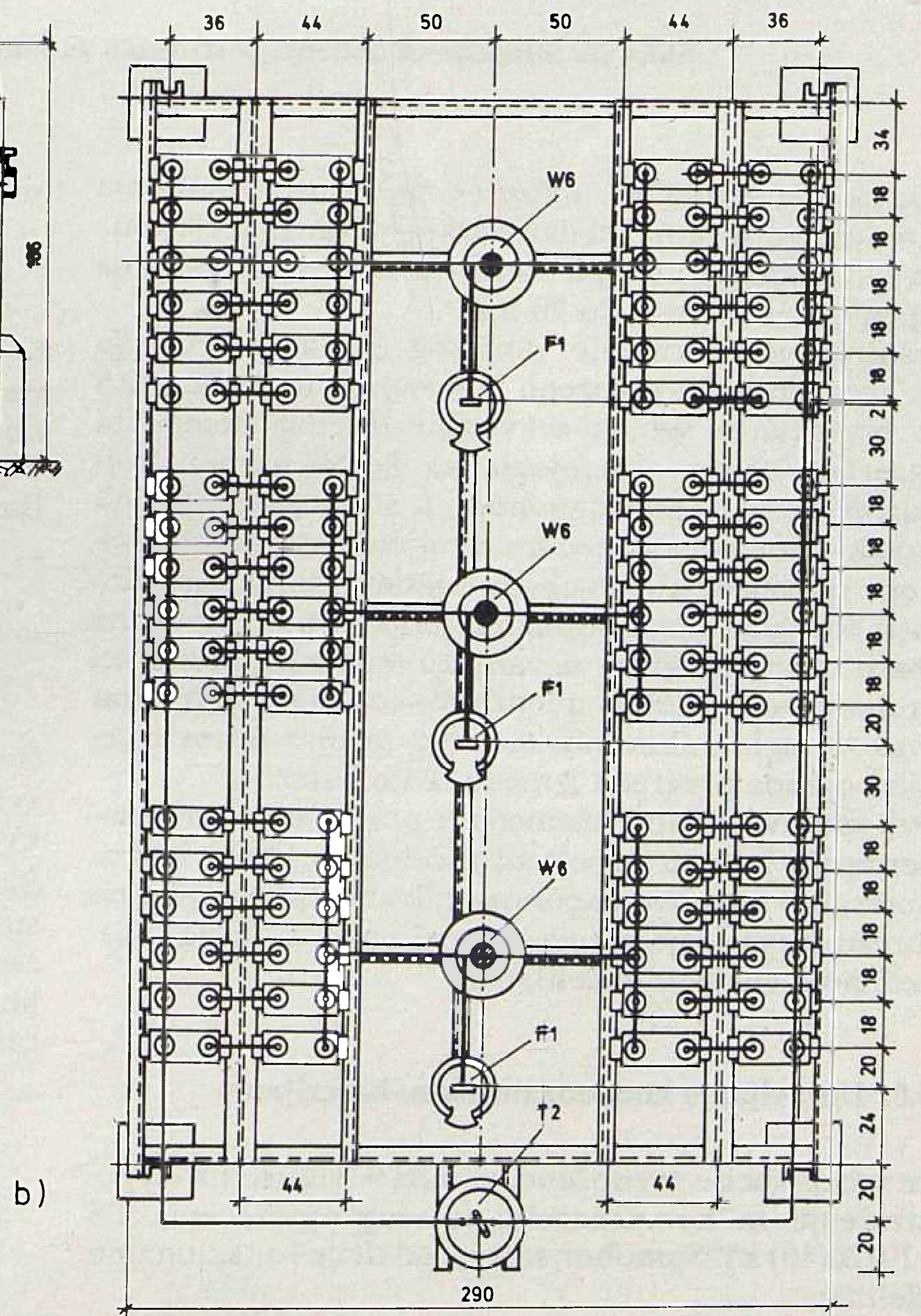


Slika 11. Shema spajanja kondenzatorskih jedinica u kondenzatorske baterije KB1 i KB2



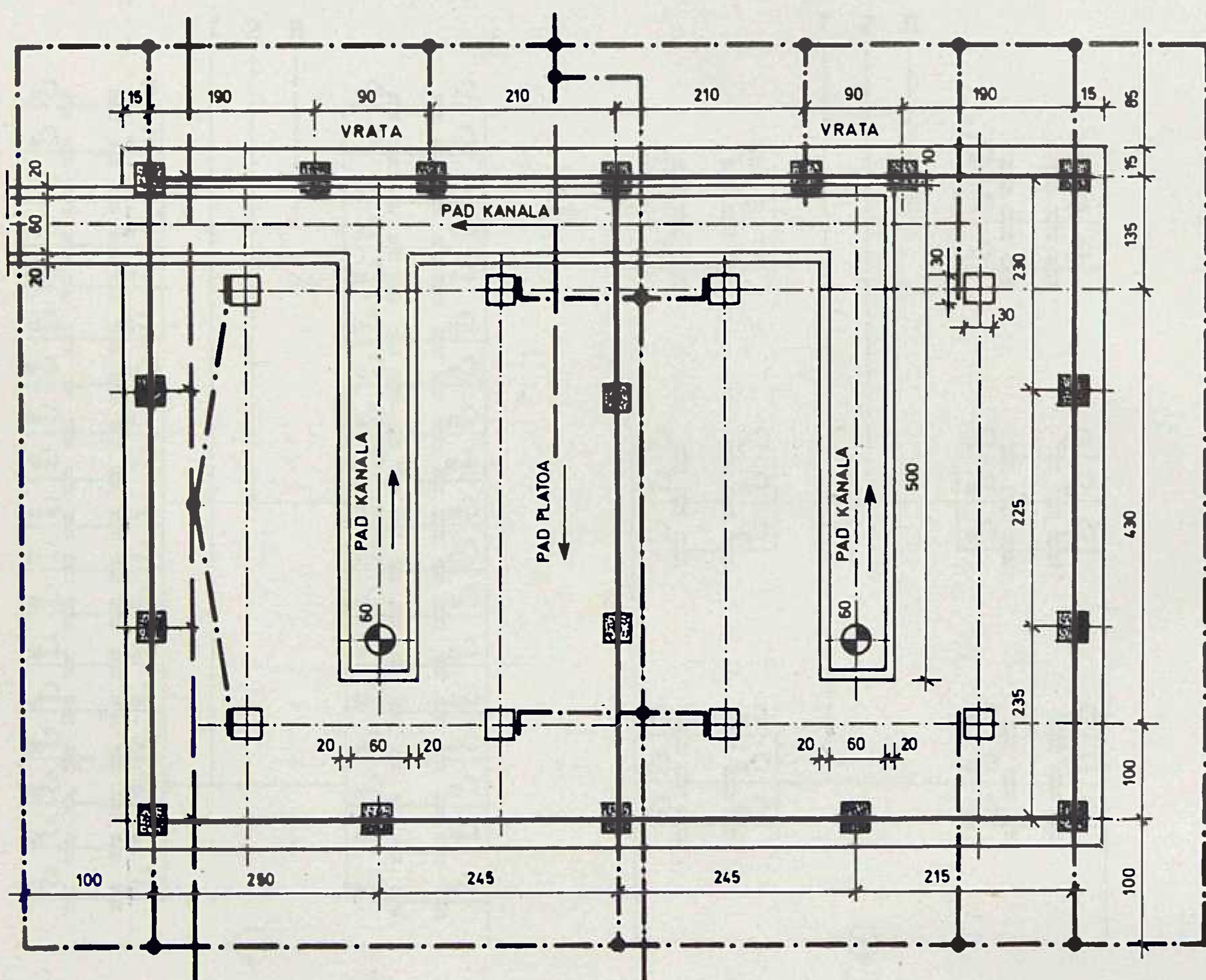
NAPOMENA: Mjere su dane u cm  
 Parametri aparata dani su u tablici 6.

a)



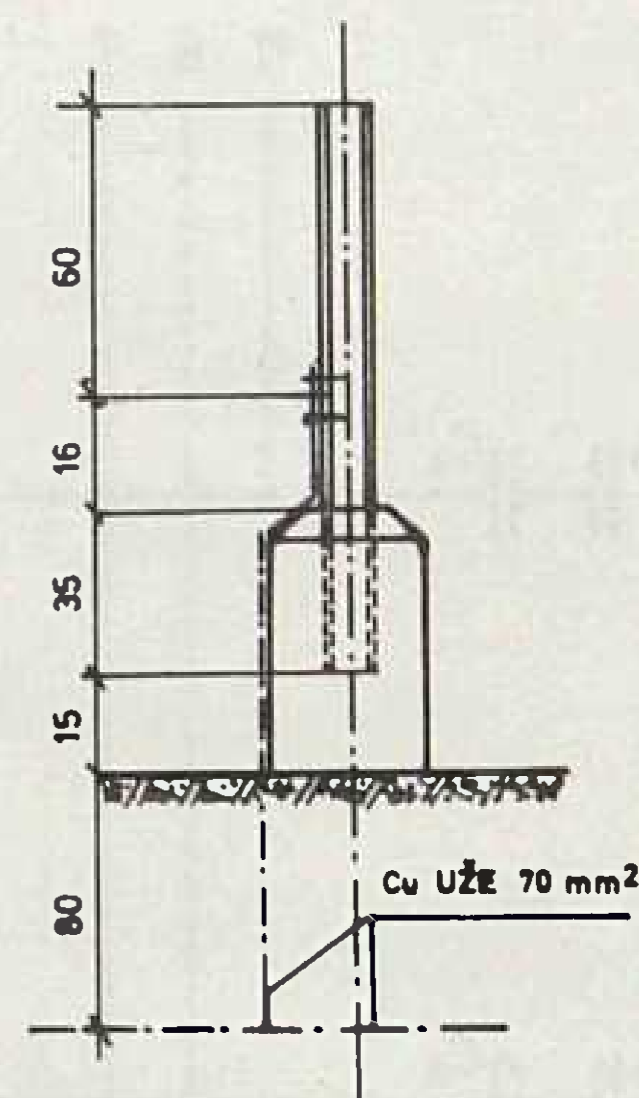
b)

Slika 12. Montažni nacrt baterije 7,2 MVar, 20 kV

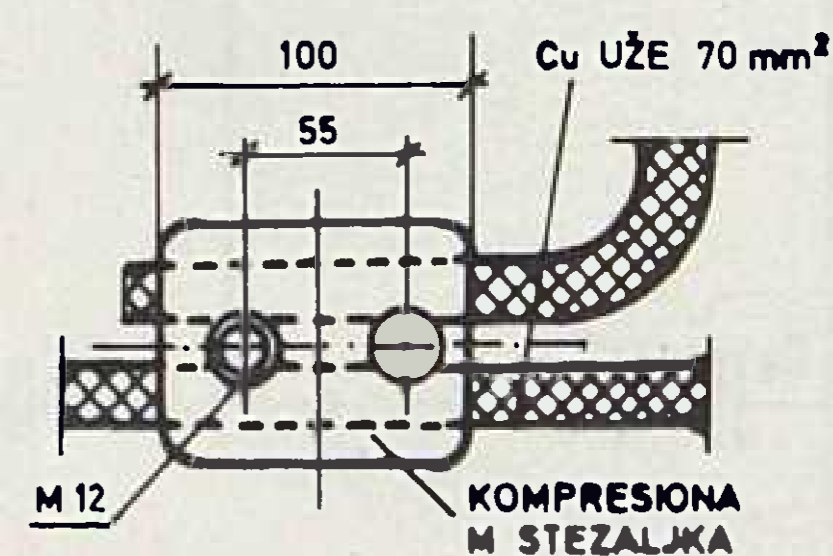


- LEGENDA:
- UZEMLJENJE STANICE - UŽE 70 mm<sup>2</sup> Cu
  - UZEMLJENJE VANJSKOG DIJELA POSTROJENJA ZA KOMPENZACIJU
  - OGRADA KONDENZATORSKIH BATERIJA
  - SPOJNO MJESTO UŽADI 70 mm<sup>2</sup> Cu

Slika 13. Situacija uzemljenja postrojenja za kompenzaciju jalovog opterećenja stanice



UZEMLJENJE KONSTRUKCIJE NA PLATOU BATERIJE KB1 i KB2



nja za kompenzaciju »naleglo« na mrežu uzemljenja stanice i da s njim čini galvanski jedinstvenu cjelinu. Sva uzemljenja i spojni vodovi u sastavu uzemljenja izvedeni su užetom Cu 70 mm<sup>2</sup>.

Obuhvatno uzemljenje vanjskog dijela postrojenja za kompenzaciju položeno je u zemlju na dubinu 0,5 m. Na njega su spojeni svi vodljivi dijelovi elemenata vanjskog dijela postrojenja za kompenzaciju koji normalno nisu pod naponom, a sve zajedno je galvanski spojeno s mrežom uzemljenja stanice. Uzemljene su čelične konstrukcije kondenzatorskih baterija (i to svaka noga najmanje jednostruko), metalne mase kablskih glava za vanjsku montažu, odvodnici prenapona, ograda kondenzatorskog postrojenja (na svakom uglu), aluminijska vrata za ulaz u postrojenje i ograda-pregrada između dvije baterije.

Svi vodljivi dijelovi elemenata postrojenja za kompenzaciju koji su smješteni u ćelijama BO3 i B15, a normalno nisu pod naponom galvanski su spojeni na mrežu uzemljenja stanice na isti način kako je to izvedeno u susjednim ćelijama.

### 8.8. Upravljanje kondenzatorskim baterijama

Iz specifikacije predočene na slici 9. vidi se da se postrojenje za kompenzaciju jalovog opterećenja TS 110/20(10) kV Samobor sastoji od dvije funkcionalne cjeline;

- prvu čini ćelija BO3 postrojenja 10(20) kV sa kondenzatorskom baterijom KB1 a
- drugu čini ćelija B15 postrojenja 10(20) kV s kondenzatorskom baterijom KB2.

Svaka ova cjelina u osnovi funkcionira i djeluje neovisno o drugoj, osim kod automatskog rada, odnosno kad baterije uključuje i isključuje automatski uređaj za upravljanje.

Baterijama će se moći upravljati:

- ručno (lokalno s prednje strane ćelija BO3 i B15 u postrojenju 20kV i daljinski iz DC korisnika — Elektre Samobor) ili
- automatski (uređajem smještenim na relejnom stalku u komandnoj prostoriji stanice).

Ovaj princip upravljanja primijenjen je također i u svim ostalim ćelijama postojećeg postrojenja 10(20) kV.

Sklopni elementi (rastavljači i prekidač) opremljeni su elektromotornim pogonima, tako da se njima može upravljati električki, putem tipkala. Samo se zemljospojnikom upravlja ručno jer je preko njega blokirano upravljanje odgovarajućeg prekidača.

- Ručno upravljanje baterijama KB1 i KB2 obavlja se sklopnim elementima baterija (rastavljači + prekidač) uz pomoć tipkala smještenih na prednjoj strani vrata ćelije BO3 i B15 postrojenja 20(10) kV na kojima je još sinoptička shema funkcionalne cjeline (ćelija + baterija) s pokazivači-

ma položaja rastavljača, prekidača i zemljosojnika, te ampermetar i voltmetar.

- Automatsko upravljanje baterijama KB1 i KB2 (uključivanje i isključivanje prekidača) obavlja automat TEP 5006 s priborom za upravljanje (tipkala, signalne lampice i pomoćni releji za izbor ručnog, odnosno automatskog upravljanja za pojedinu bateriju) smješten na relejnom stalku u komandnoj prostoriji stanice.

Automat preko pomoćnih releja, koji se nalaze u ćeliji, uključuje i isključuje prekidač određene baterije. Nalog za uključivanje ili isključivanje daje automat već prema potrebi za jalovom energijom u mreži. Uključivanja počinje uključanjem veće baterije, a završava uključanjem manje baterija. Pri isključivanju je obrnuto. Počinje se s isključenjem manje baterije, a završava isključenjem veće baterije.

Daljinsko upravljanje baterijom realizirat će se u bližoj budućnosti, istovremeno kada se uvede za cijelo postrojenje 10(20) kV TS 110/20(10) kV Samobor. Tada će trebati ugraditi odvojne pomoćne releje u svakoj kondenzatorskoj ćeliji. Njihovo djelovanje je paralelno lokalnom upravljanju (s prednjih vrata ćelije ili automatskom upravljanju iz komande prostorije stanice).

U slučaju ručnog upravljanja nužno je isključiti automat a u slučaju automatskog upravljanja isključiti treba ručno upravljanje.

### 8.9. Zaštita postrojenja

Za zaštitu od električnih kvarova u funkcionalnoj cjelini KB1 ili KB2 ugrađena je:

- prekostrujna relejna zaštita Iss
- prekostrujna relejna zaštita Is
- balansna (diferencijalna) relejna zaštita
- prenaponska relejna zaštita Us.

Ove relejne zaštite ugrađene su u ćelijama KB1 i KB2 i u slučaju kvara djeluju direktno i isključuju prekidač baterije, bez obzira na odabrani način upravljanja.

Prorada zaštite signalizira se na postojećim signalnim tabloima stanice u polju signalizacije komandne ploče. Za ovu signalizaciju korištena su signalna mjesta na tabloima koji su bili već predviđeni u rješenju ranije izgrađenog postrojenja.

Uklopno stanje sklopnih aparata signalizira se preko pomoćnih releja za potrebe daljinskog upravljanja, a istovremeno ovo uklopno stanje aparata prenosi se i na pokazivače položaja aparata u sastavu sinoptičke sheme na prednjim vratima ćelije.

Da se spriječe pogrešne manipulacije sklopnim aparatima, u funkcionalnim cjelinama KB1 i KB2 provedene su potrebne blokade koje osiguravaju:

- da se sabirničkim rastavljačima može upravljati samo kod isključenog prekidača, odnosno

- da se sa sabirničkim rastavljačem u prvom sistemu sabirnica može upravljati samo ako je sabirnički rastavljač u drugom sistemu sabirnica isključen
- da se sa oba sabirnička rastavljača može upravljati samo ako je uključen prekidač u spojnom polju,
- da se prekidačem ne može upravljati ako je zemljospojnik uklopljen.

### 8.10. Bilanca investicionih troškova

— Električna oprema	oko 22 000 000 dinara
— Građevinski dio postrojenja (plato, ograda, kanali)	oko 3 000 000 dinara
— Elekromontažni radovi	oko 12 000 000 dinara
— Transportni troškovi	oko 500 000 dinara
Ukupno:	oko 37 500 000 dinara

## 9. ZAKLJUČAK

Provedena razrada pokazala je da je za kompenzaciju jalovih opterećenja u TS 110/20(10) kV Samobor najpovoljnije rješenje izgradnja kondenzatorskog postrojenja s dvije zasebne baterije ( $KB1 = 1,2$  MVar i  $KB2 = 2,4$  MVar) koje će kompenzirati u 1986. g. procijenjena osnovna (2,4 MVar) i srednja (1,2 MVar) jalova opterećenja stanice tako izvedeno da se bez izmjena opreme montirane u I. etapi omogući povećanje snage baterija u svakoj sekciji do 3,6 MVar s 10 kV i 50 Hz, odnosno do 7,2 MVar s 20 kV i 50 Hz u konačnici.

Račun je pokazao da se investitoru ukupna investicija za u I. etapi predviđeni opseg izgradnje ovog uređaja u iznosu od oko 37 milijuna dinara može isplatiti smanjivanjem troškova za kupnju energije već za 6,5 mjeseci eksploatacije uređaja.

## DOKUMENTACIJA

N. Vagić i suradnici:

1. Obrazloženje opravdanosti kompenzacije jalove snage u TS 110/20(10) kV Samobor, Elektroprojekt, Zagreb, 1986. g.
2. TS 110/20(10) kV SAMOBOR — Tehnička dokumentacija za građenje postrojenja za kompenzaciju jalovog opterećenja stanice, Elektroprojekt, Zagreb u suradnji s Minel — Statički aparati, Beograd, 1986. g.

**COMPENSATION OF REACTIVE POWER IN TS 110/20(10) kV SAMOBOR**

In the article is presented a short review of design for compensation of reactive power in ts 110/20(10) kV Samobor. In the first part of the article is presented a base solution, data of consumption, recordings of power data, calculations and results of analyses. In the second part is presented a power and economy base for choice of solution and some design characteristics.

**KOMPENSATION DER NUTZLOSEN BELASTUNG TS 110/20 (10) kV SAMOBOR**

Im Artikel bespricht man zusammenfassend die Ergebnisse der Arbeit am Projekt der Kompensation der nutzlosen Belastung TS 110/20 (10) kV Samobor. Im ersten Teil spricht man über die wichtigsten Angaben über den Konsum der Station, Aufzeichnung der energetischen Angaben in der Station und ihrer Bearbeitung, sowie über die Resultate der Bearbeitung und Analyse der durch die Bearbeitung gewonnenen Anzeiger. Im zweiten Teil des Artikels spricht man über energetische und wirtschaftliche Grundzüge der Auswahl von Lösungen bezüglich der Kompensation, sowie Grundparameter der Projektlösung der Anlagen.

**КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ НАГРУЗКИ ПС 110/20(10) кВ САМОБОР**

В статье изложен краткий обзор результатов труда на проекте компенсации реактивной мощности ПС 110/20(10) кВ Самобор.

В первой части обзора приводится основа решения, сведения о потребителях подстанции, регистрации энергетических данных на подстанции и их обработке, а также результаты и анализа показателей, полученных обработкой. Во второй части статьи приводятся энергетическая и экономическая основы выбора решения компенсации и основные параметры проектного решения установки.

Naslov pisca:

**Nikola Vagić, dipl. inž.**  
**Elektroprojekt, 41000 Zagreb**  
**Proleterskih b. 37**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1987-06-17

# PRORAČUN MAKSIMALNIH BRZINA VJETRA IZ KRATKOG NIZA MJERENJA DUŽ TRASE DALEKOVODA

Višnja Vučetić, Zagreb

UDK 621.315.1

PRETHODNO SAOPĆENJE

U radu je prikazana primjena Gumbelove razdiobe ekstrema za proračun maksimalnih brzina vjetra za višegodišnje razdoblje iz kratkog niza mjerenja. Za tu su svrhu traženi odnosi maksimalnih udara vjetra za lokaciju s kratkim nizom mjerenja i obližnje meteorološke stanice koja ima slične karakteristike strujanja i dugogodišnja kvalitetna mjerenja brzine vjetra. Metoda je primijenjena na ekstremne brzine vjetra koje su zabilježene na stanicama Jablan (1983-1986) i Zlobin (1985-1986), smještene uz buduću trasu dalekovoda TS Melina — TS Vrbovsko u Gorskom kotaru. Pokazano je da metoda daje zadovoljavajuće rezultate ako se raspolaže mjerenjima od nekoliko godina.

**Ključne riječi:** maksimalni udar vjetra, Gumbelova razdioba ekstrema, trasa dalekovoda.

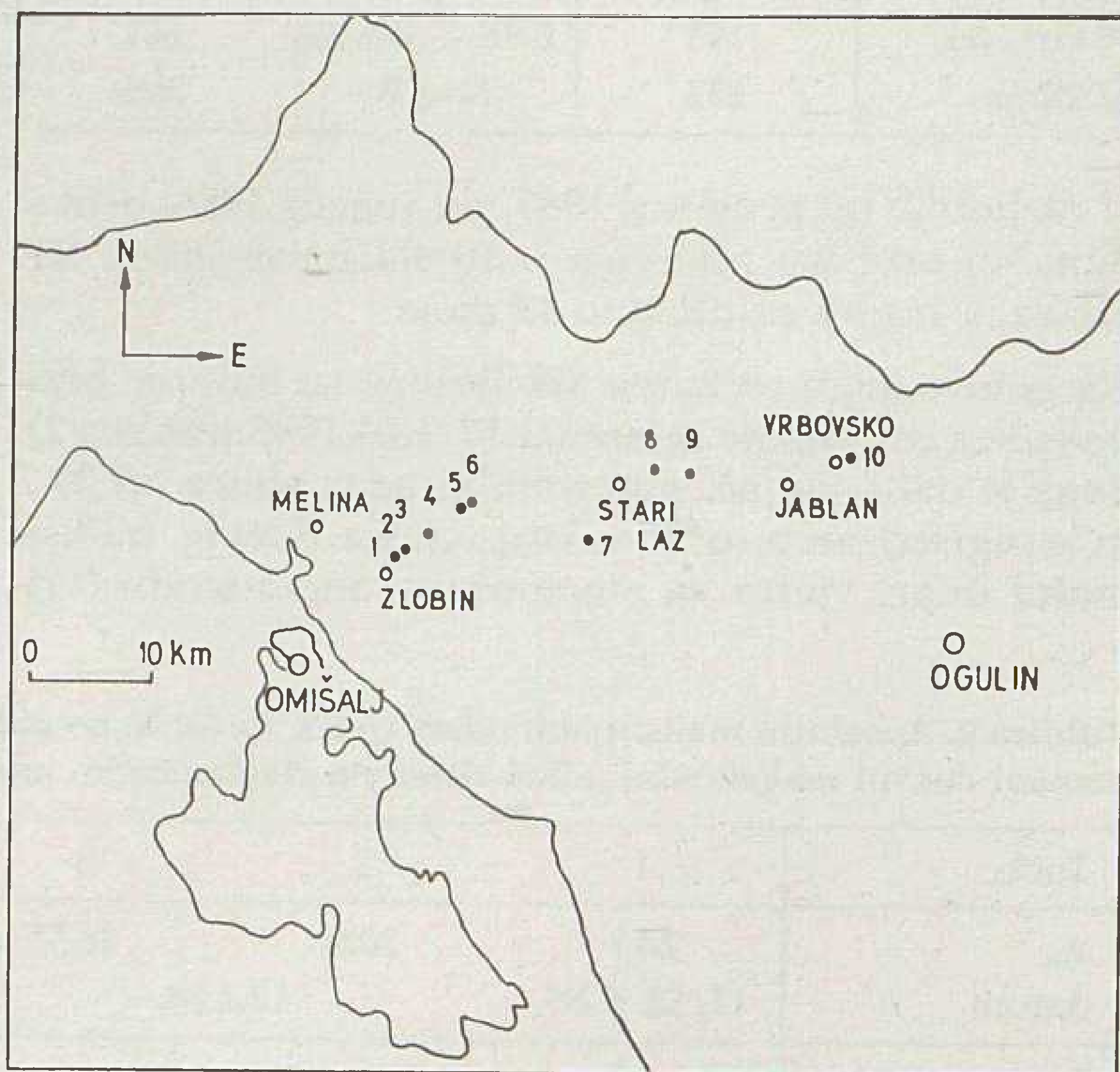
## 1. UVOD

Djelovanjem vjetra na građevinske objekte i konstrukcije bavi se posebna grana meteorologije — tehnička meteorologija. Osobita se pažnja pridaje mjerenjima brzine i smjera vjetra na lokalitetima na kojima se planira gradnja, u ponajprije visokih i velikih građevinskih objekata i konstrukcija. Također je poznato djelovanje vjetra na dalekovode. Trasa dalekovoda često prolazi kroz različite predjele karakterističnih mikroklimatskih uvjeta. U planinskim je krajevima zbog kompleksnosti terena i specifičnoga vjetrovnog režima nužno potrebno organizirati specijalna mjerenja brzine i smjera vjetra na lokacijama gdje se očekuju maksimalni pritisci vjetra. Tako su za potrebe projektiranja dalekovoda TS Melina — TS Vrbovsko u Gorskom kotaru obavljena profilna mjerenja vjetra u uvjetima jakog NE strujanja duž trase Zlobin-Vrbovsko. Za iste su potrebe u razdoblju 1983-1986. montirani anemografi u Jablanu i Starom Lazu, a od 1985. do 1986. u Zlobinu (sl. 1). Mjerenje brzine i smjera vjetra na dva nivoa, na 10 i 30 m, obavlja se od 1985. godine na TS Melina. Iz tako kratkih nizova mjerenja nije moguće provesti proračun maksimalnih udara vjetra, koji se mogu očekivati u određenim vremenskim periodima na promatranim lokacijama. Stoga je potrebno nizove godišnjih maksimalnih udara svesti na dulje razdoblje.

Budući da ne postoji jedinstvena metoda za svođenje kratkih nizova podataka na dulje razdoblje, cilj ovog rada je prikaz metode koju je obradio Sach (1978). Ta će se metoda prvi put primijeniti i na naše podatke ekstremnih brzina vjetra. Prije opisa metode i rezultata ukratko ćemo prikazati osnovne karakteristike vjetrovnog režima duž buduće trase dalekovoda te i uklapanje tih kratkih nizova mjerenja vjetra u višegodišnje.

## 2. VJetrovni režim u Gorskom kotaru

Lokacija najbliža budućoj trasi dalekovoda, a za koju raspolažemo kvalitetnim podacima mjerenja i motrenja meteoroloških elemenata i pojava jest Ogulin. Glavna meteorološka stanica Ogulin smještena je u kotlini, na nadmorskoj visini 328 m. Mjerenje i registracija vjetra obavlja se od 1971. godine. Na osnovi podataka samo jedne stanice nije bilo moguće dobiti razdiobu brzine i smjera vjetra na području Gorskog kotara i upravo su zato duž buduće trase dalekovoda postavljeni anemografi.



Slika 1. Položaj glavnih meteoroloških stanica (○), stacionarnih anemografa (○) i točaka profilnih mjerenja (·) duž trase budućeg dalekovoda

Analiza maksimalnih brzina vjetra prikazana je na histogramima dnevnih maksimalnih udara vjetra za Jablan, Stari Laz i Zlobin. Iz slike 2. uočava se da su najčešći dnevni maksimalni udari vjetra unutar klase 8.0 – 9.4 m/s (17.6% slučajeva), 9.4 – 11.1 m/s u Starom Lazu (15.6% slučajeva) i 14.1 – 15.7 m/s u Zlobinu (10.0% slučajeva). Međutim, u Zlobinu se gotovo jednako često mogu očekivati maksimalne brzine vjetra u devet klasa brzina (od 7.8 m/s do 22.0 m/s). Na toj je stanici izračunata i najveća srednja maksimalna brzina ( $\bar{v}_m = 16.8$  m/s uz  $s = 6.7$  m/s), a određena je iz svih raspoloživih podataka dnevnih maksimalnih udara vjetra. Za Stari Laz i Jablan te su brzine manje ( $\bar{v}_m = 12.3$  m/s uz  $s = 6.3$  m/s i  $\bar{v}_m = 10.7$  m/s uz  $s = 5.7$  m/s redom). Pokazalo se da srednja maksimalna brzina vjetra ne pripada i klasi najčešćih brzina. Za vrijeme specijalnih mjerenja registriran je apsolutni maksimalni udar vjetra od 41.5 m/s na stanici Stari Laz (19.12.1985), a u Zlobinu je iznosio 41.0 m/s (17.4.1985). Na stanici Jablan u trogodišnjem razdoblju (1983-1986) dva puta je zabilježen apsolutni maksimalni udar vjetra od 34.5 m/s – 7. 2. 1984. i 18. 1. 1986.

Važno je napomenuti da se smjer vjetra pri većim brzinama na zapadnom dijelu buduće trase dalekovoda razlikuje od smjera vjetra na istočnom području. U Zlobinu najjači vjetar puše iz NE kvadranta, a u Starom Lazu i Jablanu jaki je vjetar povezan sa strujanjem iz S kvadranta (tablica 1).

**Tablica 1. Čestine dnevnih maksimalnih udara vjetra ( $v_{max} \geq 15$  m/s) za Jablan (VIII. 1983-VII. 1986), Stari Laz (X. 1983-VI. 1986) i Zlobin (I. 1985-VI. 1985)**

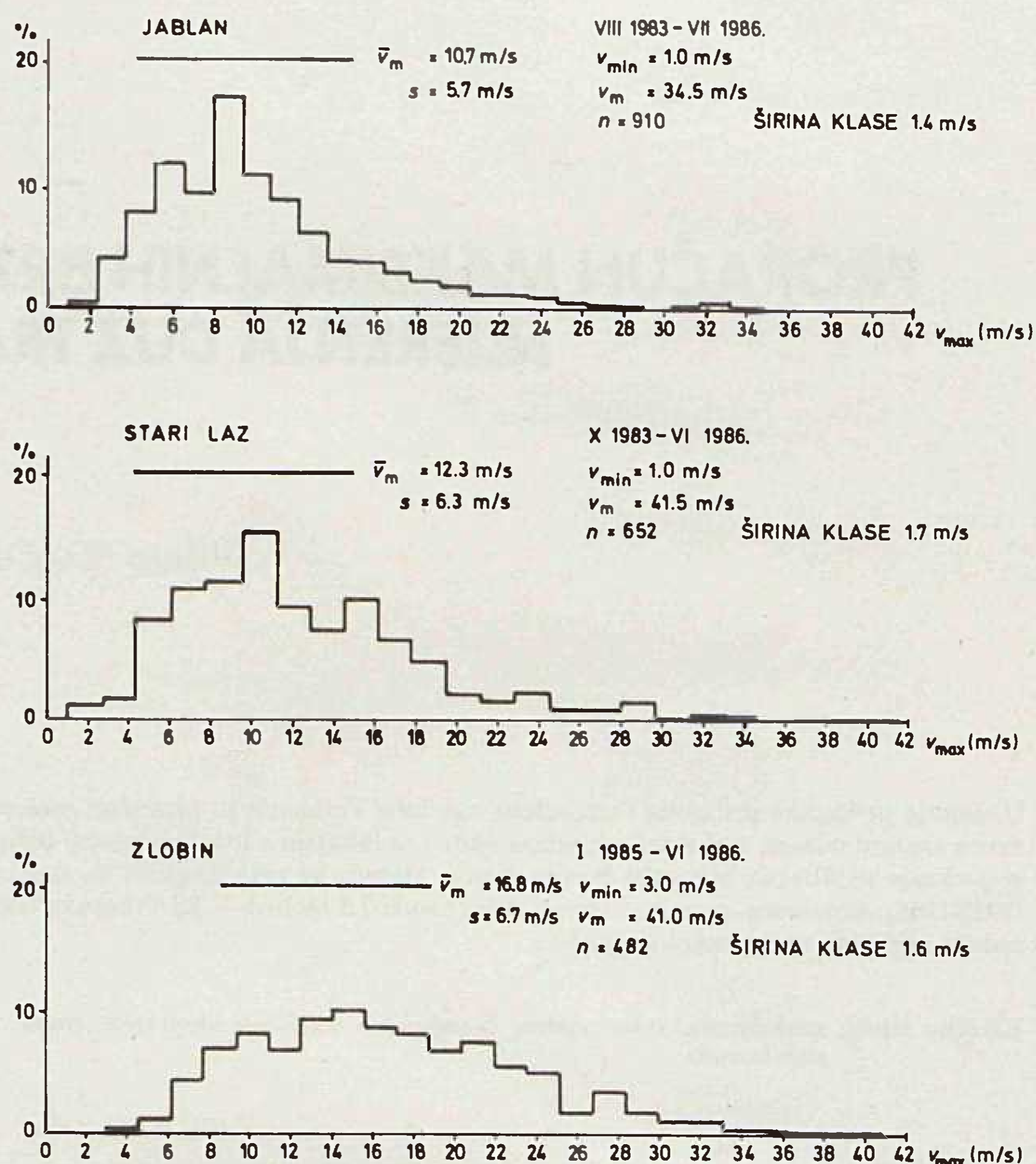
Stanica	Ukupni broj dana sa $v_{max} \geq 15$ m/s	Prevladavajući smjer	Broj slučajeva s prevladavajućim smjerom
Jablan	165	S – W	143
Stari Laz	191	ESE – WSW	141
Zlobin	253	N – E	205

U razdoblju od prosinca 1983. do veljače 1986. provedena su profilna mjerenja u 10 slučajeva jakog NE vjetra, a trajali su ukupno 39 dana.

Na gotovo svim točkama zabilježene su najveće brzine vjetra za vrijeme mjerenja 17/18.4.1985 (tablica 2). Toga je dana najjači maksimalni udar vjetra od 29.7 m/s registriran u točki 4, kraj mjesta Fužine. Maksimalni udari vjetra za stacionarne anemografe (vri-

**Tablica 2. Apsolutni maksimalni udari vjetra  $v_m$  (m/s) po pojedinim točkama mjerenja duž profila Zlobin-Vrbovsko te istovremeni dnevni maksimalni udari vjetra na stacionarnim anemografima Zlobin, Stari Laz i Jablan**

Točke	1	2	3	4	5	6	7
$v_m$	24.7	20.0	26.5	29.7	21.8	23.3	17.1
datum	17/18. 4. 85.	12.2.84.			17/18.4.85.		18.4.85.
Točke	8	9	10	Zlobin	Stari Laz	Jablan	
$v_m$	16.2	21.8	10.8	41.0	29.0	20.0	
datum	17/18.4.85.		18.4.85.	17.4.85.	10.2.84.	10.2.84.	

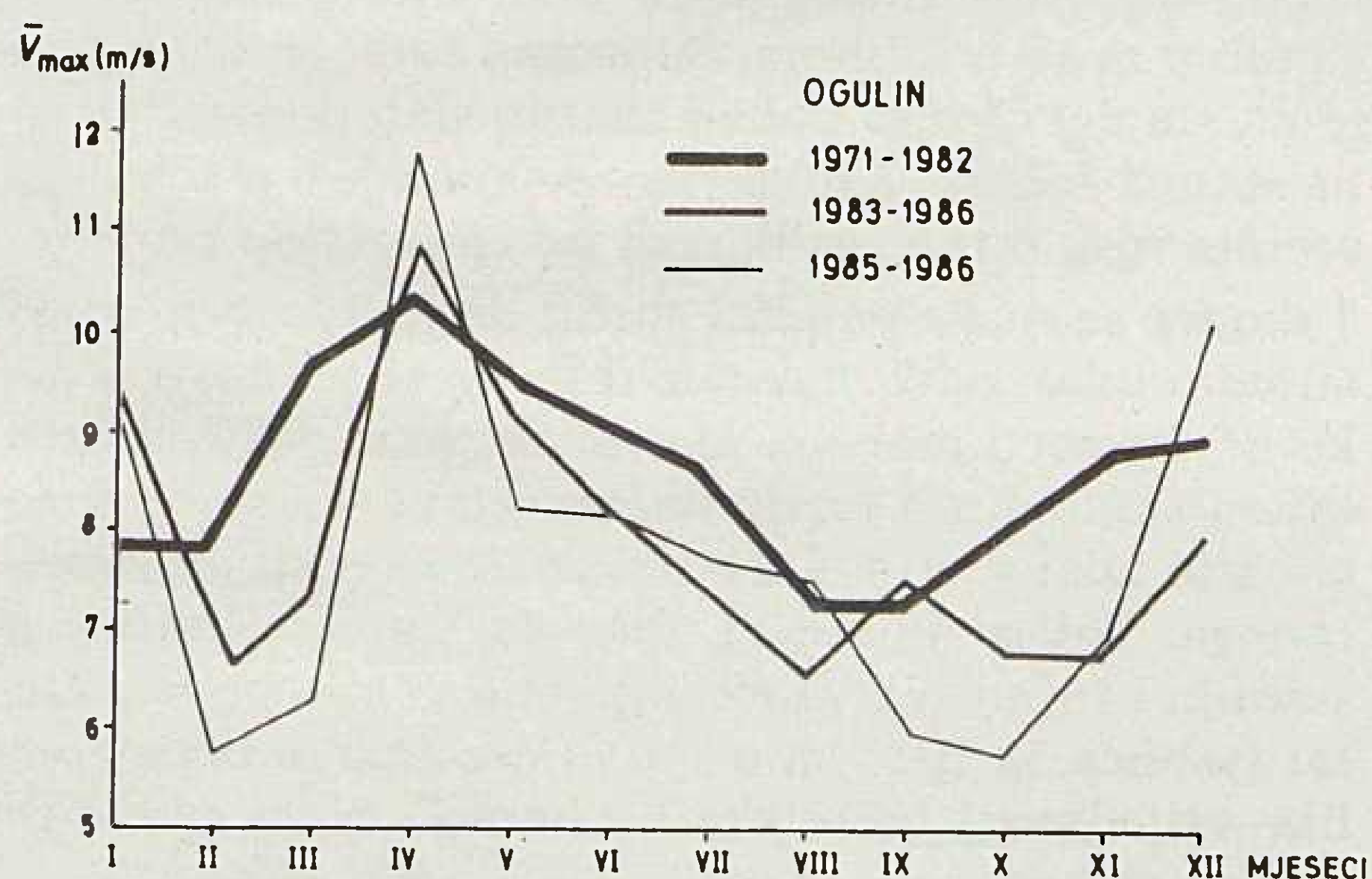


**Slika 2. Histogram dnevnih maksimalnih udara vjetra za Jablan (VIII. 1983-VII. 1986), Stari Laz (X. 1983-VI. 1983) i Zlobin (I. 1985-VI. 1986)**

jednosti u 2. tablici) odnose se na period profilnih mjerenja (39 dana). Stoga se ti maksimalni udari u svim stanicama ne podudaraju s apsolutnim maksimalnim udarima iz cijelog perioda specijalnih mjerenja, koji su već navedeni u tekstu. Podaci profilnih mjerenja i stacionarnih anemografa nisu direktno usporedivi jer se mjerenja obavljaju na različitim visinama. Referentna visina stacionarnog anemografa je 10 m, a mobilnoga je oko 3 m. Međutim, profilna mjerenja mogu kvalitativno pokazati gdje treba očekivati najveće brzine vjetra duž trase dalekovoda. Tako su profilna mjerenja pokazala da se brzine vjetra u pojedinim točkama bitno razlikuju te da je najugroženije područje na trasi između Zlobina i Fužina. Brzine vjetra se prema istoku smanjuju; npr. u točki 10 kraj Vrbovskog samo je dva puta izmjeren maksimalni udar vjetra neznatno veći od 10 m/s. Prema tome, profilna su mjerenja pokazala da na području Zlobina prevladava najjače strujanje, i to iz NE smjera.

Budući da su specijalna mjerenja u Gorskom kotaru obavljena u relativno kratkom periodu, dobiveni rezultati ne mogu dati pravu sliku strujanja na tom području. Opće karakteristike vjetrovnog režima uočavaju se u toku višegodišnjih mjerenja. Jesu li u periodima 1983-1986. i 1985-1986. godine prilike bile ekstremne ili »normalne«, ocijenit ćemo na temelju mjerenja u duljem vremenskom razdoblju.

Za tu svrhu napravljen je godišnji hod srednjih maksimalnih brzina vjetra u Ogulinu za spomenuta razdoblja i uspoređen s istim hodom za razdoblje 1971-1982. Godišnji hod srednjih maksimalnih brzina za višegodišnje razdoblje predstavljao je normalu. Slika 3. pokazuje da su srednje mjesečne maksimalne brzine vjetra za razdoblje 1983-1986. uglavnom bile niže od normale, osim u siječnju i travnju. Upravo su se u tim mjesecima pojavljivali i godišnji maksimumi (9.5 m/s za siječanj, a normala je 7.9 m/s te 11.0 m/s za travanj, a normala iznosi 10.3 m/s). U rujnu su srednje maksimalne brzine vjetra bile u granicama normalnih, a najveće negativno odstupanje  $\Delta \bar{v}_{\max} = -2.7$  m/s bilo je u ožujku (tablica 3).



Slika 3. Godišnji hod srednjih mjesečnih maksimalnih brzina za razdoblja 1983-1986. i 1985-1986. uspoređen s normalom iz razdoblja 1971-1982. za stanicu Ogulin

Za kraće razdoblje, od 1985. do 1986. godišnji hod srednjih mjesečnih maksimalnih brzina vjetra sličan je onome iz trogodišnjeg razdoblja, osim što uz pozitivno odstupanje od normale u siječnju i travnju postoji i u prosincu ( $\Delta \bar{v}_{\max} = 1.2$  m/s). Najveće negativno odstupanje zabilježeno je u ožujku ( $\Delta \bar{v}_{\max} = -3.6$  m/s) isto kao i u trogodišnjem periodu mjerenja. Prema tome, analiza vjetra u Gorskom kotaru za vri-

jeme specijalnih mjerenja pokazuje da su srednje mjesečne maksimalne brzine za mjerne periode uglavnom bile niže od normalnih, osim u siječnju i travnju, odnosno i u prosincu za razdoblje 1985–1986.

### 3. OPIS METODE

Vjetrovni režim nekog područja moguće je analizirati na temelju dugogodišnjih mjerenja. Često je, međutim, za neku lokaciju potrebno iz veoma kratkog niza mjerenja procijeniti maksimalni udar vjetra koji se očekuje u različitim povratnim periodima. U tom slučaju takav niz podataka treba svesti na dulje razdoblje. Jednu od metoda koje se primjenjuju na ekstremne vrijednosti brzine vjetra prikazao je Sachs (1978). Mjesečni maksimalni udari vjetra dobiveni mjerenjima u barem godinu dana uspoređuju se s podacima obližnje meteorološke stanice koja ima podatke o dugogodišnjim mjerenjima i slične karakteristike strujanja. Iz toga se određuju omjeri izmjerenih vrijednosti mjesečnih maksimalnih udara vjetra na te dvije lokacije. Tako dobiveni empirički omjeri iz kratkog niza podataka ne pokazuju prosječni odnos brzina vjetra na dvije stanice, jer maksimalni udari u istome mjesecu na istoj lokaciji mogu znatno varirati iz godine u godinu. Zato se za kratki niz mjerenja bolji rezultati dobiju određivanjem pripadnih teoretskih maksimalnih udara vjetra.

Teoretske vrijednosti mjesečnih maksimalnih udara dobiju se pridjeljivanjem Gumbelove razdiobe ekstremna dnevnim maksimalnim udarima vjetra.

Gumbelova razdioba definirana je funkcijom vjerojatnosti  $P(x)$ :

$$P(x) = \exp(-\exp(-(x-\alpha/\beta))). \quad (3.1)$$

Opće rješenje ima oblik

$$x = \alpha + \beta y, \quad (3.2)$$

pri čemu je  $y$  reducirana varijata,

$$y = -\ln(-\ln P(x)) = -\ln\left(-\ln \frac{m}{N+1}\right). \quad (3.3)$$

$N$  je ukupni broj podataka, a  $m$  je redni broj po veličini poredanih podataka.  $\alpha$  i  $\beta$  su parametri Gumbelove razdiobe,  $\alpha$  je parametar lokacije (vrijednost  $x$  u točki  $y = 0$ ), a  $\beta$  se određuje iz uzorka pomoću srednjaka uzorka, standardne devijacije članova uzorka i

Tablica 3. Odstupanja srednjih maksimalnih brzina vjetra  $\Delta \bar{v}_{\max}$  (m/s) u razdobljima 1983-1986. i 1985-1986. od normale  $\bar{v}_{\max}$  (m/s) 1971-1982. za Ogulin

Mjesec	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
$\bar{v}_{\max}$ 1971–1982.	7.9	7.8	9.9	10.3	9.5	9.0	8.4	7.2	7.4	7.9	8.7	8.9
$\Delta \bar{v}_{\max}$ 1983-1986.	1.6	-1.1	-2.7	0.7	-0.2	-0.8	-0.8	-0.6	0.1	-1.1	-2.2	-1.0
$\Delta \bar{v}_{\max}$ 1985-1986.	1.4	-2.0	-3.6	1.5	-1.2	-0.8	-0.7	0.1	-1.5	-2.2	-1.8	1.2



standardne devijacije članova u svim mogućim parovima načinjenim iz uzorka.

Ulazni podaci Gumbelove razdiobe u našem su slučaju dnevni maksimalni udari vjetra dobiveni iz kratkog niza mjerenja. Za svaki mjesec i svaku lokaciju posebno se izračunavaju parametri  $\alpha$  i  $\beta$ . Daljnji postupak je određivanje teoretskih mjesečnih maksimalnih udara vjetra upotrebom relacije (3.2) uz istu vjerojatnost koju imaju izmjereni mjesečni maksimalni udari vjetra.

Iz toga slijedi da se vrijednost  $y$  bitno ne razlikuje od mjeseca do mjeseca, a s obzirom na to da one direktno ovise o ukupnom broju podataka, ta se metoda može isključivo primijeniti kad je niz mjerenja potpun ili nedostaje vrlo malo podataka u mjesecu.

Koristeći se teoretskim vrijednostima mjesečnih maksimalnih udara vjetra između dvije lokacije dobivaju se teoretski omjeri koji će poslužiti za procjenu višegodišnjih maksimalnih udara vjetra na stanici koja ima kratki niz mjerenja.

#### 4. PRIMJENA METODE

Metoda je primijenjena na maksimalne udare vjetra u Jablanu i Zlobinu. Zbog relativno čestih strujnih udara unutar mreže i atmosferskih pražnjenja anemografska stanica u Starom Lazu često nije radila, pa postoje prekidi u zapisima brzine i smjera vjetra. Kako je navedeno u prethodnom tekstu, metoda zahtijeva što potpuniji niz podataka, pa se ne može primijeniti za tu lokaciju.

Stanica Jablan nalazila se na nadmorskoj visini 900 m, a najbliža glavna meteorološka stanica koja ima sličan vjetrovni režim jest Ogulin, 20-tak km jugoistočno. Podaci vjetra u Zlobinu ( $h = 890$  m) uspoređivani su s obližnjom glavnom meteorološkom stanicom Omišalj ( $h = 85$  m), koja je smještena 10-tak km jugozapadno, na otoku Krku. Za analizu maksimalnih udara vjetra iskorišteni su kvalitetni podaci sa stanica koje imaju podatke o dugogodišnjim mje-

renjima. U stanici Omišalj anemograf je postavljen 1963. godine, ali niz podataka je potpun tek od 1975. godine. Stoga je niz godišnjih maksimalnih udara vjetra u Zlobinu produljen na razdoblje 1975–1986, a u Jablanu na malo dulji period, od 1971. do 1986, jer od tada postoje mjerenja brzine vjetra u Ogulinu.

Gumbelova razdioba ekstrema opisana u 3. poglavlju primijenjena je na dnevne maksimalne udare vjetra svih četiri lokacije. Mjerenja u Jablanu trajala su od kolovoza 1983. do srpnja 1986, pa je promatrano isto razdoblje i za Ogulin. U Zlobinu je mjerni period znatno kraći (veljača 1985–lipanj 1986). Međutim, metoda zahtijeva približan broj podataka u svakome mjesecu, pa su iskorištena samo mjerenja do siječnja 1986. Spomenuto razdoblje od godine dana promatrano je i u Omišlju.

Rezultati primjene metode za Jablan i Ogulin prikazani su u tablici 4. Pokazano je da su vrijednosti empiričkih omjera znatno varirale od mjeseca do mjeseca. To je izbjegnuto pri teoretskim omjerima koji su se kretali između 1.08 do 1.24, osim za svibanj i listopad. Potrebno je istaknuti da je jedino u svibnju teoretski mjesečni maksimalni udar vjetra bio veći u Ogulinu nego u Jablanu. Suprotno tome, u listopadu je na stanici Ogulin puhao znatno slabiji vjetar nego na stanici Jablan. Zato se teoretski omjeri u tim mjesecima nisu bitno razlikovali od empiričkih omjera.

Također se može pojaviti slučaj da je mjesečni maksimalni udar velik, a ostale dnevne vrijednosti u nekome mjesecu malene. Ako se na takve podatke primjeni Gumbelova razdioba, teoretski mjesečni maksimalni udar vjetra može biti znatno manji od izmjenenoga. Takav se slučaj zbio na stanici Omišalj u svibnju i rujnu, a u Zlobinu je puhao mnogo jači vjetar (tablica 5). Zato su u tim mjesecima dobivene velike vrijednosti teoretskih omjera (1.62 za svibanj i 1.55 za rujan).

Također je važno napomenuti da je pri manjim brzinama vjetra razlika od 5 m/s između dvije lokacije značajnija nego za jake vjetrove. To se direktno odražava u iznosu teoretskog omjera. Naprimjer, ako

Tablica 4. Empirički mjesečni maksimalni udari vjetra  $v_{\max}$  (m/s) i teoretski mjesečni maksimalni udari vjetra  $v_{t \max}$  (m/s) te njihovi empirički i teoretski omjeri ( $\alpha$  i  $\beta$  su parametri Gumbelove razdiobe)

Mjesec	Jablan				Ogulin				Empirički omjer	Teoretski omjer
	$\alpha$	$\beta$	$v_{\max}$	$v_{t \max}$	$\alpha$	$\beta$	$v_{\max}$	$v_{t \max}$		
siječanj	8.23	6.73	34.5	38.3	5.35	6.67	36.9	35.6	0.93	1.08
veljača	6.50	4.61	34.5	26.0	4.11	3.72	30.6	21.0	1.13	1.24
ožujak	6.05	4.03	26.0	24.1	4.81	3.47	27.7	20.6	0.94	1.17
travanj	7.97	4.88	28.5	29.1	8.45	3.53	24.2	24.4	1.18	1.19
svibanj	8.12	2.81	21.5	20.6	7.19	3.27	24.1	22.0	0.89	0.94
lipanj	8.99	3.28	22.0	23.4	6.92	3.09	19.0	20.8	1.16	1.13
srpanj	8.70	2.70	20.0	18.8	5.60	2.44	15.0	16.7	1.33	1.13
kolovoz	6.35	2.59	22.0	17.4	5.24	2.33	16.8	15.8	1.31	1.10
rujan	8.49	3.51	25.0	23.7	6.06	3.17	20.5	20.4	1.21	1.16
listopad	8.92	3.97	27.5	26.4	5.08	3.03	19.4	18.8	1.42	1.40
studeni	5.05	5.23	32.5	27.8	4.23	4.24	29.6	23.4	1.10	1.19
prosinac	6.16	5.30	32.5	29.9	5.50	4.27	24.1	24.8	1.35	1.21

**Tablica 5. Empirički mjesečni maksimalni udari vjetra  $v_{\max}$  (m/s) i teoretski mjesečni maksimalni udari vjetra  $v_t \max$  (m/s) za Zlobin i Omišalj u razdoblju II. 1985 – I. 1986. te njihovi empirički i teoretski omjeri ( $\alpha$  i  $\beta$  su parametri Gumbelove razdiobe)**

Mjesec	Zlobin				Omišalj				Empirički Omjer	Teoretski Omjer
	$\alpha$	$\beta$	$v_{\max}$	$v_t \max$	$\alpha$	$\beta$	$v_{\max}$	$v_t \max$		
siječanj	15.85	4.80	28.0	31.6	9.87	5.47	34.0	28.6	0.82	1.10
veljača	15.41	5.54	36.0	34.0	7.82	6.84	34.2	30.7	1.05	1.11
ožujak	13.37	5.14	29.0	31.1	7.50	5.63	26.3	26.9	1.10	1.18
travanj	14.70	6.40	41.0	35.4	8.57	7.06	34.3	32.7	1.20	1.08
svibanj	12.35	4.35	30.0	26.3	5.65	3.07	25.2	16.2	1.19	1.62
lipanj	11.13	2.87	23.0	20.1	6.40	4.43	27.0	21.6	0.85	0.93
srpanj	11.90	2.10	17.0	17.9	5.12	2.02	15.3	12.1	1.11	1.48
kolovoz	12.64	4.81	33.0	29.2	6.09	4.58	27.0	21.9	1.22	1.33
rujan	11.72	4.72	30.0	27.9	4.23	4.03	25.0	18.0	1.20	1.55
listopad	13.02	4.62	24.5	28.8	6.22	4.63	25.5	22.1	0.96	1.30
studen	17.03	5.82	36.5	36.9	8.48	5.27	33.0	26.5	1.11	1.39
prosinac	12.92	6.12	33.0	33.4	4.98	6.48	33.1	27.3	1.00	1.22

brzina na jednoj lokaciji iznosi 15 m/s, a na drugoj 10 m/s, teoretski je omjer 1.5. Međutim, ako je brzina na jednoj lokaciji 40 m/s, a na drugoj 35 m/s teoretski omjer od 1.14 znatno je manji nego pri malim brzinama vjetra.

Takav je problem postojao na promatranim stanicama. Vjetrovni režim iz dugogodišnjih mjerenja pokazuje da su maksimalni udari vjetra u ljetnim mjesecima znatno manji nego u zimskim. Tako je u srpnju 1985. zabilježen udar vjetra od 17.0 m/s u Zlobinu i 15.3 m/s u Omišlju, a teoretski mjesečni maksimalni udari iznosili su 17.9 m/s i 12.1 m/s, što je dalo veći teoretski omjer (1.48) nego u zimskim mjesecima.

Za proračun višegodišnjih maksimalnih udara vjetra u Jablanu i Zlobinu vrijednosti godišnjih maksimalnih udara vjetra u Ogulinu i Omišlju množe se odgovarajućim teoretskim omjerom. Kao što ćemo kasnije vidjeti, godišnji se maksimalni udari vjetra na tim glavnim meteorološkim stanicama javljaju u hladnom dijelu godine. Na taj način nisu uzeti u obzir teoretski omjeri u toplom dijelu godine, kad su postojala znatna kolebanja od mjeseca do mjeseca.

Zanimalo nas je koliko se razlikuju izmjerene  $v_{\max}$  i teoretski mjesečni maksimalni udari  $v_t$  u Jablanu i Zlobinu proračunati na osnovi mjesečnih maksimalnih udara u Ogulinu i Omišlju. Pokazalo se da su teoretske vrijednosti  $v_t$  u Jablanu uglavnom malo manje od empiričkih  $v_{\max}$  (tablica 6) zato što je u trogodišnjem razdoblju puhao slabiji vjetar u odnosu prema višegodišnjem razdoblju (poglavlje 2). Najveća razlika dobivena je u ožujku 1985 ( $\Delta v = -9.6$  m/s), kad je u Ogulinu izmjeren mjesečni maksimalni udar od samo 14.0 m/s, što je bila najniža vrijednost u tom mjesecu od 1971. godine. Nasuprot tome, u Jablanu je izmjeren udar od 26.0 m/s, a teoretski je maksimalni udar  $v_t$  iznosio samo 16.4 m/s.

U Zlobinu je posve drukčija situacija jer su teoretski mjesečni maksimalni udari vjetra  $v_t$  veći od izmjerenih  $v_{\max}$  (tablica 7). Analizirajući podatke mjesečnih maksimalnih udara vjetra  $v_{\max}$  u Omišlju, na osnovi kojih su proračunate teoretske vrijednosti u Zlobinu, pokazalo se da su u razdoblju II. 1985 – I. 1986. vrijednosti  $v_{\max}$  bile više od normalnih iz 1975–1986. Zato su i teoretske vrijednosti  $v_t$  u Zlobinu bile veće

**Tablica 6. Usporedba apsolutnih empiričkih mjesečnih maksimalnih udara vjetra  $v_{\max}$  (m/2) i teoretskih mjesečnih maksimalnih udara vjetra  $v_t$  (m/2) za stanicu Jablan dobivenih na osnovi podataka Ogulina u razdoblju VIII. 1983 – VII. 1986.**

Mjesec	I. 1986.	II. 1984.	III. 1985.	IV. 1985.	V. 1985.	VI. 1985.	VII. 1984.	VIII. 1984.	IX. 1984.	X. 1984.	XI. 1984.	XII. 1983.
$v_{\max}$	34.5	34.5	26.0	28.5	21.5	22.0	20.0	22.0	25.0	27.5	32.5	32.5
$v_t$	39.9	37.9	16.4	28.8	19.6	21.5	16.3	15.1	23.8	27.2	27.4	27.2

**Tablica 7. Usporedba apsolutnih empiričkih mjesečnih maksimalnih udara vjetra  $v_{\max}$  (m/s) i teoretskih mjesečnih maksimalnih udara vjetra  $v_t$  (m/s) za stanicu Zlobin dobivenih na osnovi podataka Omišlja u razdoblju II. 1985 – I. 1986.**

Mjesec	I. 1986.	II. 1985.	III. 1985.	IV. 1985.	V. 1985.	VI. 1985.	VII. 1985.	VIII. 1985.	IX. 1985.	X. 1985.	XI. 1985.	XII. 1985.
$v_{\max}$	28.0	36.0	29.0	41.0	30.0	23.0	17.0	33.0	30.0	24.5	36.5	33.0
$v_t$	37.4	38.0	31.0	37.0	40.9	25.1	22.6	35.9	38.8	33.2	45.9	40.4

od izmjerenih. Najveća razlika ( $\Delta v = 10.9$  m/s,  $v_{\max} = 30.0$  m/s i  $v_t = 40.9$  m/s) pojavila se za svibanj 1986. kad je određen i najveći teoretski omjer od 1.62.

Sachs (1978) je također uspoređivao izmjerene i teoretske vrijednosti određene iz mjerenja u toku jedne godine. Kao najveću razliku dobio je  $\Delta v = 9.4$  m/s ( $v_{\max} = 32.2$  m/s i  $v_t = 41.7$  m/s) i smatra da su teoretski mjesečni maksimalni udari vjetra bliski izmjeranima.

## 5. PRORAČUN OČEKIVANIH MAKSIMALNIH UDARA VJETRA

Kao što je u prethodnom poglavlju napomenuto, višegodišnji maksimalni udari vjetra  $V_T$  u Jablanu (1971–1986) i Zlobinu (1975–1986) dobiveni su množenjem godišnjega maksimalnog udara vjetra  $V_M$  od Ogulina odnosno Omišlja s teoretskim omjerom u mjesecu u kojemu je izmjeren  $V_M$ . Rezultati su prikazani u tablici 8. Ustanovljeno je da su maksimalne brzine vjetra na specijalnim stanicama veće od onih s glavnih meteoroloških stanica. Teoretske vrijednosti  $V_T$  najveće su u Zlobinu, kao i srednja godišnja maksimalna brzina vjetra  $\bar{V} = 42.9$  m/s, uz veći rasap oko srednjaka ( $s = 5.6$  m/s), a u Jablanu je  $\bar{V} = 36.4$  m/s uz  $s = 3.7$  m/s.

U Ogulinu se jednako često pojavljuju godišnji maksimalni udari vjetra u studenome, prosincu i siječnju (četiri slučaja). U razdoblju 1971–1986 u veljači su zabilježena tri, a u ožujku samo jedan slučaj godišnjeg maksimalnog udara vjetra.

Najčešće ekstremne vrijednosti u Omišlju (1975–1986) javljaju se u prosincu (pet slučajeva), zatim u sudenome (tri slučaja). U veljači su bila samo dva slučaja, a u siječnju i travnju zabilježen je po jedan takav slučaj.

Prema tome, time se pokazalo da se na promatranim meteorološkim stanicama godišnji maksimalni udari vjetra javljaju u hladnom dijelu godine (od studenoga do travnja).

Za potrebe projektiranja dalekovoda uobičajeno je da se proračun očekivanih maksimalnih udara vjetra za različite povratne periode  $T$  određuje prema Gum-

belovoj razdiobi ekstrema koja je već djelomično opisana u 4. poglavlju.

Ekstremne vrijednosti  $x$  projsčeno se javljaju svakih  $T$  godina, uz pripadnu vjerojatnost  $P(x)$  odnosno određenu vrijednost  $y = -\ln \ln \left( \frac{T}{T-1} \right)$ . Naprimjer, za povratni period  $T = 2$  godine vjerojatnost da ekstremna vrijednost ne bude premašena iznosi 50%. Varijanca od  $x$  odnosno standardna devijacija  $\sigma$  u Gumbelovoj razdiobi glasi:

$$\text{var}(x) = q Q_n \quad \sigma = \pm \sqrt{\text{var}(x)}, \quad (5.1)$$

gdje je  $q$  faktor proporcionalnosti, a

$$Q_n = (A y^2 + B y + C) \beta^2 \quad (5.2)$$

$A, B, C$  su koeficijenti koji ovise o broju podataka. Efikasnost  $E$  prilagođavanja teorijske krivulje empiričkim podacima prikazana je izrazom:

$$E = \frac{Q_0}{N \text{ var}(x)}, \quad (5.3)$$

pri čemu je  $N$  broj podataka, a

$$Q_0 = (0.60793 y^2 + 0.51404 y + 1.10566) \beta^2. \quad (5.4)$$

Proračunate teorijske raspodjele ekstremnih vrijednosti vjetra prikazuju se na »papirima vjerojatnosti ekstrema« pravcima. Na osi apscise označena je reducirana varijata  $y$  (linearna skala), a uz nju vjerojatnost  $P(x)$  i povratni period  $T$  (dvostruko logaritamska skala). Na osi ordinata naznačene su vrijednosti  $x$  (maksimalni udari vjetra). Ucertavajući na papir vjerojatnosti ekstrema za svaku procjenu  $x$  i vrijednost  $x + \sigma$ , dobije se gornja granica pouzdanosti. To je vrijednost koju neće premašiti 84.13 % događaja s određenim srednjim povratnim periodom.

Gumbelov model daje linearnu vezu između varijable  $x$  i reducirane varijate  $y$ , te omogućuje da slučajna varijabla, tj. brzina vjetra, poprimi beskonačno velike vrijednosti. U prirodi ne postoje energetske mogućnosti za takvu pojavu, pa tu nastaju greške koje su veće što je povratni period dulji. Međutim, za potrebe projektiranja dalekovoda traži se procjena ekstrema brzine vjetra za kraće povratne periode ( $T = 20$  godina) koje ima smisla računati ovim modelom. Osim toga, procjene vrijednosti dugih povratnih perioda daju korisniku određenu sigurnost.

Tablica 8. Proračunati teoretski godišnji maksimalni udari vjetra  $V_T$  (m/s) za Jablan pomoću godišnjih maksimalnih udara vjetra  $V_M$  (m/s) Ogulina (1971–1986) te za Zlobin pomoću  $V_M$  Jablana (1975–1986) ( $\bar{V}$  je srednja godišnja maksimalna brzina vjetra (m/s), a  $s$  je standardna devijacija (m/s))

Godina	1971.	1972.	1973.	1974.	1975.	1976.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.	1984.	1985.	1986.	$\bar{V}$	$s$
Jablan $V_T$	34.4	37.4	39.2	40.3	36.9	40.4	39.8	35.1	29.3	35.6	39.3	31.9	35.2	37.9	29.3	39.9	36.4	3.7
Ogulin $V_M$	28.6	31.4	32.4	32.5	31.5	37.4	32.1	29.0	27.1	29.4	36.4	26.4	29.6	30.6	24.6	36.9	31.0	3.7
Zlobin $V_T$					34.3	36.6	53.7	50.0	43.9	42.7	39.6	45.1	41.5	42.3	38.1	47.3	42.9	5.6
Omišalj $V_M$					30.9	33.9	38.6	36.0	36.0	35.0	36.0	37.0	34.0	34.7	34.3	34.0	35.0	1.9

Teoretske procjene maksimalnih udara vjetra dobivene Gumbelovim modelom za različite povratne periode  $T$  za Jablan i Ogulin dane su u tablici 9. i prikazane na slici 4., a odnose se na period 1971–1986. S vjerojatnošću od 95 % može se očekivati da u povratnom periodu od 20 godina u Jablanu neće biti premašena brzina vjetra od 43.3 m/s, a u Ogulinu od 37.9 m/s. Standardne devijacije za različite povratne periode između te dvije stanice vrlo su slične ( $\sigma = 2.8$  m/s za  $T = 20$  godina). To znači da je za spomenuti period  $T$  gornja granica pouzdanosti ( $V_{\max} + \sigma$ ) za Jablan 46.1 m/s, a za Ogulin 40.7 m/s. Interval pouzdanosti u kojemu se očekuje 84.13 % događaja širi je za dulje povratne periode. Time se smanjuje efikasnost prilagođavanja teoretske krivulje podacima

Tablica 9. Procjena očekivanih maksimalnih udara vjetra  $V_{\max}$  (m/s) uz vjerojatnost  $P(x)$  (%), standardnu devijaciju  $\sigma$  (m/s) i efikasnost  $E$  za Jablan i Ogulin (1971–1986) za različite povratne periode  $T$  (godina)

$T$	$P(x)$	Jablan			Ogulin		
		$V_{\max}$	$\sigma$	$E$	$V_{\max}$	$\sigma$	$E$
2	50	35.8	0.85	0.990	30.4	0.84	0.986
5	80	39.0	1.35	0.921	33.6	1.33	0.927
10	90	41.2	1.77	0.883	35.8	1.76	0.875
20	95	43.3	2.23	0.833	37.9	2.21	0.833
25	96	43.9	2.78	0.829	38.5	2.75	0.828
50	98	45.9	3.22	0.816	40.5	3.19	0.815
100	99	47.9	3.67	0.804	42.5	3.63	0.806

godišnjih maksimalnih udara vjetra za dulje periode  $T$ .

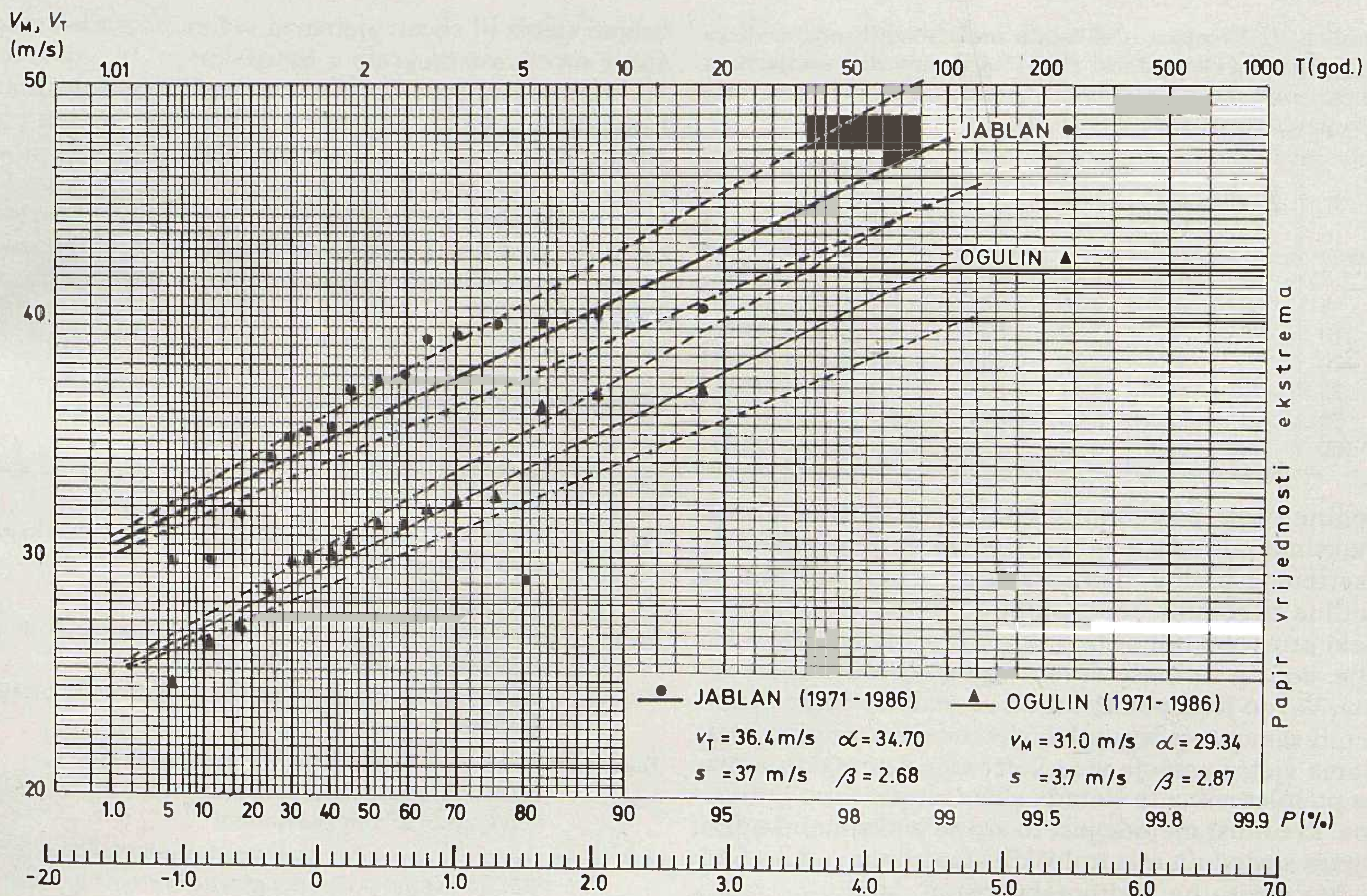
Za stanicu Zlobin dobiveno je znatno veće rasipanje očekivanih maksimalnih udara vjetra u razdoblju 1975–1986. nego za Omišalj za iste povratne periode (tablica 10. i slika 5). Tako za period  $T = 20$  godina za Zlobin procijenjena ekstremna brzina vjetra iznosi  $V_{\max} = 53.3$  m/s, uz  $\sigma = 3.8$  m/s i  $V_{\max} = 38.6$  m/s uz  $\sigma = 1.3$  m/s za Omišalj.

Manja standardna devijacija u Jablanu nego u Zlobinu pokazuje da su dobivene vrijednosti očekivanih maksimalnih udara vjetra pouzdanije. Uzrok je to što je procjena višegodišnjih maksimalnih udara vjetra  $V_T$  u Jablanu dobivena iz duljeg niza podataka (trogodišnjeg razdoblja), a za Zlobin je rađena na osnovi mjerenja iz samo jedne godine. Prema tome, treba naglasiti da je za točniju procjenu maksimalnih udara vjetra na nekoj lokaciji potrebno raspolagati nizom podataka za više od jedne godine.

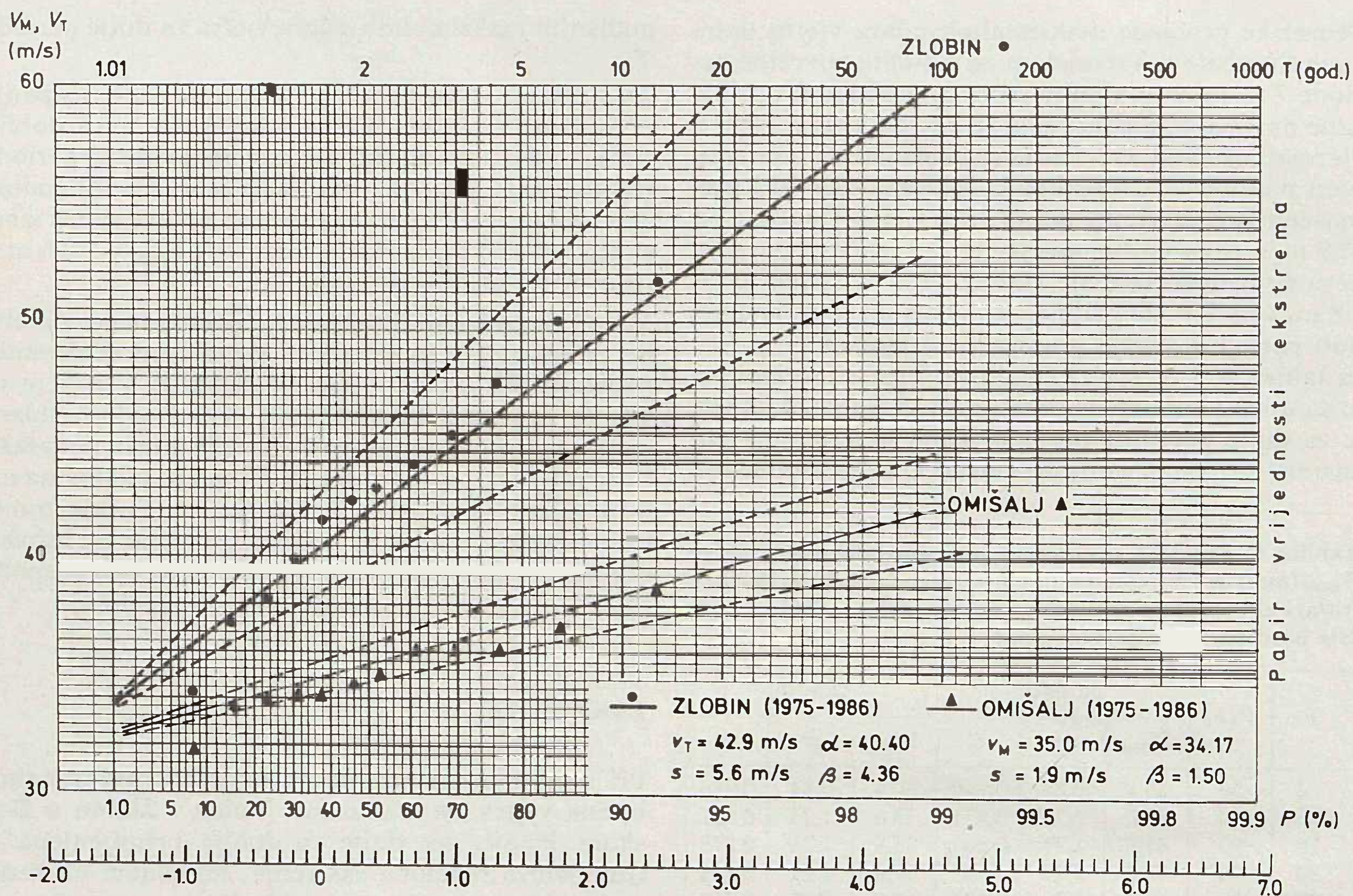
## ZAKLJUČAK

Pri svodenju kratkih nizova mjerenja maksimalnih brzina vjetra na stanicama Jablan i Zlobin u Gorskom kotaru na dulje razdoblje primijenjena je Gumbelova razdioba ekstrema. Na osnovi tih rezultata mogu se izvesti neki zaključci.

Da bi se metoda mogla primijeniti na neku lokaciju gdje postoje mjerenja brzine vjetra barem tijekom



Slika 4. Teorijska procjena maksimalni udara vjetra (m/s) prema Gumbelovu modelu za Jablan i Ogulin (1971–1986) na osnovi godišnjih ekstrema



Slika 5. Teorijska procjena maksimalnih udara vjetra (m/s) prema Gumbelovu modelu za Zlobin i Omišalj (1975–1986) na osnovi godišnjih ekstrema

Tablica 10. Procjena očekivanih maksimalnih udara vjetra  $V_{\max}$  (m/s) uz vjerojatnost  $P(x)$  (%), standardnu devijaciju  $\sigma$  (m/s) i efikasnost  $E$  za Zlobin i Omišalj (1975–1986) za različite povratne periode  $T$  (godina)

$T$	$P(x)$	Zlobin			Omišalj		
		$V_{\max}$	$\sigma$	$E$	$V_{\max}$	$\sigma$	$E$
2	50	42.0	1.48	0.98	34.7	0.51	0.998
5	80	46.9	2.36	0.922	36.4	0.81	0.926
10	90	50.2	3.06	0.892	37.5	1.06	0.891
20	95	53.3	3.83	0.863	38.6	1.32	0.860
25	96	54.3	4.82	0.843	39.0	1.66	0.841
50	98	57.4	5.58	0.841	40.0	1.92	0.831
100	99	60.4	6.34	0.824	41.1	2.18	0.825

godine dana, potrebno je imati potpun niz dnevnih maksimalnih udara vjetra. Budući da je poznato da ekstremne brzine vjetra na istoj stanici variraju iz godine u godinu, teoretskim se omjerom određuje neki prosječni odnos brzina vjetra između dvije lokacije, koji bi se inače dobio dugogodišnjim mjerenjima. Važno je napomenuti da se metoda može primijeniti samo u slučaju jakih vjetrova. Pri manjim brzinama vjetra postoje veća kolebanja teoretskih omjera po mjesecima te su tada slični empiričkim omjerima. Prednost metode jest to što se maksimalni udari vjetra susjednih meteoroloških stanica mogu korelirati bez obzira na nadmorsku visinu. Međutim, može se dogoditi da u blizini ne postoji meteorološka stanica koja provodi kvalitetna i dugogodišnja mjerenja

brzine vjetra ili sličan vjetrovni režim, pogotovo zato što je mreža anemografa u Hrvatskoj još uvijek rijetka. Pridjeljivanjem Gumbelove razdiobe maksimalnim udarima vjetra za stanice u Gorskom kotaru pokazalo se da jedna godina mjerenja nije dovoljno dug period da bi se dobili prihvatljivi rezultati. Da bi ta metoda dala bolje rezultate, potrebno je barem nekoliko godina provoditi mjerenja, a to je pokazao proračun očekivanih maksimalnih udara vjetra u Jablanu.

#### OBJAŠNJENJE SIMBOLA

- $v_m$  — apsolutni maksimalni udar vjetra za period specijalnih mjerenja
- $\bar{v}_m$  — srednja maksimalna brzina vjetra za period specijalnih mjerenja
- $s$  — standardna devijacija od  $\bar{v}_m$
- $\bar{v}_{\max}$  — srednja mjesečna maksimalna brzina vjetra iz višegodišnjeg razdoblja (normala)
- $\Delta \bar{v}_{\max}$  — odstupanje srednje mjesečne maksimalne brzine vjetra od normale
- $v_{\max}$  — empirički mjesečni maksimalni udar vjetra
- $v_{t \max}$  — teoretski mjesečni maksimalni udar vjetra dobio Gumbelovom razdiobom
- $v_t$  — teoretski mjesečni maksimalni udar vjetra dobio na osnovi podataka glavne meteorološke stanice za period specijalnih mjerenja
- $\Delta v$  — odstupanje  $v_t$  od  $v_{\max}$

- $V_M$  — empirički godišnji maksimalni udar vjetra glavne meteorološke stanice
- $V_T$  — teoretski godišnji maksimalni udar vjetra dobiven na osnovi podataka glavne meteorološke stanice
- $\bar{V}$  — srednja godišnja maksimalna brzina vjetra
- $V_{max}$  — očekivani maksimalni udar vjetra za različite povratne periode  $T$
- $P(x)$  — funkcija vjerojatnosti Gumbelove razdiobe
- $\alpha, \beta$  — parametri Gumbelove razdiobe
- $y$  — reducirana varijata Gumbelove razdiobe
- $T$  — povratni period Gumbelove razdiobe
- $var(x)$  — varijanca Gumbelove razdiobe
- $\sigma$  — standardna devijacija Gumbelove razdiobe
- $E$  — efikasnost prilagođavanja Gumbelove razdiobe empiričkim podacima

#### CALCULATION OF MAXIMAL WIND VELOCITIES ON THE BASE OF SHORT TIME MEASUREMENTS ON THE SITE OF OVERHEAD LINE

In the article is presented an example of Gumbel distribution of extrem values for calculation of maximal wind velocities for longer period of time on the base of short period measurements. For that reason are analysed relations of maximal wind blows for the site with short time measurements and neighbour meteorological station with similar wind characteristics and long time measurements of wind speed. The method is applied for extrem wind velocities that are recorded on stations Jablan (1983-1986) and Zlobin (1985-1986), situated on planned site of overhead line TS Melina-TS Vrbovsko in region »Gorski kotar«. It is showed that the method provides satisfactory results in case of several years measurement.

#### BERECHNUNG DER MAXIMALEN WINDGESCHWINDIGKEITEN AUS EINER KURZEN REIHE VON MESSUNGEN DER FERNLEITUNGSTRASSE ENTLANG

In der Arbeit wird die Anwendung der Gumbel — Extrem Einteilung für die Berechnung der maximalen Windgeschwindigkeiten für einen mehrjährigen Zeitabschnitt aus einer kurzen Reihe von Messungen behandelt. Zu diesem Zweck suchte man die Verhältnisse der maximalen Windböen für die Lokation mit einer kurzen Reihe von Messungen und der naheliegenden meteorologischen Station die ähnliche Störungscharakteristika hat und langjährige gute Messungen der Windgeschwindigkeit durchführt. Die Methode wurde bei extremen Windgeschwindigkeiten angewendet, die auf den Stationen Jablan (1983-1986) und Zlobin (1985-1986) aufgezeichnet wurden. Sie befinden sich neben der zukünftigen Fernleitungstrasse TS Melina -TS Vrbovsko in Gorski kotar. Man zeigte, daß die Methode zufriedenstellende Resultate aufweist, wenn man über langjährige Messungen verfügt.

#### РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА ПО НЕБОЛЬШОМУ РЯДУ ИЗМЕРЕНИЙ ВДОЛЬ ТРАССЫ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

В работе показано применение разделения эк крайностей для расчета максимальных скоростей ветра на многолетний период по небольшому ряду измерений. С этой целью отяскивались соотношения максимальных ударов ветра для местности с небольшим рядом измерений и использовались сведения ближайших метеорологических станций, располагающих характеристиками течения и многолетними качественными измерениями скорости ветра. Метод применялся на крайние скорости ветра, отмеченные на станциях Яблан (1983-1986 гг.) и Злобин (1985-1986 гг.), расположенных возле будущей трассы линии электропередачи ПС Мелина-ПС Врбовско в Горском котаре. Показано, что метод дает удовлетворительные результаты, если располагается измерениям за несколько лет.

#### LITERATURA

- BAJIĆ, A., 1986: »Simulacija strujanja na trasi dalekovoda«, Energija 6, Zagreb, 455 – 459.
- BROOKS, C. E. and N. CARRUTHERS, 1953: »Handbook of Statistical Methods in Meteorology«, Her Majesty's Stationery Office, London, 405 pp
- IAEA, 1981: »Extreme Meteorological Events in Nuclear Power Plant Siting, Excluding Tropical Cyclones«, Safety Series No. 50 – SG – S11A, Vienna, 77 pp.
- PLAZINIĆ, S., 1985: »Tehnička meteorologija«, Naučna knjiga, Beograd, str. 463.
- SACHS, P., 1978: »Wind Forces in Engineering, Pergamon Press,« Oxford (prevedeno 1986, Uticaj vetra na konstrukcije, IRO Građevna knjiga, Beograd, str. 439)
- VUČETIĆ, V. i G. HRABAK – TUMPA, 1987: »Studija o meteorološkim prilikama na području budućeg dalekovoda 380 kV TS Melina – TS Vrborsko«, CMI, RHMZ SRH, Zagreb, str. 86.

Naslov pisca:

**Višnja Vučetić, dipl. inž.  
Republički hidrometeorološki  
zavod SR Hrvatske, 41000  
Zagreb, Grič 3, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis  
1987 – 08 – 20

**ELEKTROPRIVREDA ZAGREB**

**OOUR**

# **Elektroprenos**

---

**ZAGREB**

---

Obavlja u okviru svoje osnovne djelatnosti:

prijenos električne energije, izrađuje studije, razvoj i projektiranje, izgradnju i nadzor izgradnje elektroprijenosnih postrojenja i telekomunikacionih uređaja

---

**OOUR ELEKTROPRENOS - ZAGREB**

**Proleterskih brigada 37 - Tel.: 513-822 i 511-455**

# IDENTIFIKACIJA EES U SVRHU PARAMETRIRANJA LFC OPREME

Mr. Muharem Mehmedović, Zagreb

UDK 621.31:681.3

PRETHODNO PRIOPĆENJE

U članku se navodi kako se iz mjerenja odziva na smetnju mogu prepoznati parametri nepoznatog sistema preko usporedbe odziva na modelu poznatih parametara.

**Ključne riječi:** identifikacija sistema, parametri sistema, odziv na poremećaj.

## 1. UVOD

Rad je nastao iz praktične potrebe da identificiramo jedan sasvim nepoznati elektroenergetski sistem (EES). Jedina informacija koja nam je bila na raspolaganju je mjereni odziv frekvencije EES-a na smetnju tipa izbacivanja određenog iznosa generacije radne snage.

Odmah treba istaći nepotpunost ove informacije u smislu ocjene parametara EES-a prije nastupa smetnje s obzirom na to da je trajno izbačen značajni (približno 17 % u radnoj snazi) aktivni dio EES-a, a ne pasivni. Zaključak je jasan. Iz navedene informacije možemo identificirati samo parametre EES-a poslije smetnje. Ovaj zaključak bi stajao i kod ostalih tipova smetnje (npr. izbacivanje potrošača koji sudjeluju u konstituiranju dinamike cijelog EES-a). U svakom slučaju impulsna smetnja na bilo kojoj strani bila bi adekvatnija od trajne skokovite smetnje s obzirom na to da impulsna smetnja ne dira u konfiguraciju EES-a.

Osim svega spomenutog treba odmah uvesti pretpostavku koherencije gibanja rotirajućih masa. U suprotnom bi nas to odvelo na istraživanje konfiguracije EES-a i mnogo više detalja o njemu, za što su navedena smetnja i odziv nedovoljne informacije. Iz ove pretpostavke proizlazi da se EES može tretirati kao jednomašinski sistem.

Sljedeća je pretpostavka da će linearni model EES-a moći zadovoljavajuće odraziti svojstva od interesa. Ono što sada možemo odmah učiniti s odzivom jest pokušaj identifikacije amplitudne i fazne karakteristike EES-a, uz sve prije napomenute ograde, ne ulazeći odmah u fizikalnu strukturiranost nepoznatih parametara. Na osnovi ove identifikacije najprije ćemo pokušati prepoznati oblik prijenosne funkcije. Zatim ćemo na osnovi poznavanja tipičnih oblika prijenosnih funkcija EES-a u ovoj domeni brzine pojava doći do strukturne povezanosti fizikalnih parametara.

Sljedeći korak je identifikacija tih parametara drugim postupkom bilo u frekvencijskoj bilo u vremen-

skoj domeni. U konkretnom slučaju, s obzirom na to da je originalna informacija u vremenskoj domeni, to će se i identifikacija parametara načiniti u vremenskoj domeni. Sam postupak je baziran na minimiziranju mjere udaljenosti stvarnog i mjenog odziva s obzirom na skup relevantnih parametara. Kao što će biti pokazano, mjeru udaljenosti ćemo definirati kao integral sume kvadrata odstupanja, općenito težinske, tokom cijelog prijelaznog procesa.

Budući da je postupku inherentan sistem ošjetljivosti, to je i on morao biti paralelno rješavan u procesu nalaženje iznosa parametara.

Pokazalo se da je na ovakav način moguće dobiti model EES-a i njegove parametre koji će relativno dobro interpretirati svojstva EES-a u okolnostima u kojima je mjereno odziv. To je omogućilo da se pri izboru podešenja parametara uređaja koji realizira LFC funkciju grubo ne pogriješi.

## 2. OBLIK PRIJENOSNE FUNKCIJE I STRUKTURA PARAMETARA

Relativno dobro je poznata činjenica da se pomoću Fourierove transformacije težinske funkcije odziva  $g(t)$  može dobiti prijenosna funkcija u frekvencijskoj domeni s obzirom na to da u slučaju impulsne smetnje nije potrebno tražiti njen Fourierov transformat već samo transformat težinske funkcije koja je povezana s odzivom (ovdje odstupanje frekvencije EES-a  $\Delta f$ ) na sljedeći način:

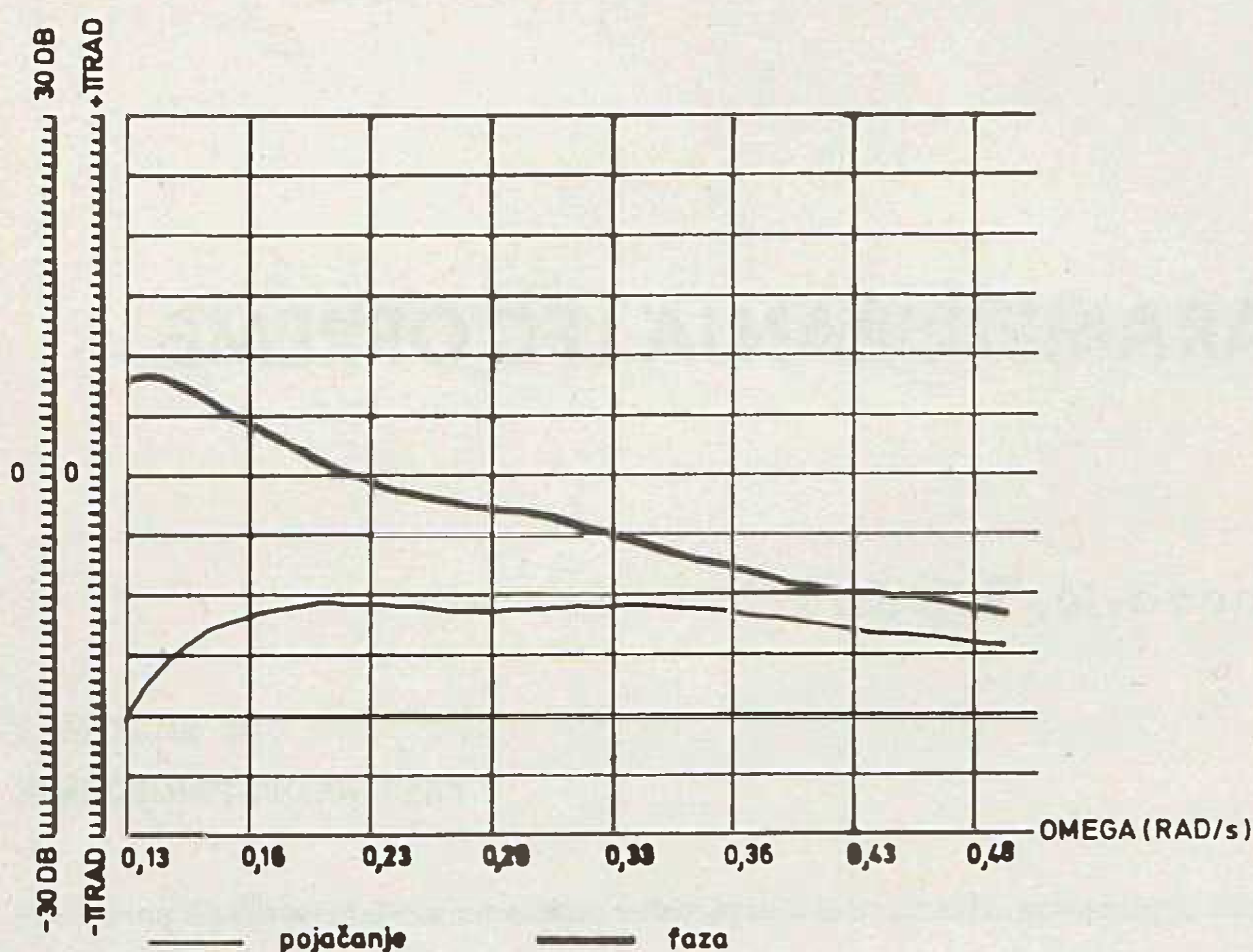
$$g(t) = \frac{1}{f_n} \frac{d\Delta f}{dt} \quad (1)$$

Prijenosna funkcija u frekvencijskoj domeni je sada:

$$\bar{F}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) \exp(-j\omega t) dt \quad (2)$$

Ne upuštajući se u numerički postupak dobivanja (1) i (2) iz skupa numeričkih podataka, rezultat je prikazan na slici 1, gdje je dana amplitudna i fazna karakteristika odnosno  $\text{Abs}(\bar{F}(\omega))$  i  $\text{Arg}(\bar{F}(\omega))$  u ovisnosti o frekvenciji.





Slika 1.

Što možemo vidjeti iz ovih rezultata? Uočljiv je relativno snažan utjecaj deriviranja na niskim frekvencijama (ili integriranja u povratnoj vezi) do otprilike 0,17 rad/s. Na frekvenciji 0,22 rad/s anuliran je potpuno utjecaj nule, a iz daljnjeg toka prijenosne funkcije ispravno bi bilo pretpostaviti utjecaj dvostrukog pola u prijenosnoj funkciji.

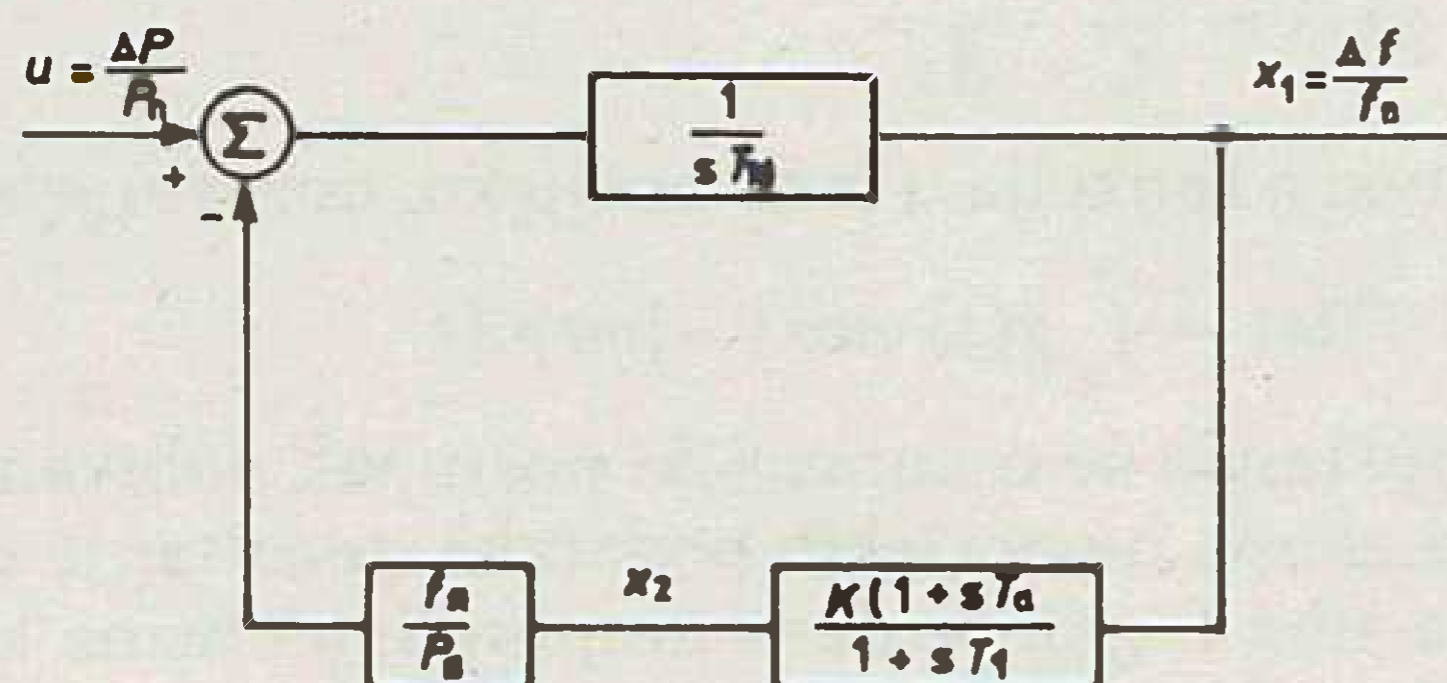
Prema tome kandidat za prijenosnu funkciju ovog EES-a bi bila prijenosna funkcija  $P1(s)/P2(s)$ , gdje je  $P1(s)$  polinom prvog, a  $P2(s)$  polinom drugog stupnja u  $s$ .

Pretpostavimo li i pojačanje koje je općenito različito od jedinice fizikalni, proces bi se dao interpretirati sa četiri nezavisna parametra.

Dakako, ova četiri parametra mogli bismo bez daljnjeg identificirati. Međutim, na osnovi dosada navedenog ne bismo mogli saznati ništa o fizikalnoj naravi odnosa tih parametara.

Da bismo došli do parametara koji imaju fizikalni smisao, moramo razmotriti stvarni sistem, ovdje jedan elektroenergetski sistem. U [1] je dano upravo jedno takvo razmatranje. Budući da je razmatrani EES pretežno hidroenergetskog tipa, zadržat ćemo se na prijenosnoj funkciji (8) i slici 2, iz iste referencije. Uvažavajući razmatranja koja su tamo načinjena u vezi s frekvencijskim opsegom i oblikom prijenosne funkcije, kandidat za prijenosnu funkciju EES s parametrima kojima se može pridjeliti fizikalno značenje dan je na slici 2.

Značenje pojedinih simbola sa slike 2. jest sljedeće.  $P_n$  je bazna snaga za koju se u principu može uzeti bi-



Slika 2.

lo koja vrijednost. U konkretnom slučaju uzeta je vrijednost 400 MVA. Ono što je ovdje važno jest činjenica da apsolutni iznos konstante inercije sistema  $p_1 = T_M$  ovisi o  $P_n$ . Za preračun konstante inercije na drugi iznos  $P_0$  treba imati na umu da je kinetička energija sistema na sinhronoj brzini invarijanta. Ako se za  $P_n$  uvrsti angažirana snaga sistema, tada će konstanta inercije imati uobičajene vrijednosti kao za jedan agregat.  $T_a$  je vremenska konstanta hidrauličkog stabilizatora, a  $T_1$  je vremenska konstanta koja je jednaka  $T_1 = (T_G + T_a(\sigma + \sigma_d))/\sigma$ , gdje je  $\sigma$  koeficijent statičkog, a  $\sigma_d$  koeficijent dinamičkog propada brzine.  $T_G$  je vremenska konstanta servomotora.  $K$  je regulacijska konstanta sistema (MW/Hz), a  $f_n$  je 50 Hz, iznos kojim se normira aktualni iznos odstupanja frekvencije  $\Delta f$  u Hz. Svi termini se odnose na ekvivalentan jednomašinski agregat.

U »s« domeni prijenosna funkcija je:

$$\frac{1 + sT_1}{(f_n/P_n)K(1 + sT_a) + sT_M(1 + sT_1)} \quad (3)$$

Odmah se daje zaključiti da postoje nezavisne osjetljivosti ove funkcije s obzirom na sva četiri parametra:

$$(p_1 p_2 p_3 p_4) = (T_M T_a T_1 K) \quad (4)$$

Prema tome postoje i nezavisne osjetljivosti odziva (odstupanje frekvencije EES) u vremenskoj domeni. Dinamika sistema u vremenskoj domeni prema slici 2. može se opisati diferencijalnim jednadžbama:

$$\frac{d(X)}{dt} = (A)(X) + (B)(u) \quad (5)$$

$$(Y) = (C)(X) = (\Delta f/f_n) \quad (6)$$

gdje je:

$$a_{11} = 0, \quad a_{12} = -rf/p_1$$

$$a_{21} = p_4/p_3$$

$$a_{22} = -(1 + rfp_2 p_4/p_1)/p_3$$

$$rf = f_n/P_n = 0,125$$

$$b_1 = u/p_1, \quad b_2 = p_2 p_4 u/(p_1 p_3)$$

$$c_1 = 1, \quad c_2 = 0$$

$$u = \Delta P/P_n = -0,15$$

Odavde možemo ustanoviti da je sistem potpuno upravljiv s obzirom na odstupanje radne snage ( $u$ ) uz uvjet da je rang  $((B), (B)(A))$  jednak redu sistema  $n$  (ovdje 2) odnosno:

$p_4(1 - p_2/p_3)/(p_1 p_3)$  različito od nula, a osmotriv s obzirom na odstupanje frekvencije EES ( $\Delta f/f_n$ ) uz uvjet da je rang  $((C)^T, (A)^T(C)^T)$  također 2 odnosno:

$$-rf/p_1 \text{ različito od nula.}$$

Budući da je faktor normiranja  $rf$  po prirodi stvari različit od nule, a konstanta inercije nije neizmerno, model ovog sistema je osmotriv.

S obzirom na to da je redovito  $p_2 = T_a$  različito od  $p_3 = T_1$ , a nije neizmerno, kao i to da je regulacijska konstanta EES-a (MW/Hz)  $p_4 = K$  različita od nule te da konstanta inercije nije neizmerno, model ovog sistema je upravljiv.

Jedinstven zaključak iz ovih razmatranja je sljedeći. Postoje četiri nezavisna parametra koji konstituiraju dinamiku sistema, a iz odziva odstupanja frekvencije

EES-a na smetnju u radnoj snazi dadu se identificirati.

### 3. IDENTIFIKACIJA PARAMETARA EES-a U VREMENSKOJ DOMENI

Uzmimo za mjeru udaljenosti stvarnog odziva ( $Y_d$ ) i odziva modela ( $C$ ) ( $X$ ) vremenski integral sume kvadrata njihovih odstupanja odnosno:

$$J = \int_0^{\infty} ((C)(X) - (Y_d))^T ((C)(X) - (Y_d)) dt \quad (7)$$

Iz nužnog uvjeta postojanja ekstrema od  $J$ , a s obzirom na pozitivnu definitivnost integranda u (1) minimuma:

min  $J$  ili:

$$\left( \frac{\partial}{\partial p} \right) J = 0 \quad (8)$$

te postupka linearizacije ovog odnosa dobijamo odnos u obliku linearnih algebarskih jednadžbi reda  $n_p$  gdje je  $n_p$  broj parametara (ovdje  $n_p = 4$ ):

$$(W)(\Delta p) = -(R) \quad (9)$$

Operatori ( $W$ ) i ( $R$ ) su:

$$(W) = \int_0^{\infty} (S)^T (C)^T (C) (S) dt \quad (10)$$

$$(R) = \int_0^{\infty} (S)^T (C)^T ((C)(X) - (Y_d)) dt \quad (11)$$

Ovdje je matrica ( $S$ ) matrica osjetljivosti vektora stanja ( $X$ ) s obzirom na skup relevantnih parametara ( $p$ ) i definirana je izrazom:

$$s_{jk}(t) = \frac{\partial x_j(t)}{\partial p_k} \quad (12)$$

$j = 1, 2, \dots, n \quad i \quad k = 1, 2, \dots, n_p.$

Budući da matrica osjetljivosti ( $S$ ) nije poznata, potrebno je usporedo s rješavanjem odziva modela rješavati i sistem osjetljivosti čija je dinamika za slučaj linearnog sistema opisana diferencijalnim jednadžbama:

$$\begin{aligned} d(S)/dt &= (A)(S) + (\partial(A)/\partial p)(X) \\ &+ (\partial(B)/\partial p)(u) \end{aligned} \quad (13)$$

i to uz početne uvjete  $(S)_{t=0} = (0)$  i  $(X)_{t=0} = (X_0)$ .

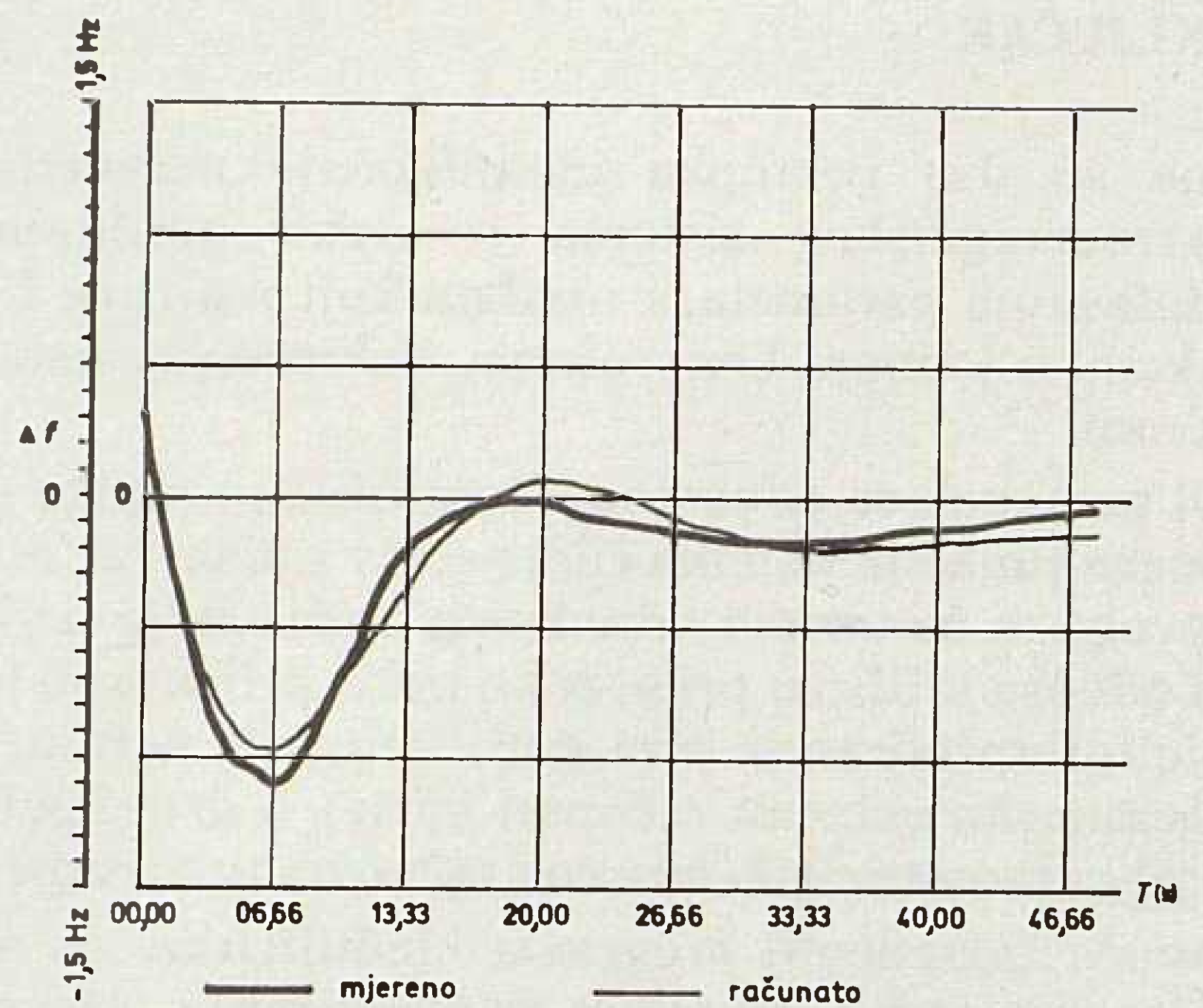
Za nelinearni sistem matricu sistema ( $A$ ) valja zamijeniti jakobijanom desne strane diferencijalnih jednadžbi (ako postoji) s obzirom na vektor stanja ( $X$ ). Očito je iz izraza (13) da je matrica sistema osjetljivosti ista kao i matrica sistema.

Još je važno napomenuti da su prilikom linearizacije (8) ispuštene osjetljivosti drugog reda, što je još vidljivo iz izraza (10) za operator ( $W$ ).

Ostali detalji o cijelom postupku mogu se naći u [2].

Na slici 3. dan je rezultat identifikacije parametara EES-a u obliku usporedbe stvarnog i računatog odziva u točki rješenja algebarskih jednadžbi (8) odnosno (9) kada smatramo da su u dva uzastopna računa parametara ( $p$ ) razlike ( $\Delta p$ ) dovoljno male.

Kod integriranja diferencijalnih jednadžbi (5) i (13) korišten je Eulerov postupak s korakom 2/3 s, koji je



Slika 3.

jednak koraku uzorkovanja stvarnog odziva koji je promatran tokom 48 s. Uz primjenu ovog postupka simbole integriranja u izrazima (7), (10) i (11) valja zamijeniti simbolima sumiranja. Točnost računala je  $1.e-8$ . Računatom odzivu sa slike 3. odgovaraju izračunati parametri:

$$\begin{aligned} (p_1 \ p_2 \ p_3 \ p_4) &= (T_M \ T_a \ T_1 \ K) = \\ &= (18,66s \ 2,917s \ 15,327s \ 127,4 \text{ MW/Hz}) \end{aligned}$$

uz iznos mjere udaljenosti stvarnog i računatog odziva od  $1.1e-4$ .

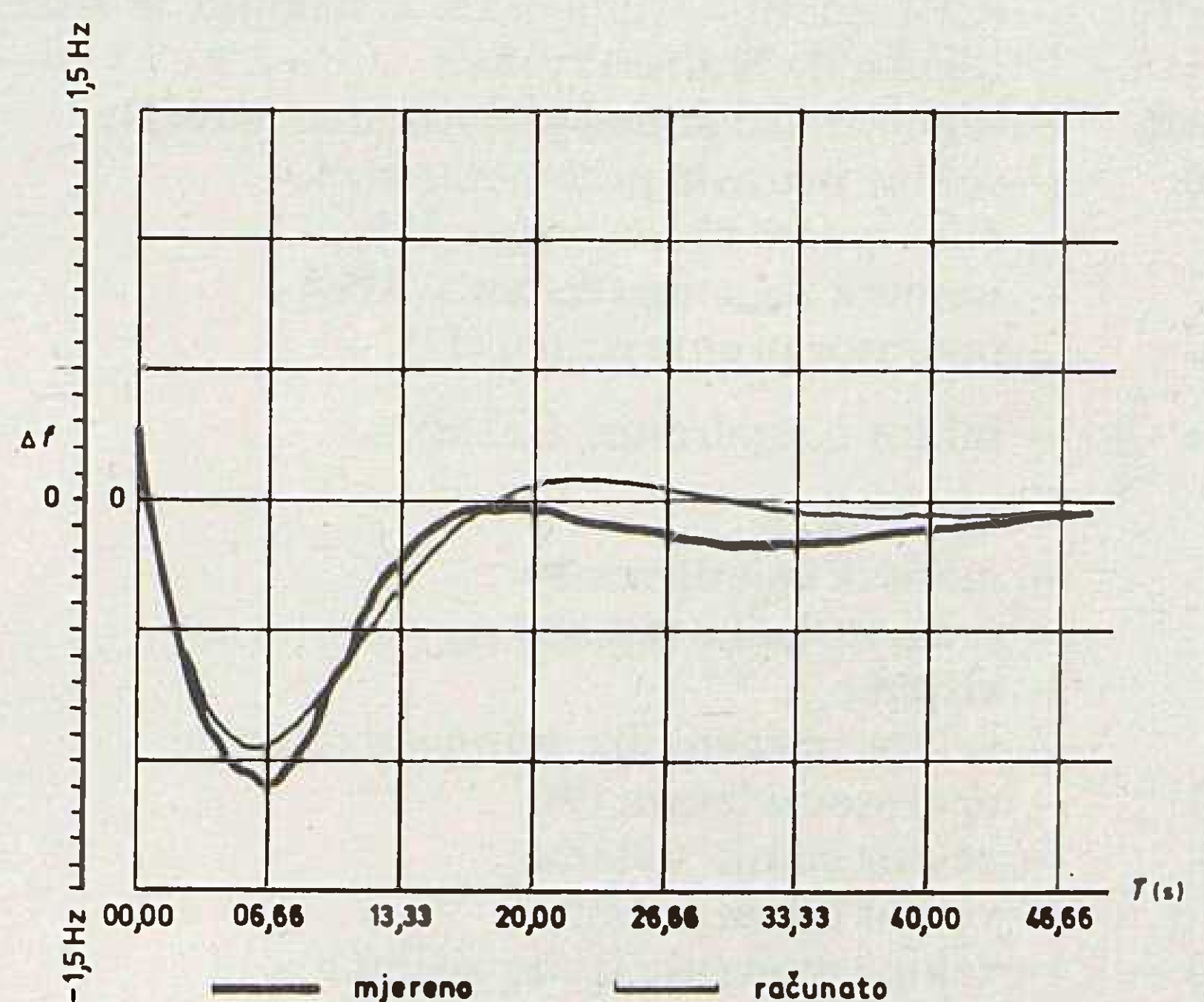
Sa sl. 3. je lako zaključiti da odziv NIJE stacionarno točan.

Isključimo li iz postupka identifikacije regulacijsku konstantu  $K$  koja određuje stacionarno stanje i modela i stvarnog sistema, dobivamo statički točan odziv kome odgovaraju izračunati parametri:

$$\begin{aligned} (P_1 \ P_2 \ P_3 \ P_4) &= T_M \ T_a \ T_1 \ K = \\ &= (16,916s \ 4,578s \ 25,355s \ 160,96 \text{ MW/Hz}) \end{aligned}$$

uz iznos mjere udaljenosti stvarnog i računatog odziva od  $2.4e-4$ .

Ovaj slučaj ilustriran je na slici 4.



Slika 4.

## ZAKLJUČAK

Dana su dva postupka identifikacije parametara elektroenergetskog sistema u svrhu prethodnog podešavanja parametara uređaja koji realizira LFC funkciju u jednom konkretnom elektroenergetskom sistemu.

Prvi postupak se odnosi na identifikaciju oblika prijenosne funkcije sistema čiji je odziv zadan. Na osnovi ovoga te na osnovi određenog poznavanja fizikalnih odnosa u EES-u prepoznati oblik prijenosne funkcije interpretiran je prvi put s četiri (4) parametra (stacionarno netočan računati odziv), a drugi put sa tri (3) parametra (stacionarno točan računati odziv).

Pomoću razrađenih programa identificirani su sljedeći parametri postupkom minimiziranja integrala kvadrata odstupanja mjerenog i računatog odziva:

- tri vremenske konstante (18,66 s 2,917 s 16,327 s), — konstanta sistema (127,4 MW/Hz), a drugi put s tri parametra:
- tri vremenske konstante (16,916 s 4,578 s 25,355 s), a konstanta sistema izračunata iz mjerenog odziva je 162,363 MW/Hz.

U slučaju a) integralno kvadratno odstupanje je iznosilo  $1,1 \times 10^{-4}$ , a u slučaju b)  $2,4 \times 10^{-4}$ .

Postupku proračuna ovih parametara prethodila je najprije provjera upravljivosti, osmotrivosti i identificirabilnosti.

## POPIS OZNAKA

(A)	— matrica sistema
(B)	— matrica upravljanja
(C)	— matrica izlaza
$\Delta f$	— odstupanje frekvencije sistema, Hz
$f_n$	— frekvencija sistema, 50 Hz
$\bar{F}(\omega)$	— Fourierov transformat težinske funkcije $g(t)$
$g(t)$	— težinska funkcija odziva $\Delta f/f_n$
$J$	— integralni kriterij
$\omega$	— kružna frekvencija periodičke smetnje, rad/s
$p_1 = T_M$	— konstanta inercije sistema, Ws/VA
$p_2 = T_a$	— vremenska konstanta stabilizatora u regulatoru brzine vrtnje, s
$p_3 = T_1$	— ekvivalentna vremenska konstanta u sistemu regulacije brzine vrtnje, s
$p_4 = K$	— regulacijska konstanta sistema, MW/Hz
( $\Delta p$ )	— vektor prirasta parametara ( $p$ )
$\Delta P$	— odstupanje radne snage, MW
$P_n$	— nominalna snaga sistema, MVA
(R)	— operator prema izrazu (11)
$rf = \frac{f_n}{P_n}$	— faktor normiranja, Hz/MVA
s	— operator, $s^{-1}$
(S)	— matrica osjetljivosti
$T_G$	— vremenska konstanta servomotora, s
t	— vrijeme, s
(u)	— vektor upravljanja, odnosno smetnje
(W)	— operator u izrazu (9)
(X)	— vektor stanja sistema
(Y)	— vektor izlaza sistema
( $Y_d$ )	— vektor mjerenja izlaza sistema
$\tau$	— statizam regulatora brzine vrtnje, rv
$\rho_d$	— koeficijent dinamičkog propada brzine, rv

## LITERATURA

- [1] G. QUAZZA and E. FERRARI: »Role of Power Station Control in Overall System Operation,« REAL-TIME CONTROL OF ELECTRIC POWER SYSTEMS, Elsevier Publishing Company, Amsterdam-London-New York, 1972.
- [2] M. MEHMEDOVIĆ: »Identifikacija parametara sistema regulacije uzbude sinhronog stroja pomoću metode osjetljivosti«, Automatika 5–6, Zagreb, 1981.
- [3] M. MEHMEDOVIĆ: »Identifikacija parametara elektroenergetskog sistema Albanije«, E 3078, Zagreb, 1985.
- [4] M. MEHMEDOVIĆ: »Studija računskih metoda za ocjenu kvalitete regulacije napona sinhronog stroja«, E 951, Zagreb, 1979.
- [5] DURANDO A. R., LEONDES C. T.: »Parameter Estimation of Non linear Time-Variant Systems by the Method of Sensitivity Functions«, Comput. Elec. Engng., Vol. 3, pp. 421–424, 1976.
- [6] CRUZ J. B., Jr.: »System Sensitivity Analysis«, Pennsylvania, Dowden, Hutchinson Ross Inc., 1973.

## IDENTIFICATION OF ELECTRIC POWER SYSTEM FOR PARAMETRIZING OF LFC EQUIPMENT

In the article is described a method for determination of unknown system parameters on the base of response measurements and by comparison with response of system with known parameters.

## IDENTIFIKATION EES ZUM ZWECK DES PARAMETRIERENS DER LFC AUSRÜSTUNG

Im Artikel wird erklärt wie man aus der Messung des Widerstands auf die Störung die Parameter eines unbekanntes Systems über den Vergleich des Widerstands am Modell der bekannten Parametern erkennen kann.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭЭС В ЦЕЛЯХ ПАРАМЕТРИРОВАНИЯ ЛФЦ ОБОРУДОВАНИЯ

В статье излагается каким образом по измерениям откликов на помехи можно распознать параметры неизвестной системы путем сравнения отклика на модели известных параметров.

Naslov pisca:

Mr. Muharem Mehmedović,  
dipl. inž.

»Rade Končar« —  
Elektrotehnički institut  
41000 Zagreb, Fallerovo šet. 22,  
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis  
1987–03–04

# DANAŠNJE STANJE MREŽNO-TONFREKVENTNE KOMANDE U SR HRVATSKOJ

## UVOD

Promatrajući razvoj mrežno-tonfrekventne komande (MTK) u distributivnom sistemu Hrvatske, može se konstatirati da su pojedina područja i distributivne organizacije koje opskrbljuju ta područja na različitim stupnjevima razvoja i primjene sistema. Tako neke velike radne organizacije kao što su Elektroslavonija, Osijek i Elektrodalmacija, Split te nekoliko manjih (Elektra, Karlovac; Elektra, Sisak i Elektrolika, Gospić) nemaju razvijen ni uveden sistem mrežno-tonfrekventne komande. Također treba napomenuti da i unutar radnih organizacija koje su uvele, pripremaju uvođenje ili je realizacija uvođenja sistema MTK u toku, ima OOUR-a koji nisu ništa poduzeli na tom planu. Očito, to upozorava da je krajnje vrijeme da se za područje cijele republike zacrti razvoj jedinstvenog sistema MTK koji će se realizirati po etapama i područjima, ovisno o potrebama primjene.

## PRIKAZ PREMA DISTRIBUTIVNIM RADNIM ORGANIZACIJAMA

Na osnovi provedene ankete, prikazat ćemo nivo razrade MTK-a na pojedinim područjima nekih distributivnih radnih organizacija.

### 1. RO Elektroistra, Pula

Slobodno se može konstatirati da je ta radna organizacija najviše u Hrvatskoj postigla u smislu uvođenja i primjene sistema mrežno-tonfrekventne komande.

Pristup tom problemu je dokraja znanstven, a uvođenju sistema prethodila je izrada studija »Izbor optimalnog sistema mrežno-tonfrekventne komande na području RO Elektroistra Pula«. Spomenutu su studiju izradili stručnjaci Sveučilišta u Osijeku, u suradnji sa stručnjacima proizvođača opreme »Rade Končar«. Studija je idejni projekt s detaljnim proračunima širenja signala u elektroenergetskoj mreži, razradom strategije upravljanja i definiranom opremom za upravljanje, kontrolu i utiskivanje signala na odabranim točkama distributivne mreže na području cijele radne organizacije, a sadrži i sve potrebne tehno-ekonomske analize.

Sistem MTK koristi se od 1979. godine, signali se injektiraju paralelno u osam pojmih točaka na naponskom nivou od 35 kV, a način upravljanja je centralni. Isporučilac opreme tipa »Semağyr 50« je švicarska firma »Landis a Gyr«, u suradnji s tvornicom »Rade Končar«-Zagreb, koja je bila nosilac ugovora i isporučilac statičkih ispravljača.

Frekvencija je 283,3 Hz, a MTK se danas primjenjuje za sljedeće funkcije:

- prekopčavanje tarife (upravljanje dvotarifnim brojilima)
- upravljanje brojilima s pokazivačem maksimuma
- upravljanje javnom rasvjetom
- upravljanje javnom rasvjetom historijskih spomenika
- upravljanje termoakumulacionim pećima
- upravljanje bojlerima
- alarmiranje raznih službi (dežurnih ekipa u OOUR-u Distribucije Pula, vatrogasaca, zdravstvenih službi, službi ONO i DSZ).

Vrlo je interesantno upravljanje rasvjetom koje se provodi u Puli, gdje je javna rasvjeta podijeljena u šest zona, ovisno o značenju i namjeni (centra grada, ostalo područje grada te područje okolnih sela). Rasvjeta svake zone uključuje se istovremeno, ali se isključuje u različito vrijeme ovisno o zoni i godišnjem dobu (turistički konzum i drugo).

Elektroenergetska služba prilikom izdavanja energetske suglasnosti potrošačima propisuje izvedbu instalacije uz primjenu MTK. Za tu su svrhu izdane preporuke odnosno upute za izvedbu, a vrijede za sve projekte i realizacije novih instalacija.

Instalacija se proizvodi posebnim 5-žilnim signalno-upravljačkim vodovima (65 × 1,5 mm<sup>2</sup> Cu) od razvodne ploče do prijemnika MTK (za individualnu stambenu gradnju), a oko je riječ o stambenim objektima za više stanara, instalacija se postavlja od centralnoga kućnog ormara u prizemlju zgrade do svakog stana, tj. do razvodnih ploča u stanovima.

Posebnim strujnim krugovima priključeni su sljedeći potrošači:

- termoakumulacione peći (ventilatori)
- bojleri
- centralna grijanja na električnu struju
- strojevi (kompresori u brodogradilištu »Uljanik«).

Iskustva iz prakse pokazala su da je sistem vrlo pouzdan i gotovo nepodložan kvarovima.

### 2. RO Elektroprimorje, Rijeka

Sistem MTK uveden je na nivou radne organizacije 1979. godine. Signali se injektiraju serijski na 35 kV sabirnicama u trafostanicama 110/35 kV, a način upravljanja je centralni. Isporučilac opreme je ISKRA-BBC, tip RPZ 300 sa tri predajnika, a frekvencija 216,6 Hz.

Ta je radna organizacija vrlo ambiciozno stavila u primjenu MTK sistem tako da je razradila izvedbu instalacije za koje se, osim prijemnika MTK, primjenjuju i dodatne sklopke. Zato danas ima približno 800 prijemnika MTK, pomoću kojih upravlja tarifnim prekopčavanjem u približno 16 000 stanova.

Odjel pogona i razvoja izdao je i detaljne upute u kojima je razrađena priprema instalacija za primjenu MTK. Dosad se uspješno provodi prva faza, tj. umjesto uklopnih satova za tarifno upravljanje ugrađuju se MTK-prijemnici sa tri komandne sklopke, svakom od 20 A.

Nažalost, nije se krenulo dalje od početnog impulsa u primjeni MTK tj. služi samo za promjenu tarife. Stoga se ne može mnogo govoriti o iskustvima, ali se može reći da je oprema pouzdana i kvalitetna i u njezinu radu dosad nije bilo problema.

Do 1990. godine planira se uvođenje MTK-sistema na otoke i u Gorski kotar. S obzirom na to da MTK ubuduće nastoji upotrijebiti za upravljanje snagom, ta će radna organizacija postojeći dugi telegram morati zamijeniti kraćim.

### 3. RO Elektrodalmacija, Split

#### 3.1. OOUR Elektrodistribucija, Knin

Mrežno-tonfrekventna komanda uvedena je na nivou OOUR-a 1983. godine. Signali se injektiraju paralelno na 20(10) kV-tnom nivou, a način upravljanja je centralni. Opremu je proizveo Landys a Gyr — Rade Končar.

Dosadašnja iskustva su sljedeća:

- Vrlo često su kompletni signali (telegrami) upisani u memoriju centralne jedinice izbrisani. Sada je taj problem riješen i kvar se više ne pojavljuje.
- Akumulatorska baterija je vrlo brzo propala (nakon dvije godine), ali zamijenjena kvalitetnijom.
- Snaga sprežnih filtera nije prilagođena snazi statičkih pretvarača, tako da se radi smanjenom snagom, zbog čega jedan dio područja nije pokriven. Taj se problem treba ubrzo riješiti.

#### 3.2. Elektrojug, Dubrovnik

S obzirom na to da ta RO nije odgovorila na upućenu anketu, nismo mogli dati prikaz sistema koji je već instaliran i djelomično radi.

### 4. RO Elektra, Zagreb

#### 4.1. OOUR Elektra, Čakovec

U tom je distributivnom OOUR-u sistem MTK u fazi montaže i ispitivanja, a izabrana je oprema Landis a Gyr — Rade Končar, s paralelnim injektiranjem signala na 35 kV-tnom nivou. Način upravljanja u I. fazi je centralni, a u II. fazi se predviđa dispencijom u više injekcionih točaka. Planirani broj prijemnika u ovoj godini je 500, a za svaku se godinu predviđa približno 2000 novih.

#### 4.2. OOUR Distribucija, Dugo Selo

Cijeli je sistem pušten u pogon 1985. godine, a montirana je sljedeća oprema:

- nadzorno-upravljajuća jedinica — tip YNUJ 1.1. — R. Končar
- statički pretvarač — tip VF QA 4 A — R. Končar
- centralna automatika — tip FPB 1.3. — Landis a Gyr.

Dosad se pojavio samo jedan kvar na modulnoj jedinici koja je sastavni dio nadzorno-upravljajuće jedinice.

Uzrok kvara je bio udar groma u 30 kV-tni stup, tj. u kabelsku glavu izlaza iz TS-a.

Signali se injektiraju paralelno na 30 kV-tnoj strani u TS 110/30 kV, a način upravljanja je centralni.

#### 4.3. OOUR Elektra, Koprivnica

Sistem MTK parcijalno je proradio 1985. godine. Tip injektiranja signala je paralelan na 35 kV-tnom nivou u TS 110/35 kV Koprivnica, a predviđaju se tri injekcije točke, i to u TS Koprivnica u TS Virje i u TS Selnik. Upravljanje emisionih postrojenja predviđeno je iz jednog mjesta, iz dispečerskog centra u Koprivnici, a služi za prebacivanje tarifa i za upravljanje javnom rasvjetom. Snaga pretvarača je 100 kVA i zasaada je montiran jedan spojni filter. Određenu poteškoću čini nedostatak opreme za mjerenje nivoa TF signala na terenu, što ponekad izaziva nesporazume s potrošačima.

#### 4.4. OOUR Elektra, Varaždin

Kompletan sistem još nije pušten u pogon, ali parcijalni dio radi od 1983. godine. Tip injektiranja signala je paralelan na 20(10) kV-tnom nivou u TS 110/20(10) kV Varaždin. Način upravljanja je centralni, iz dispečerskog centra. Opremu je proizveo Landis a Gyr-Rade Končar, a statički pretvarač je tipa YFQA 4 A.

#### 4.5. OOUR Distribucija, Zagreb

U Zagrebu je sistem MTK uveden 1970. godine, a upotrebljava se, isključivo za prekopčavanje tarife i paljenje javne rasvjete. U posljednje se vrijeme provodi akcija za proširenje primjene. Danas je u pogonu oko 80 000 prijemnika MTK. Signali se ubacuju na 30 kV nivou, a frekvencija je 283,3 Hz.

Do sada su u većinu gradskih TS 110/xkV (Jarun, Resnik, EL-TO Rakitje, Ksaver) ugrađeni uređaji, a do kraja 1987. godine predviđa se puštanje u pogon u TS 110/20(10) kV Botinec, Dubec, Trpimirova (Centar) i Zagreb-zapad (Stenjevec).

Ugrađen je sistem Landis a Gyr — Rade Končar, koji se u praksi pokazao vrlo pouzdanim. Smetnje koje su se do sada pojavljivale bile su iz mreže i uništavale su sprežni filter. Uzroci tih razaranja su pregrija-

vanja sekundarnih zavojnica sprežnih transformatora kao posljedica povećanih struja viših harmonika. Bilo je i određenih problema s dijelom nadzorno-upravljačke jedinice, pa je s proizvođačem, tvornicom »Rade Končar«, dogovorena razrada i razvoj nove jedinice.

## ZAKLJUČAK

Iz ovog kratkog prikaza razvoja sistema mrežno-tonfrekventne komande u distributivnoj mreži Hrvatske može se uočiti nekoliko karakteristika, i to:

- nivo saznanja i potrebe uvođenja sistema MTK nije u svim dijelovima (RO i OOUR-ima) republike jednak, te je u organizacijama koje nemaju razrađena idejna rješenja cjelovitim projektom potrebno riješiti dileme o uvođenju MTK
- različita je primjena MTK u organizacijama koje su ga već usvojile, pri čemu postoje i velike rezerve u vrsti namjene MTK, što se naročito pokazalo u RO Elektroistra Pula

- distributivne organizacije nisu dovoljno stimulirane da u sklopu postojećega tarifnog sistema investiraju u uvođenje sistema MTK
- očite su prednosti za cijeli elektroenergetski sistem (izravnanje dnevnog dijagrama opterećenja, smanjenje troškova održavanja i baždarenja uklopnih satova)
- relativno velike intervencije na postojećim instalacijama, što destimulira dosadašnje potrošače
- pojavljuje se mogućnost da se uz svaki potrošač energije koji je kao trošilo električne energije važan i kojim se može upravljati ugradi MTK-prijemnik. To naravno, zahtijeva dogovor s proizvođačima trošila (termoakumulacijskih peći, bojlera i drugoga).

Zaključno treba konstatirati da sistem mrežno-tonfrekventne komande pridonosi racionalnijem korištenju električne energije koju sve teže osiguravamo zbog ograničenih resursa kojima raspolaže naša republika, te bi ga u narednom razdoblju trebalo više forsirati. Analize su pokazale i to da se već za 700-1000 uklopnih satova isplati supstitucija sistemom MTK.

Mladen Šicel, dipl. inž.

# VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

## RAZVOJ GRADNJE AKUMULACIJE LEPENICA

Sredinom 1986. godine službeno su počeli radovi za gradnju akumulacijskog sistema Lepenica. Završeni su građevni radovi na nekim objektima. To su: izgradnja brane, rješenja zagata, slapište, preliv, bočni nasipi, odvodni kanal, strojarnica i drugi prateći objekti. Iako su glavni radovi završeni, to se ne može ustvrditi i za isporuku opreme.

U toku prvog tromjesečja 1987. godine jezero je napunjeno. U vezi s tim provode se određena mjerenja da bi se nesmetano izvršio tehnički prijem akumulacijskog jezera.

Izrada i isporuka opreme kasni u odnosu prema planiranoj dinamici. Prema planiranim rokovima, oprema je trebala biti završena u prvom polugodištu 1987. godine. Nakon toga morala je početi montaža opreme da bi objekt krajem 1987. godine proradio. Kašnjenje se javilo pri izradi generatora u »Radi Končaru« zbog kašnjenja osovine iz SSSR-a. Osovina je trebala biti isporučena do kraja lipnja 1987, no isporučena je tek u kolovozu 1987. godine. To kašnjenje isporuke utjecalo je i na RO »Jugoturbina«. Iako je završila svoj dio posla u izradi crpke — turbine, ne može završiti spjanje s osovinom generatora, čija izrada u »Radi Končaru« kasni.

Zbog kašnjenja isporuke crpke — turbine i generatora, završetak radova na ovom objektu bit će pomaknut za nekoliko mjeseci u 1988. godini.

Financiranje radova na izgradnji akumulacijskog sistema Lepenica zajednički osiguravaju Elektroprivreda Hrvatske i Vodoprivreda Rijeke. Planirana sredstva elektroprivrede u 1987. godine za taj objekt iznose 949 milijuna dinara.

Vodoprivreda — Rijeka ne osigurava sredstva prema planiranoj dinamici. Tako je u 1986. godini doznačeno manje od plana — 129 milijuna dinara, a u 1987. godini Vodoprivreda Rijeka umjesto planiranih 486 milijuna dinara može osigurati samo 280 milijuna. Najozbiljnije se postavlja pitanje budućih zajednički poslova s Vodoprivredom.

I. R.

## NOVOSTI S GRADILIŠTA HE DJALE

Hidroelektrana Djale pripada objektima kontinuiteta koji se grade u SR Hrvatskoj. Glavni građevinski radovi uspješno se obavljaju prema planiranoj dinamici, a izrada turbinskog dijela opreme kasni. Isporučilac-RO »Litostroj« prekoračio je ugovorene rokove. Opsežni i složeni poslovi izvode se na gradnji strojarnice, tako da je velik dio poslova obavljen.

Radovi na strojarnici na kraju prvog tromjesečja 1987. godine kasnili su u odnosu prema planu približno mjesec dana zbog problema s betoniranjem pri niskim temperatura. Osim toga, u toku siječnja i veljače izvođač nije bio potpuno ekipiran za planiranu dinamiku radova. U toku drugog tromjesečja spomenuta su kašnjenja uklonjena i radovi teku prema aktualiziranom planu gradnje. Radovi na ostalim objektima — brani, slapištu i zabrtvljenju akumulacije također se obavljaju po planu.

Stanje s turbinskom opremom i dalje je isto — izrada opreme kasni pet mjeseci u odnosu prema ugovorenim rokovima. Prema planovima izrade opreme »Litostroja«, vidi se da je kašnjenje prihvaćeno kao činjenica i da se ne pokušava

vaju pronaći načini da se ono otkloni. Teškoće s opremom »Rade Končara« zbog kašnjenja isporuke osovina i krajnjih polnih ploča otklonjene su. Izrada i isporuka ostale opreme teče prema planiranim rokovima.

I. R.

## MANJE UGLJENA

Prema informacijama Izvršnog odbora Udruženja rudnika ugljena Jugoslavije, utvrđeno je da se plan proizvodnje ugljena u 1987. godini neće ostvariti. Umjesto 76,2, koliko je planirano, proizvest će se oko 72 milijuna tona ugljena.

Zbog proizvodnje ugljena i uvoz nafte bit će veći od predviđenoga, i to za milijun tona. To je novo opterećenje za i onako bremenitu platnu bilancu zemlje. Svojevrsan je paradoks to što bi rudari mogli iskopati planiranih 76,2 milijuna tona, ali nema kupaca. Relativno jeftina tekuća goriva, ponajprije mazut i ulje za loženje, ponovo privlače potrošače koji su se posljednjih godina bili opredijelili za ugljen.

Zbog takvog stanja rudnici su 1985. i 1986. godine gotovo prestali investirati u svoju proizvodnju iz jednostavnog razloga što ni elektroprivreda ne gradi termoelektrane veće snage na kruto gorivo.

Već sada bi se moglo procijeniti da proizvodni program od 92 milijuna tona u 1990. godini neće biti ispunjen. Maksimum koji se može te godine postići jest 82 do 83 milijuna tona, kako su utvrdili stručnjaci Udruženja rudnika ugljena Jugoslavije.

I. R.

## STUDIJSKO-ISTRAŽNI RADOVI U PROIZVODNJI

Planom za 1987. godinu predviđena su ulaganja u studijsko-istražne i projektne radove za objekte proizvodnje električne energije u SRH u iznosu od 3 534 milijuna dinara. U prvom polugodištu 1987. godine za to je utrošeno 970 milijun dinara.

Težište aktivnosti u prvom polugodištu 1987. bilo je na pripremi dokumentacije (istražni radovi, izrada idejnih projekata, izrada studija utjecaja na okolinu) i za hidroenergetske objekte iz ostalog dijela hidropotencijala.

U 1987. godini dovršeni su radovi iz plana za 1986. godinu, te obavljene pripreme i ugovaranje radova iz plana za 1987. godinu.

Stanja u izradi značajnijih studijsko-istražnih i projektnih radova za proizvodne objekte su ovakva:

— hidroenergetski izvori — dovršeni su studijsko-istražni radovi (podloge za izradu idejnih projekata) za objekte HE Tisne Stine, HE Žegar, HE Drenje te izraden idejni projekt za HE Tisne Stine i HE Drenje. Nadalje, za te dvije hidroelektrane izrađene su studije o njihovom utjecaju na okolinu i dobiveni uvjeti uređenja prostora.

Nadalje, izraden je investicijski program i projekt organizacije radova za poboljšanje vododrživosti crpne stanice Buško Blato. Dobiveni su uvjeti uređenja prostora i izrada investicijskog programa za VES Brodarci.

U toku su istražni radovi za idejni projekt akumulacije Kosinj VS Podturen i HE Ombla, te izrada idejnog projekta za HE Žegari i akumulaciju Kosinj. Za sve te objekte u toku je

izrada studija o utjecaju na okolinu. Izvode se istražni radovi (podloge) za izvedbeni projekt HE Prančevići.

- Termoenergetski izvori za ove su izvore planirani radovi za poboljšanje rada i produženje radnog vijeka, a odnose se na TE Sisak i TE — TO Zagreb. TE Sisak: U toku je prikupljanje ponuda za izradu dokumentacije (za pomoćni kotao), a za rezervoar mazuta ponude su prikupljene.
- TE — TO Zagreb (2 × 32 MW): U toku je izrada idejnog rješenja za supstituciju blokova PT 2 × 32 MW, koja treba pokazati je li opravdana orijentacija na uvozni ugljen.
- Nuklearni izvori. Za nastavak realizacije tog programa planirana su minimalna sredstva, i to za radove koji se obavljaju u kontinuitetu, a odnose se na prikupljanje i obradu podataka mjerenja (meteorološke i seizmološke stanice te opažanja razina i kvaliteta površinskih i podzemnih voda na lokaciji NE Slavonija).

I. R.

## PROIZVODNJA HIDROELEKTRANA

U razdoblju siječanj — rujan 1987. godine hidroelektrane u SR Hrvatskoj ostvarile su proizvodnju u okviru plana.

Protočne HE u navedenom su razdoblju ostvarile proizvodnju od 1986, 3 GWh, što je za 9,7 posto više od plana.

Akumulacijske HE ostvarile su 2 929, 1 GWh, ili 98,8% plana.

Remont je uglavnom izvršen u rujnu, i to za hidroelektrane Sklope, Zakućac (na dva turboagregata), Manojlovac (sva četiri agregata), RHE Obrovac (prvi agregat), Senj (tri agregata) i HE Dubrovnik (drugi agregat).

I. R.

## OPRAVDANA GRADNJA TE PLOMIN 2

Na zajedničkoj skupštini Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske i RSIZ-a potrošača električne energije krajem listopada 1987. donesena je odluka o nastavku gradnje TE Plomin 2, bez obzira na nova saznanja o rezervama ugljena u istarskim ugljenokopima. Na skupštini je istaknuto da je TE Plomin 2 potrebna privredi Hrvatske. Na području Hrvatske ne postoji mogućnost gradnje druge termoelektrane, a u ostalim republikama i pokrajinama nije nađeno rješenje za manjak od 700 MW, koji je potrebno riješiti do 1995. godine. Zbog svega toga zaključeno je da nema objekta koji može zamijeniti TE Plomin 2. Podaci o količinama ugljena u istarskim ugljenokopima nisu izmijenila stavove o potrebi gradnje TE Plomin 2. Količine ugljena koje nedostaju mogu se nabaviti iz domaćih izvora i uvoza. Prema sadašnjim cijenama i ponudama, to neće pogoršati ekonomičnost proizvodnje te termoelektrane, već naprotiv.

Uvozni bi se ugljen mogao transportirati preko luke Kopar, pa nije potrebno graditi novu luku u Plominu. Iz domaćih bi se rudnika za potrebe TE Plomin 2 ugljen transportirao iz Đurđevika (SR Bosna i Hercegovina). Cijena tog ugljena, uključivši i transport, nije veća od cijene ugljena iz istarskih ugljenokopa.

Stručne službe ZEOH-a i investitora zadužene su da ubrzaju ispitivanje mogućnosti kombinacije loženja domaćega i uvoznog ugljena te da odrede optimalnu kombinaciju, dovrše razgovore s predstavnicima RO »Titovi rudnici« o uvjetima i cijenama isporuke ugljena. Za uvoz ugljena i količine potrebne za pogon TE Plomin 1. i TE Plomin 2 potrebno je zatražiti suglasnost ogovarajućih organa.

Na traženje Republički komitet za energetiku potaknuo je pitanje opreme za odsumporavanje. Investitor je odgovorio

da oprema nije još naručena, a trenutno se razmatra izbor tehnologije za odsumporavanje.

Prema planovima iz investicijskog programa i rokovima ugovorenim s poslovnom zajednicom »INGRA«, koja je glavni isporučilac opreme i izvođač radova, radovi na gradnji TE Plomin 2 na pojedinim objektima kasne više od godinu dana.

Glavna je oprema naručena od domaćih proizvođača, ali se javljaju problemi u osiguranju deviznog plaćanja prema dobavljačima. To je najaktualnije za RO »Đuro Đaković«, za plaćenje repromaterijala za tlačni dio kotla iz SR Njemačke.

I. R.

## PROGRAM ZATVARANJA JAME RIPENDE

Najnovije analize pokazuju da proizvodnja ugljena u OOU-R-u Ugljenokop Labin, u jami Ripendi, više nije ekonomski opravdana. Predloženo je da se 31. prosinca 1987. godine jama Ripenda zatvori. U 1988. godini demontirat će se oprema vrijedna oko 2 milijarde dinara.

U RO Istarski ugljenokopi zaključeno je da usporedo s tim treba formirati novu radnu organizaciju, ali bez osnovnih organizacija udruženog rada. Ona bi zapošljavala oko 1 270 radnika. Zatvaranjem jame Ripende javlja se tehnološki višak radne snage u »Istarskim ugljenokopima«. Riječ je o 310 radnika. Potrebno im je osigurati drugi posao, kako je istaknuto u sanacijskom programu zatvaranja jame Ripende i formiranju nove radne organizacije, što ga je razmatrao i podržao Općinski komitet SKJ Labin.

Procijenjeno je da će gubitak u OOUR-a Ugljenokop Labin (zatvaranjem jame Ripende) iznositi oko 4,5 milijarde dinara, a da će proizvodnja biti oko 49 posto manja od planirane.

Zatvaranjem jame Ripende sve snage i sredstva treba usmjeriti u jamu Tupljak. Nova bi radna organizacija, bez OOUR-a, prema prijedlogu sanacijskog programa, trebala startati početkom 1988. godine. Proizvodni plan za 1988. godinu predviđa 185 000 tona ugljena. Uporedo s proizvodnjom nastavilo bi se proširenje jame Tupljak, odnosno stvaranje uvjeta za povećanu proizvodnju koja bi 1990. godine trebala iznositi 325 tisuća tona.

Prema obrazloženju stručnjaka, potvrđeno je da su rezerve ugljena u jami Tupljak veće od 4,5 milijuna tona, a najnovija istraživanja pokazuju da će potvrđene rezerve iznositi, vjerojatno oko 6,9 milijuna tona, možda i više.

U mjerama sanacijskog programa potrebno je otpisati dugovanje »Ugljenokopa Labin«, koje iznosi zatvaranjem »Ripende« 2,25 milijardi dinara, u protivnom to bi opterećivalo normalan rad i poslovanje jame »Tupljak«.

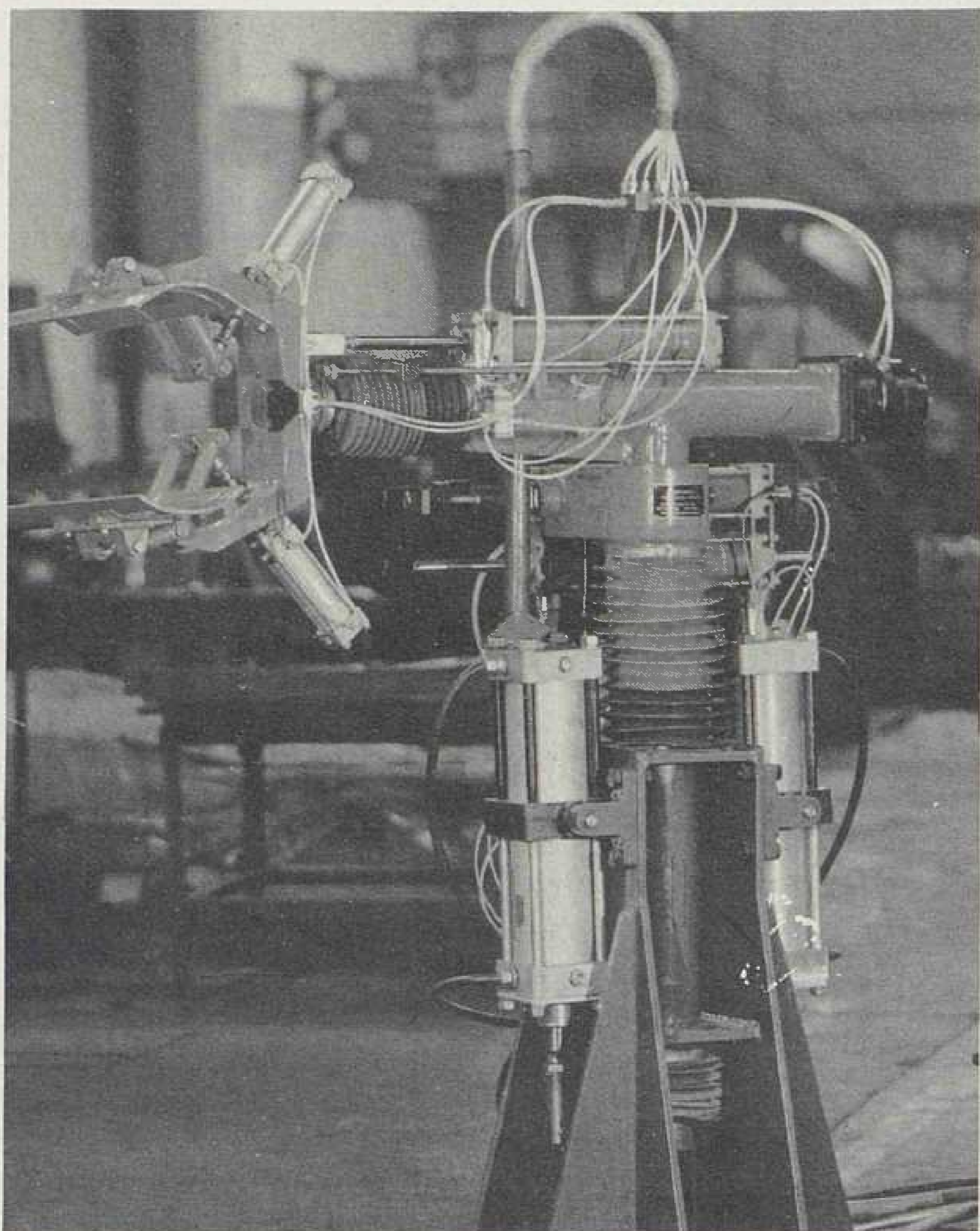
Istarski ugljenokopi Raša zaduženi su da ubrzaju aktivnost na izgradnji jame Tupljak i da što hitnije završe iskop i istražne radove na ležištu Koromačno. Prema planu do kraja travnja 1988. godine ispitivanja moraju dati ležišta Koromačno dobivanje ocjenu o mogućnosti eksploatacije tog ležišta.

I. R.

## MEĐUNARODNI SAJAM SUVREMENE ELEKTRONIKE

Tradicionalni 34. međunarodni sajam i izložba suvremene elektronike, telekomunikacija, automatizacije, robotizacije i nukleonike održan je u Ljubljani od 5. do 9. listopada





**Primjena automatizacije u elektrotehnici**

1987. godine. To je do sada najveća specijalizirana izložba te vrste na Gospodarskom razstavišću.

Rekordno učešće na toj izložbi protumačeno je vrlo dinamičnim napretkom elektronike u svijetu i činjenicom da je Jugoslavija svojim programom tehnološkog napretka na pragu novoga i dinamičnog novčanog i istraživačkog razvoja te prestrukturiranja privrede. U tome su svoje poslovne šanse vidjeli i domaći i strani proizvođači.

Od 24 izlagačke grane, najviše je ekspanata bilo s područja profesionalne elektronike u užem smislu. Ekspanate iz te grupacije prikazala je gotovo trećina svih izlagača. Na tom su području prednjačili mjerni uređaji za elektronsko testiranje, industrijska elektronika, elektronika za upravljanje i regulaciju, automatizaciju, te robotizaciju i energetsku elektroniku.

Na sajmu suvremene elektronike predstavila se gotovo sva jugoslavenska elektronska industrija.

U sklopu ovogodišnjeg sajma suvremene elektronike u Ljubljani organizirana je posebna izložba jugoslavenske robotizacije i fleksibilne automatizacije. Svoje su ekspanate izložila 22 domaća proizvođača s područja robotizacije.

Među ekspanatima prikazano je najviše podsklopova i komponenti za robotsku tehnologiju, fleksibilnih uređaja za opsluživanje, uređaja za robotizirana radna mjesta, linije i slično. Prikazani su i sami roboti. Napredak je očigledan, što potvrđuje i činjenica da se broj ekspanata u usporedbi sa 1986. godinom povećao za 32 posto. Opažena je i sve izrazitija primjena računara u robotizaciji, aplikaciji mjernih uređaja i aparata te u novim tehnologijama.

U toku sajamskih dana u Ljubljani je održano više stručnih savjetovanja i simpozija kojima je prisustvovao velik broj domaćih i stranih stručnjaka.

I. R.

## *IZ STRANE STRUČNE LITERATURE*

### **JEDINSTVENI ELEKTROENERGETSKI SISTEM — DA ILI NE**

Izgradnja jedinstvenoga elektroenergetskog sistema Sovjetskog Saveza (JEESSS) zacrtana je već u prvome sovjetskom planu o elektrifikaciji (GOELRO plan) iz 1920. godine. Ta davna težnja sovjetskih elektroenergetičara trebala bi se ostvariti u bližoj budućnosti, pa je povezivanje u JEESSS postalo vrlo akutno. Poznati sovjetski stručnjak profesor V. A. Venikov napisao je u časopisu »Električestvo«, br. 3 1987. članak o toj temi s gornjim naslovom (prikaz tog članka izišao je u »Energiji« br. 3 1987). Članak je u SSSR-u, izgleda, izazvao veliki interes, jer se u sljedećem »Električestvu« u broju 4 1987. pojavilo nekoliko polemičkih odgovora. U daljnjem tekstu dat ćemo kratak prikaz tih mišljenja.

Ščerbina J. V. smatra da se principi iznijeti u GCELRO planu u vezi sa JEESSS-om ne mogu doslovno prihvatiti, već se jedinstveni elektroenergetski sistem mora izgraditi na hijerarhičnom principu samostalnih podsistema. Pri tome treba uzeti u obzir sljedeće:

- a) Glavni aspekt problema narušavanja stabilnosti velikog sistema u cjelini slaba je međusobna veza podsistema.
- b) Elektroenergetski sistem u SSSR-u poseban je slučaj koji se ne može usporediti ni s američkim, ni s evropskim. Treba, naime, povezati mrežu dugu više od 12 tisuća kilometra, od čega je velik dio u rijetko naseljenom Sibiru.
- c) U današnjim je kompliciranim elektroenergetskim sistemima nemoguće tako programirati automatsku relejnu zaštitu da pravilno radi u svim pogonskim slučajevima i pri najrazličitijim kvarovima u sistemu, koje nikako nije moguće predvidjeti. To naročito vrijedi za sinhroni rad sistema kakav bi bio onaj od Lenjingrada do Vladivostoka. Autor to uspoređuje s golemim brodom koji se ne može zaštititi od velikih havarija. Ako se pak podsistemi povežu istosmjernim vezama, dalekovodima ili stanicama (leđa uz leđa), kvarovi bi djelovali kao na brodu s pregradama. Istosmjerne visokonaponske veze danas vrlo sigurne, što se pokazalo u svijetu, a i u dugogodišnjem pogonu istosmjernog  $\pm 400$  kV-tnog voda Volgograd-Donbas. Pri takvoj istosmjernoj vezi regulacija sna-

ge je vrlo brza, a frekvencije veza tih podsistema neovisne. To, naravno, silno olakšava intervencije dispečera.

Autor nakraju predlaže razradu triju matematičkih modela razvoja JEESSS-a, uz pretpostavku:

- a) da se u cijeloj zemlji između podsistema izrade vrlo jake trofazne veze,
- b) da se cijeli sistem opremi odgovarajućom brzom balansnom adaptivnom automatikom,
- c) da se podsistemi (15 do 25) sekcioniraju i povežu istosmjernim vezama.

Ta tri varijantna rješenja analizirala bi se na temelju ekonomskih principa.

Može se dogoditi da se ni jedna navedena varijanta ne pokaže pogodnom, ali će se dobiti barem teoretski optimalno rješenje. Takvu metodu treba zatim primijeniti na svaku konkretnu vezu podsistema zbog njihovih nejednakih geografskih i ekonomskih uvjeta. Time će se pokazati koja je veza u određenim prilikama najprikladnija.

Nesinhronne veze ni u kom slučaju ne smanjuju prednosti vezanoga jedinstvenog sistema već, naprotiv, povećavaju njegovu efikasnost. Takva veza nije ni odstupanje od jedinstvenoga operativnog i automatskog upravljanja JEESSS-om. Pri vrednovanju istosmjerne veze svakako treba uzeti u obzir prednosti jednostavne i brze regulacije toka snage i mogućnost promjene frekvencije u podsistemu.

Drugi se diskutant, D. A. Arzamescev, mnogo kritičnije odnosi prema primjeni istosmjernih veza. On smatra da se elektroenergetski sistem iznad neke kritične veličine ne može održati stabilnim i ne vidi opasnost od prevelikih struja kratkog spoja, no ti su problemi davno doveli do ideje istosmjernog povezivanja. Ponovo se iznose teškoće sinhronog rada velikog sistema, što je uradio i diskutant prije njega. D. A. Arzamascev smatra da se mnogi problemi umjesto skupim istosmjernim vezama mogu riješiti transformatorima s poprečnom regulacijom. Ako se pak može optimirati rad u podsistemu, istosmjerna je veza neekonomična. Točno je da istosmjerno vezani sistemi mogu neovisno regulirati frekvenciju, no ta se prednost može i drukčije riješiti. Dosadašnja su iskustva pokazala da sistem može stabilno raditi i zadržati pogonsku sposobnost uz postojeću automatiku. Kvarovi su većinom rezultat slabih međusistemskih veza. Tvrdnja da sistem doseže neku kritičnu veličinu s obzirom na mogućnost regulacije nema dovoljno naučnih ni praktičkih osnova. No u slučaju vrlo velikih havarija ne može se potcijeniti uloga istosmjernih veza, ali je nužno pažljivo ocijeniti mjesto i režim rada istosmjerne veze. Takva se veza, kao bitno novi element u elektroenergetskom sistemu, ne smije promatrati samo pojedinačno, već uzimajući u obzir ukupni efekt grupe istosmjernih veza. U takvom radu mogu nastati bitno nove pojave koje neće pojednostavniti već zakomplicirati neke aspekte automatike sistema.

Treći diskusionalni članak napisala su četiri stručnjaka: J. D. Barkan, Z. P. Krišan, J. F. Kuzmin i N. J. Markušević. Oni se ne zalažu direktno za jedan sistem povezivanja, ali iznose uvjete u kojima rade podsistemi u sklopu velikoga interkonektiranog energetskeg sistema. Najvažnije je da podsistemi budu energetske izbalansirani, a izvori što jednoličnije razdijeljeni. Uz velike koncentracije elektrana treba izgraditi nadsistemske veze, trofazne ili istosmjerne. U vezanome velikom sistemu neprovedivo je visokocentralizirano upravljanje. Operativno i automatsko upravljanje treba organizirati u podsistemima, a koordinacija je centralna. Pri ispadi ma vodova velike prijenosne moći ili u slučaju ispada velikih izvora istosmjerne veze ništa ne mijenjaju.

U istraživanju strategije razvitka sistema treba uspoređivati veći broj varijanata za dulje razdoblje. U istraživanjima valja primijeniti matematičke modele, naročito dinamičke.

Akutori tog članka smatraju da je pitanje razvitka energetike u zemlji vrlo aktualno. Za njegovo je rješavanje potrebno razviti metode koje obuhvaćaju energetske, tehnološke, ekonomske, ekološke i sociološke probleme, uz modeliranje proizvodnje i prijenosa. Tek se na temelju modeliranja zajedničkog djelovanja navedenih komponenata i njihove analize može govoriti o optimizaciji cijelog kompleksa.

Mrk.

## ISTRAŽIVANJA SUPRAVODLJIVOSTI U SAD

Američka će vlada u sljedeće četiri godine utrošiti 130 milijuna dolara za istraživanja supravodljivosti. Dio će dati ministarstvo obrane, ali cijela svota nije poznata. Zna se samo da za 1987. godinu ona iznosi 40 milijuna dolara. Nacionalna fundacija za nauku također će dati 10 milijuna dolara. Razmatra se mogućnost gradnje specijalnoga naučnog razvojnog centra za supravodljivost. Centar bi se izgradio u saveznoj državi New York, a za gradnju je predviđeno 50 milijuna dolara.

*Energie*, 30 (1987), br. 10

Mrk.

## VISOKA CIJENA ZAŠTITE OKOLIŠA U SR NJEMAČKOJ

Proizvođači električne energije u SR Njemačkoj investirali su 1986. u zaštitu okoliša 4,03 milijarde njemačkih maraka. To je povećanje od 48% prema prethodnoj godini. Oko polovine te svote utrošeno je za ugradnju uređaja za zaštitu okoliša u elektranama. Od 1982. u elektroprivredi je za te svrhe utrošeno ukupno 12 milijardi maraka. Ta su se ulaganja po godinama kretala ovako:

1982.	1,15	milijardi	DM
1983.	1,57	"	DM
1984.	2,53	"	DM
1985.	2,72	"	DM
1986.	4,03	"	DM

*Energie*, 39 (1987), br. 10

Mrk.

## ENERGETSKE UŠTEDE U PRIJENOSNOJ I DISTRIBUTIVNOJ MREŽI SR NJEMAČKE

Gubici u elektroenergetskoj mreži prijenosa i distribucije u SR Njemačkoj smanjili su se u 1986. godini na samo 4,7% bruto potrošene električne energije dobivene od elektroprivrede. Smatra se da je takav gubitak već na kraju fizikalnih mogućnosti. Na taj je način procentualni gubitak od 14,1% iz 1950. snižen na trećinu. Ulaganjem u mreže i transformatorske stanice gubici se od godine 1950. stalno smanjuju, što pokazuje sljedeći pregled procentualnih gubitaka u mreži prema godinama:

1950. godine	14,1%
1960.	" 8,3%
1970.	" 6,4%
1980.	" 5,4%
1986.	" 4,7%

*Elektrizitätswirtschaft* 86 (1987), br. 27

Mrk.

## ZEMNI PLIN IZ NORVEŠKE ZA KONTINENTALNU EVROPU

Dana 10. srpnja 1987. počela je dobava zemnog plina iz bušotina Gullfaks, zapadno od norveške obale. Ta je bušotina, zajedno s bušotinama Statfjord i Heimdal, dio Statpipe-Projekta, a iz njih se od listopada 1985. dobiva plin. Podmorski cjevovod dug oko 1300 km dovodi plin do sjevernonjemačkoga grada Emdena, a odatle se plinskom mrežom može transportirati u Njemačku, Belgiju, Nizozemsku i Francusku. Ukupni godišnji uvoz plina kreće se oko 3,5 milijarde m<sup>3</sup>. Naprimjer, Njemačka na taj način dobiva iz norveškog podmorja 13% potrebnoga zemnog plina.

*Elektrizitätswirtschaft* 86 (1987), br. 21

Mrk.

## ISKORIŠTAVANJE TOPLINE ZEMLJE

U dubini naftnih bušotina u gornjem dijelu doline Rajne temperatura kamena osobito je visoka. Na dubini od 1000 m iznosi oko 100°C.

Jugozapadnije, u Elzasu, na 2000 m dubine temperatura stijena iznosi 200°C. Budući da bušenje do 2000 m nije nikakva poteškoća, ta se toplotina može industrijski iskorištavati.

Ukupna snaga geotermalnih elektrana u svijetu danas iznosi oko 5000 MW. Na Filipinima npr. 25% proizvedene električne energije potječe upravo iz geotermalnih energetske izvora, a predviđa se da će se taj postotak sljedećih 10 godina povećati na 50%. U glavnom gradu Tibeta, Lasi, polovina električne energije proizvedena je na bazi topline Zemlje.

Francuski i njemački znanstvenici već oko godinu dana proučavaju tehničko-ekonomske mogućnosti iskorištavanja geotermalnih izvora. Njihov razvojni projekt obuhvaća izgradnju geotermalnog postrojenja snage 10 MW na bušotini dubokoj 1900 m. Ona se nalazi u Elzasu, kod mjesta Soultz-Pechelbronn, a koristit će se neiscrpnom toplinom suhих vrućih stijena u unutrašnjosti Zemljine kore.

Treba još napomenuti da je u Engleskoj uz pomoć Evropske zajednice izgrađen pokusni uređaj za izmjenu topline na bušotini dubokoj 2000 m. Dulje od godine dana cirkulira 35 litara vode u sekundi u pukotinama procijenjene površine veće od 1 km<sup>2</sup>. Time se toplinska energija iz dubine Zemlje dovodi na površinu, no, nažalost, temperatura stijena je samo 80°C, što je nedovoljno za industrijsku eksploataciju.

*Elektrizitätswirtschaft* 86 (1987), br. 21

Mrk.

## SERIJSKI KONDENZATORI ZA BRAZIL

Od velike hidroelektrane Itaipu, koja se nalazi na Parani, graničnoj rijeci između Brazila i Paragvaja, uz istosmjerni visokonaponski vod prema industrijskom području Sao Paulo teku i tri trofazna voda 800 kV (765 kV). Za taj trofazni prijenos brazilska je elektroprivreda naručila od švedske tvrtke ASEA osam serijskih kondenzatorskih uređaja. Vrijednost narudžbe iznosi 305 milijuna švedskih kruna. Instaliranjem tih kondenzatora ukupna će se prijenosna moć navedenih trofaznih vodova povećati sa 3300 MW na 6600 MW.

*Elektrizitätswirtschaft* 86 (1987), br. 21

Mrk.

## OPSKRBA ENERGIJOM UREĐAJA ZA ISPITIVANJE PLAZME U ŠVICARSKOJ

Uz sveučilište u Lozani (Švicarska) gradi se razvojni centar CRPP (Centre des recherches en physique des plasmas) uređaj za ispitivanje plazme nazvan TVC-Tokamak (Tokamak à configuration variabl). Ispitivanja će služiti za razvoj znanja o ponašanju plazme pri vrlo visokim temperaturama, kakve su potrebne za fuzione reaktore budućnosti.

Uređaju su za rad potrebne velike električne udarne snage koje bi bile vrlo neugodne za javnu mrežu, pa će mu biti ugrađen udarni generator. Turbogenerator će biti trofazni, maksimalne udarne snage 220 MVA, na 10 kV i 120 Hz. Neće imati zamašnjak, ali će moći akumulirati energiju od 300 MJ, koju će u kratkotrajnim udarcima predavati uređaju za održavanje i ugrijavanje plazme. Generator će proizvesti tvrtka BBC do ljeta 1989. godine.

*ETZ* 108 (1987), br. 17

Mrk.

## SUNČANA ELEKTRANA UMJESTO VIHOGRADA

U svibnju 1987. na priobalnim padinama rijeke Mosel, poznatome njemačkom vinogorju, počela je prva etapa gradnje fotovoltaične sunčane elektrane. Na površini od 50 000 m<sup>2</sup>, iznad vinograda, kod mjesta Gondorfa, treba da bude izgrađena i do kraja 1988. puštena u pogon sunčena elektrana vršne snage 300 kW. Proizvedena će se istosmjerna struja u preusmjerivaču transformirati u izmjeničnu i predavati srednjonaponskoj javnoj mreži. Elektrana će biti eksperimentalnog karaktera s ugrađenim fotovoltaičnim ćelijama različitih tipova i različitih proizvođača. Bit će ispitane različite koncepcije preusmjerivača, različite konstrukcije nosača ćelija i optimizacija kompletnog sistema. Proučavat će se ujedno i ukupni ekološki utjecaj elektrane na okoliš.

Prva etapa projekta procijenjena je na oko 13 milijuna DM. Najveći će dio troškova snosti elektroprivredno poduzeće RWE. Postoji mogućnost da se izgradi elektrana snage do 1 MW. Predviđeno je da elektrana radi dugi niz godina kako bi se stekla solidna iskustva.

Danas se smatra da se takve solarne elektrane mogu uspješno primijeniti u zemljama sa puno sunčanih dana, bez razvijene infrastrukture. Njemačka industrija želi biti konkurenta u proizvodnji kompletnih solarnih elektrana. Zato ih već danas nastoje izgraditi što više da bi stekli što bogatije iskustvo.

*Energie*, 39 (1987), br. 8

Mrk.

## PRIMJENA NOVIH SUPRAVODLJIVH MATERIJALA U ENERGETICI

Radna grupa WG 1105, CIGRE-Pariz ima zadatak da proučava generatore neklasičnog tipa, posebno kriogeneratore, da skuplja informacije o supravodljivim vodičima i njihovoj primjeni u energetske elektrotehnici. Na nedavnim skupovima navedene grupe glavni predmet rasprave bila su najnovija otkrića supravodljivih materijala s povišenom kritičnom temperaturom. Posebna je pažnja pridana keramičkome materijalu YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> (intrij-barij-bakarni oksid)\* i mogućnosti njegove upotrebe u proizvodnji kriogenih kabela i generatorskih namota.

\* O novim supravodljivim materijalima vidi: *Energija*, 36 (1987), br. 6, članak »Supravodljivost danas«.

Y Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> keramički je materijal koji se kao supravodljivi vodič može upotrebljavati kao sloj nanesen na metalnu vrpcu. Osnovna mu je prednost to što postaje supravodljiv na temperaturi između 90 i 100 K. Prema tome, dok se do danas upotrebljavani suprovodiči (npr. Nb<sub>3</sub> Ti, Nb<sub>3</sub> Sn) moraju hladiti tekućim helijem (4,2 K), taj se materijal može hladiti tekućim dušikom (77 K), što je golema prednost.

U sljedećoj je tablici učinjena usporedba glavnih karakteristika dosadašnjih i novih supravodljivih materijala.

#### Karakteristike nekih supravodljivih materijala

Karakteristike	Jedinica	Nb Ti	Nb <sub>3</sub> Sn	YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7</sub>
kritična temperatura	K	9,2	18,2	oko 90
rashladna temperatura	K	4,2	4,2	77
kritično magnetsko polje pri rashladnoj temperaturi	T	12	23	20-40
gustoća struje pri magn. indukciji od 5T i rashladnoj temperaturi	A/cm <sup>2</sup>	3 × 10 <sup>5</sup>	8 × 10 <sup>5</sup>	≤ 10 <sup>5</sup>

Valja istaknuti da osobine opisanoga novog materijala bitno ovise o udjelu kisika. Vrlo je velik i njegov utjecaj na kritičnu gustoću struje. Osim toga, materijal je osjetljiv na način proizvodnje, a ne zna se utjecaj starenja. Najveće su kritične gustoće struje dobivene monokristalnim slojem debljine oko 1 mm na stroncijevu titanatu (do 10<sup>5</sup> A/cm<sup>2</sup>). Međutim, mjerenja na sinterovanim primjercima, na temperaturi od 77 K, pokazala su da se kritična gustoća struje kreće od 10<sup>2</sup> do 10<sup>3</sup> A/cm<sup>2</sup>. Takve gustoće nisu prednost jer se mogu postići sa Al i Cu vodičima.

U naučnim se publikacijama mogu naći vijesti o materijalima s kojima je postignuta suprovodljivost pri još neusporedivo višim temperaturama, no stanje supravodljivosti nije bilo trajno i ni pouzdano.

Mogućnost da se supravodljivost postigne pri temperatura višim od točke ključanja tekućeg dušika (77 K) daje vrlo velike prednosti u usporedbi s hlađenjem tekućim helijem (4,2 K). One su ponajprije ekonomske, što se vidi iz sljedećeg pregleda.

	Helij	Dušik	Odnos
cijena po litri (DM)	15	0,5	30 : 1
odnos energije potrebne za hlađenje	1 : 400-500	1 : 10	40 : 1
troškovi rashladnog uređaja za kabele DM/m	3	0,2	15,1

Dušik je bitno jeftiniji od helija, a za evakuaciju (hlađenje) jedne energetske jedinice treba utrošiti samo oko deset. Termička je izolacija, naravno, mnogo jeftinija.

#### Primjena supravodljivih materijala u proizvodnji kabela

Današnji pokusni uzorci supravodljivih kabela imaju filamentirane vodiče uvaljane u bakrenu matricu, što se ne može učiniti s novim materijalima. Gustoće struje, računajući po cijelom presjeku vodiča, mogu biti 20 do 400 A/mm<sup>2</sup>, a u suprovodiču (filamentu) dosežu 10<sup>3</sup> do 10<sup>4</sup> A/mm<sup>2</sup>. Danas se još ništa ne zna o gubicima koji nastaju pri vođenju izmjenične struje 50/60 Hz novim suprovodičima. Ti bi gubici morali biti slični gubicima već uvedenih suprovodiča. Kako se zasada čini, novi materijal u obliku tankog sloja ne bi se mogao upotrijebiti za vođenje izmjenične struje.

S ekonomskog gledišta i s obzirom na mogućnost hlađenja tekućim dušikom, novi bi se suprovodiči mogli u energetici upotrijebiti za gradnju:

- kriogeneratora
- supravodljivih kabela
- supravodljivih namota različitih prigušnica.

Primjena novoga supravodljivog materijala u obliku slojeva ili filma u kabelskoj tehnici prihvatljiva je zamisao, ali je treba još ostvariti.

#### Primjena supravodljivog materijala u gradnji kriogeneratora

U mnogim zemljama svijeta — SSSR-u, Japanu i SR Njemačkoj u planu su ili konstrukciji veliki kriogeneratori snage veće od 100 MVA. Izgrađeni su i u pokusnom su radu kriogeneratori do 50 MVA u SAD, SSSR-u, Japanu i Francuskoj. Prema tome, vrlo je važno ispitati utjecaj novih materijala na razvoj takvih generatora. No da se mogu primijeniti, novi bi materijali morali imati sljedeće karakteristike:

- mogućnost opterećenja velikom gustoćom struje, od 10<sup>4</sup> A/cm<sup>2</sup> i više, u jakom magnetskom polju
- da pri toku izmjenične struje ima najviše toliko gubitka koliko ima upotrebljavani suprovodič NbTi
- da postoji mogućnost da se proizvedu u pogodnim oblicima dovoljne duljine, potrebnih mehaničkih osobina (elastičnost), pogodnih za gradnju namota.

Tek u navedenim uvjetima moći će se iskoristiti prednosti mogućnosti hlađenja tekućim dušikom. Te bi prednosti morale biti ove:

- smanjenje troškova rashladnih uređaja za približno 10%
- smanjenje snage potrebne da se namoti drže na potrebnoj niskoj temperaturi
- pojednostavnjenje toplinske izolacije
- povećanje marže termičke sigurnosti.

Rezultat toga bilo bi povećanje pouzdanosti kriogenih strojeva i ubrzanje primjene.

Takav bi tip strojeva ekonomski postao konkurentan klasičnima, a bio bi primjenjiv i za manje jedinice. Moglo bi se reći da prijelaz na hlađenje tekućim dušikom daje mogućnost da se gradnja klasičnih generatora svih snaga zamijeni kriogenima. Poboljšanja bi se očitovala u:

- troškovima
- pouzdanosti
- proširenju područja primjene.

Razvoj kriostrojeva postao bi privlačniji nego ikada prije. *Electra* 1987, No 114

Mrk.

## NOVE KNJIGE

### **Schauer L, Reissmann A.: BETRIEBEN ELEKTROTECHNISCHER ANLAGEN**

*Izdavač:* VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie,  
Leipzig

Format 16,5 × 23,5 cm, tvrdoukoričeno, 325 stranica, 165  
slika; cijena 20 DM

Knjiga je namijenjena ovlaštenim rukovaocima rasklopnih postrojenja u elektroprivredi i industriji, a može vrlo dobro poslužiti svima kojima su potrebna znanja i upute o pogonu i rukovanju takvim postrojenjima. Materija se temelji na TGL-propisima DR Njemačke sa stanjem iz 1985, a podijeljena je na sedam poglavlja.

U prvom su poglavlju iznesena najnužnija znanja iz osnova elektrotehnike (Ohmov i Kirchhoffov zakon, trofazni strujni krug itd.). U sljedećem su poglavlju objašnjeni simboli uklopnih shema te njihovo sastavljanje i čitanje. U trećem su poglavlju opisani različiti tipovi rasklopnih postrojenja prema njihovoj namjeni, kao i njihovi elementi (prekidači, rastavljači, transformatori itd). O pravilima rada u postrojenju govori 5. poglavlje.

Obuhvaćena je organizacija radnih ekipa, pitanje odgovornosti, zaštita pri radu, osiguranje i kontrola beznaponskog stanja, radovi u blizini dijelova pod naponom, rad pod naponom i način kontrole prilikom kvara. Zaštita od požara sadržana je u 6. poglavlju. Opisani su materijali s obzirom na njihovu zapaljivost, nači i postupak pri gašenju, uređaji za gašenje te alarmiranje i spasavanje. U posljednjem se poglavlju govori o nesrećama i prvoj pomoći pri udaru električne struje.

Kao što se iz navedenog sadržaja vidi, knjiga obuhvaća sve što je u praksi potrebno znati o radu i pogonu rasklopnih postrojenja. Materija je vrlo pregledno i sistematski složena pa može služiti kao vrlo koristan praktični podsjetnik i visokostručnim kadrovima. No pritom treba imati na umu da se, kako je već rečeno, iznesena pravila i upute osnivaju na TGL-propisima koji vrijede u DR Njemačkoj.

Mrk.

### **Merker P. Günter: KONVEKTIVE WÄRMEÜBERTRAGUNG**

*Izdavač:* Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York,  
London, Paris, Tokyo, 1987.

Format 15,5 × 23,5 cm, broširano, 410 stranica, 175 slika i  
27 tablica; cijena 88 DM

Knjiga obrađuje konvekcioni prijenos topline pri laminarnim i turbulentnim strujanjima te prisilnu i slobodnu konvekciju. Namijenjena je studentima i inženjerima strojarstva, kemijskog inženjerstva, energetike i elektrotehnike, koncipirana kao udžbenik. Osim čistih osnova, u knjizi su dane i praktične formule te pokazani putovi kojima se do njih dolazi.

Knjiga je podijeljena na tri dijela s ukupno deset poglavlja. Na početku je dan uvod o osnovnim pojmovima iz materije koja se obrađuje i povijesni pregled razvoja nauke o toplini. Prvi dio ima četiri poglavlja, a obrađuje osnovne relacije

termofluidne dinamike. Obrađen je prijenos energije u fluidima, turbulentni i impulsni prijenos topline, uloga graničnog sloja pri strujanju i zakon sličnosti pri prijenosu topline.

U drugom dijelu, koji također ima četiri poglavlja, obuhvaćeni su problemi pri laminarnom strujanju u kanalu i turbulentnom strujanju u cijevima. Razmotren je prijelaz topline na ravnoj ploči i pri strujanju oko cilindričnog tijela.

Treći se dio, od tri poglavlja, bavi slobodnom konvekcijom. Promatra se prijenos topline na vertikalnoj ploči, zatim prijenos topline pri slobodnoj konvekciji prilikom optjecanja tijela i, konačno, slobodna konvekcija u posudama (spremicima).

Na kraju je dodatak u kojem se objašnjavaju pojmovi gradijenta, divergencije i rotacije te termičkih jednadžbi stanja. Kao što je u takvoj vrsti knjiga uobičajeno, dodan je opširni popis literature.

### **ZBORNİK SEMINARA O DRVENIM DALEKOVODNIM STUPOVIMA**

*Izdavač:* Institut za elektroprivredu u Zagrebu i Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb, 1987; 116 stranica, 11 slika, 17 dijagrama, 22 tablice, format 29 × 20,5 cm, meko ukoričeno. Cijena 25.000.-dinarara

Ovaj Zbornik nastao je kao rezultat gostovanja u našoj zemlji poznatog australskog znanstvenika našeg porijekla prof. dr. Mat Darvenize i njegovih predavanja u Zagrebu, Dubrovniku i Splitu. Uz suradnju Fakulteta za elektrotehniku, strojarstvo i brodogranju te uz pomoć »Elektrodalmacije« Split održan je u Splitu 16. i 17. lipnja 1986. godine seminar »Utjecaj okoline na razdjelne transformatore i vodove na drvenim stupovima«. Glavni predavač je bio prof. Darveniza, australski akademik, koji je jedan od najcijenjenijih stručnjaka za pitanja visokonaponske tehnike i pozivni profesor na mnogim svjetskim univerzitetima. Uz njega su na seminaru nastupili i naši stručnjaci (Sekso, Krznarić, Budanko) iznoseći naše poteškoće iz prakse s izgaranjem drvenih stupova izazvanih povećanim kliznim strujama u zoni jakog primorskog zagađenja ili udarima groma u vod, kao i naše poglede na pitanja izolacije takvih vodova. Navedene poteškoće prof. Darveniza uspješno rješava u Australiji i o tome je dao opširan prikaz u svojim predavanjima, u odgovorima na brojna pitanja sudionika seminara (prisutno ih je bilo više od 80) i prikazivanjem dokumentarnog filma o istraživanjima u toj oblasti.

Ocjenjujući seminar vrlo uspješnim i stručno korisnim organizatori su odlučili izdati zbornik predavanja kao i donešenih zaključaka o daljnjim aktivnostima na tom području. U prvom članku prof. Darveniza detaljno opisuje električna svojstva kombinacija drvo-izolator, a zatim svojstvo drva da gasi luk nakon udara groma. Na temelju toga daju se principi i upute za projektiranje grmljavinski otpornih vodova na drvenim stupovima, pri čemu značajnu ulogu imaju različiti zaštitni uređaji (prsteni, zaštitne elektrode i sl.) kao i neki autorovi patenti specijalnih zaštitnih uređaja (tzv. darvertera). U drugom članku prof. Darveniza sa suradnikom iz australske elektrodistribucije daje prikaz suvremene prenaponske zaštite distributivnih transformatora

od atmosferskih prenapona sa statističkim prikazom značajnog smanjenja nivoa grmljavinskih kvarova. U radovima naših autora dani su principi izbora izolacije za drvene distributivne vodove izložene zagađenoj atmosferi, kao i pregled inozemnih radova o izolacijskom nivou drvenih stupova i o tehnološkoj zaštiti drva za dalekovodne stupove.

Zbornik je bogato opremljen priložima, te daje opširnu bibliografiju (ukupno 44 rada) iz ove oblasti. Kod nas predstav-

lja jedinstvenu publikaciju posvećenu primjeni drva u distributivnim mrežama i kao takav može biti vrlo koristan pri uvođenju novih metoda projektiranja, te u zaštiti vodova i transformatora u eksploataciji. Zainteresirani za Zbornik mogu se obratiti Institutu za elektroprivredu u Zagrebu, koji raspolaže određenim brojem primjeraka.

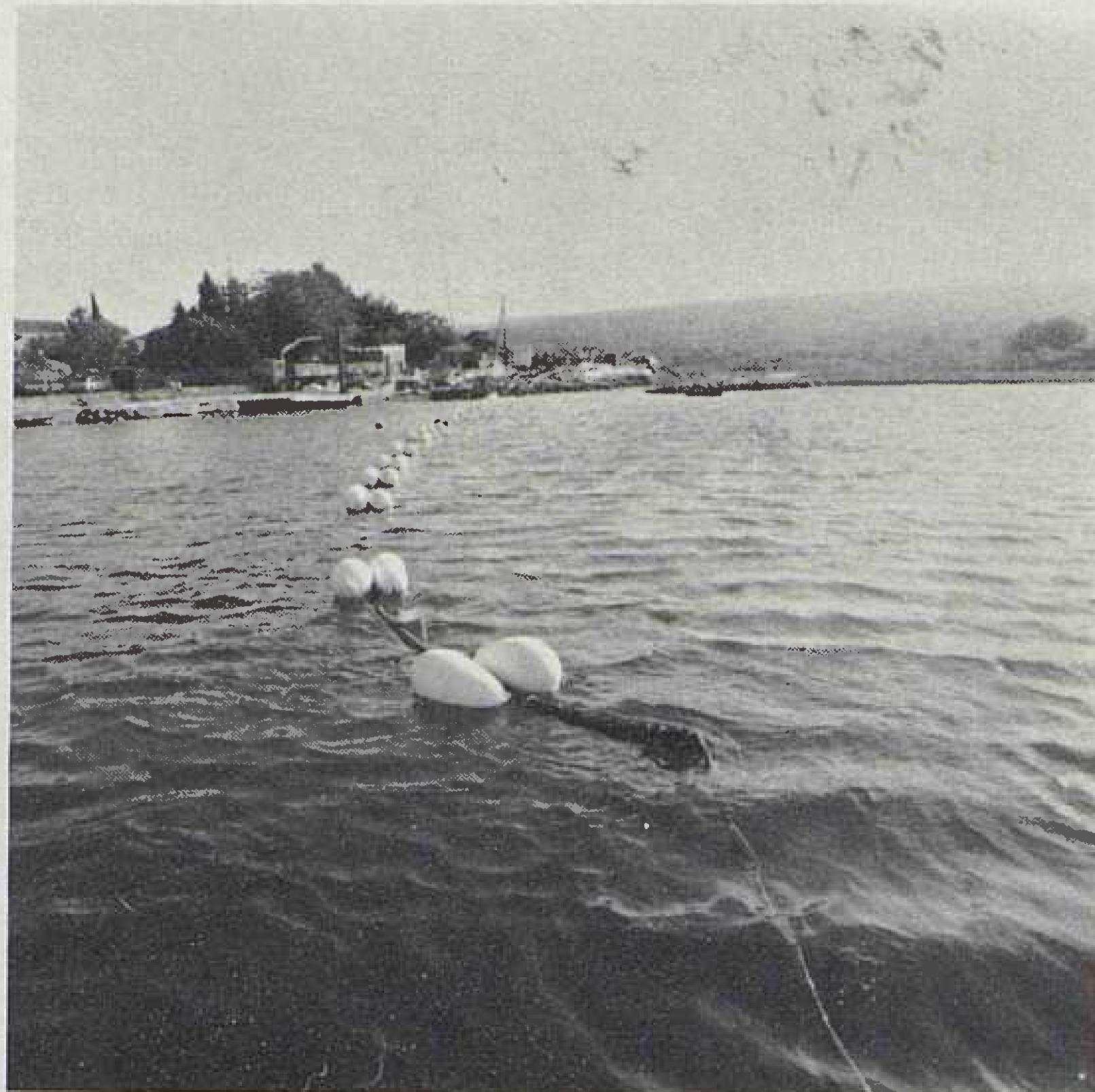
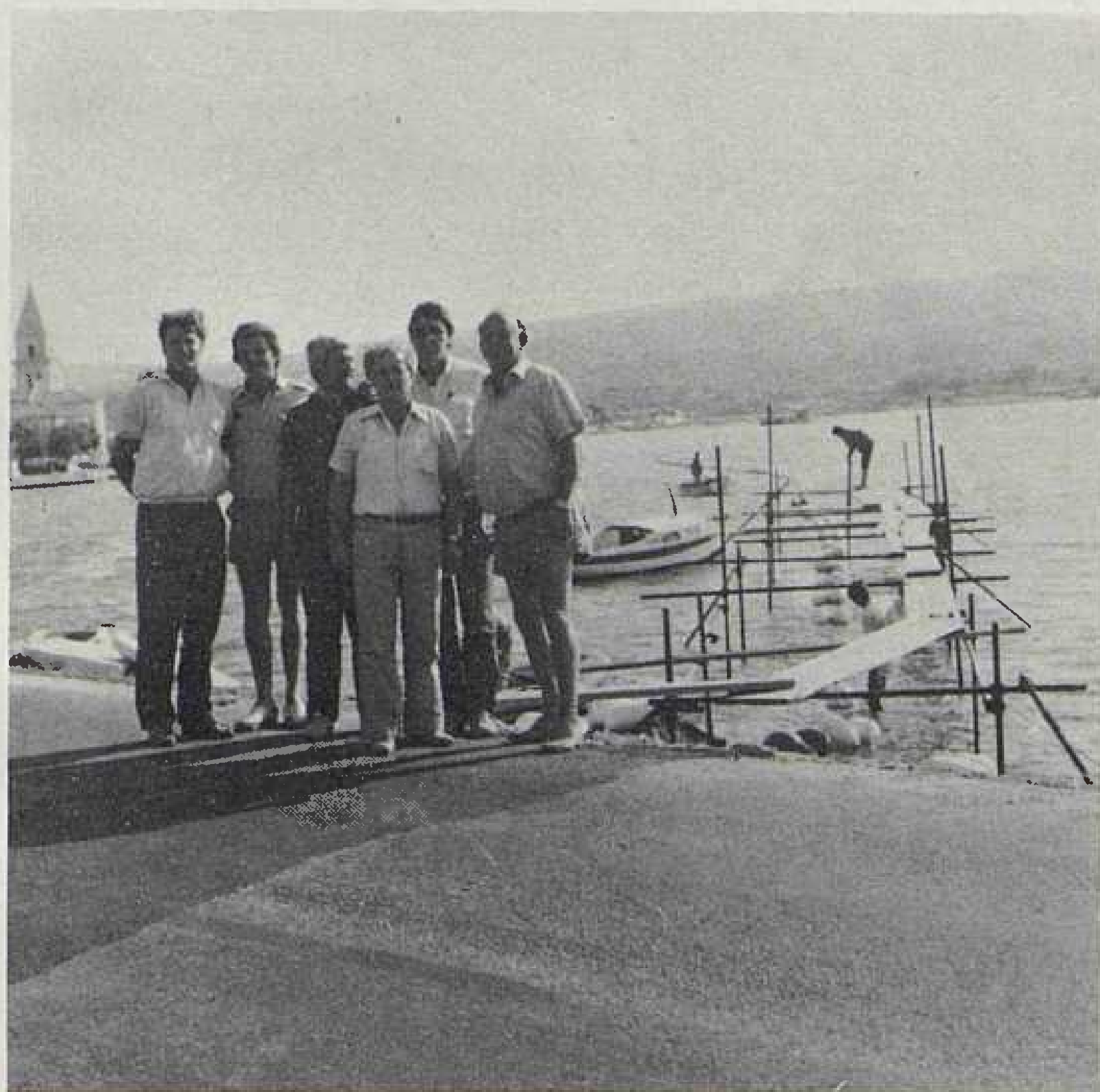
A. S.



**elektrolux - rijeka**

**ELEKTROTEHNIČKA RADNA ORGANIZACIJA**  
RIJEKA — ULICA ĐURE STRUGARA b b  
TELEGRAM: ELEKTROLUX — TELEFON: 516-333  
TELEX: 24374 YU ELUX

SVOJE POSLOVNE PARTNERE OBAVJEŠTAVAMO DA SMO SA »ELEKTROPRI-VREDOM« RIJEKA SKLOPILI UGOVOR NA MONTAŽI I POLAGANJU PODMORSKOG KABELA 110 kV NA LOKACIJI OSOR, POVEZIVANJE OTOKA CRES — LOŠINJ.



U ZAJEDNIČKOM PAKET-ARANŽMANU SUDJELUJU

- **I. K. S.** — SVETUZAREVO KAO PROIZVOĐAČ KABELA I KABELSKOG Pribora
- **ELEKTROPROMET** — ZAGREB KAO VELETRGOVINA — ISPORUČILAC
- **ELEKTROLUX RIJEKA** KAO IZVOĐAČ RADOVA NA MONTAŽI I POLAGANJU KABELA

**RO ELEKTROLUX**



## „MONTER“

Radna organizacija za projektiranje, inženjering poslove, proizvodnju, montažu u industriji i postavljanje svih vrsta instalacija u građevinarstvu, s neograničenom solidarnom odgovornošću OOUR-a

41000 Zagreb N. Demonje 4  
Telefon 041/571-866  
Telegram Monter  
Telex 21433 Yu Monter

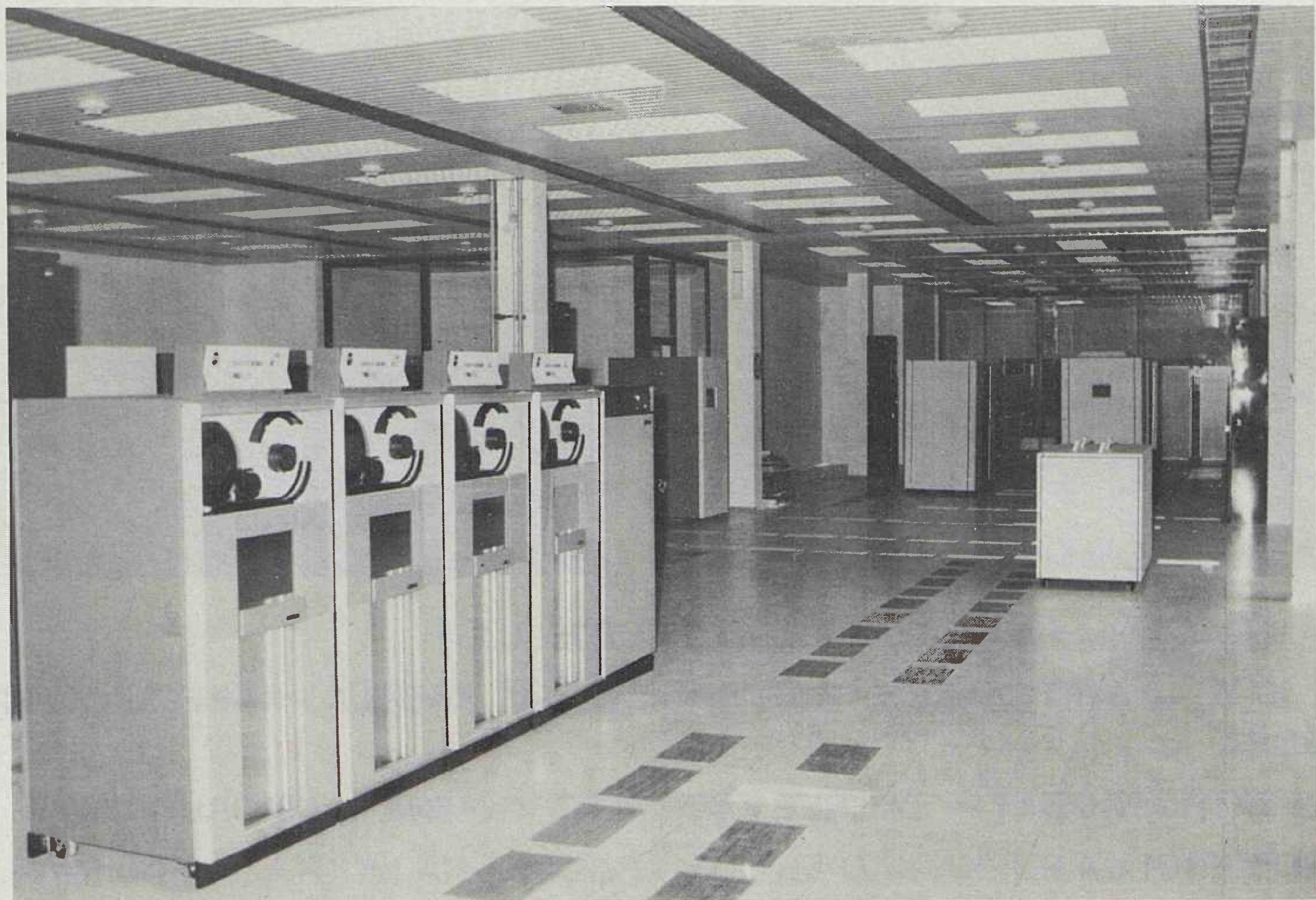
### SPONZOR-SUORGANIZATOR UNIVERZIJADE '87

ZAGREB  
JUGOSLAVIJA



RO »Monter« izvodi sve montažne radove i projektiranja na području hidromontaže, elektrike, automatike, grijanja i hlađenja, montaže opreme i cijelih procesa u industriji, cjevovode, čelične konstrukcije, rezervoare i slično.

Iz godine u godinu RO »Monter« Zagreb sa 4.500 zaposlenih radnika bilježi sve zapaženije rezultate i danas je jedan od najvećih montažerskih kolektiva u Jugoslaviji, a poznat je i cijenjen u Alžiru, Austriji, Čehoslovačkoj, DDR, Libiji, Mađarskoj, SR Njemačkoj, Poljskoj, Sudanu i SSSR-u — zemljama u kojima već 20 godina s puno uspjeha izvodi sve vrste radova.



CAOP Zagreb — instalaterske radove izvodili radnici Montera

IZDAVAČI

Godište 37 (1988)

Zagreb 1988

Br. 2

Zajednica elektroprivrednih  
organizacija Hrvatske  
Institut za elektroprivredu, Zagreb  
SIZ za znanstveni rad Hrvatske

## SADRŽAJ

<i>Topić J. — Pešut D. — Staničić L.:</i> Analiza potrošnje energije u Jugoslaviji i SR Hrvatskoj (Prethodno saopćenje) . . . . .	91
<i>Jelavić V.:</i> Komparativna analiza računskih modela disperzije polutanata iz točkastih izvora onečišćenja (Pregledni rad) . . . . .	105
<i>Žutobradić S. — Delbianco L.:</i> Doprinos analizi unutrašnjih prenapona u rezistantno uzemljenim razdjelnim mrežama (Originalni znanstveni rad) . . . . .	119
<i>Mahmutćehajić R. — Hajdin S.:</i> Osvrt na povijest razvoja i primjene visokonaponskih pneumatskih prekidača (Stručni rad) . . . . .	127
<i>Kalea M.:</i> Neki aspekti prijenosne mreže Mađarske i Čehoslovačke u vezi s tipizacijom dalekovoda 110 kV (Stručni rad) . . . . .	135
<i>Naumovski I.:</i> Zahtjevi kojima mora udovoljiti visokonaponska oprema u uvjetima potresa (Pregledni rad) . . . . .	143
<b>Vijesti iz elektroprivrede</b> . . . . .	149
<b>Iz strane stručne literature</b> . . . . .	152
<b>Nove knjige</b> . . . . .	154
<b>Oglasi</b> . . . . .	155

## IZDAVAČKI SAVJET

Dr Ivo Hrs, dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Zagreb —  
Josip Antić, dipl. inž., »Elektroprimorje« Rijeka — Anđelko  
Modrčin, dipl. inž., »Elektroprivreda« Rijeka — Anđelko  
Dujmović, dipl. inž., »Elektroslovanija« Osijek — Dragutin  
Stanić, dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Split — mr  
Damir Subašić, dipl. ecc., Republički komitet za energetiku  
— Zdenka Jelić, prof., Institut za elektroprivredu, Zagreb —  
Mladen Zeljko, dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Za-  
greb

## UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: dr Zorko Cvetković, dipl. inž.  
Urednik: Zdenka Jelić, prof.

Urednici rubrika: »Energetski sistemi«, Nikola Bilčar, dipl.  
inž. — »Hidroelektrane«, Krunoslav Begović, dipl. inž. —  
»Termoelektrane i Toplane«, Mladen Nadinić, dipl. inž. —  
Prijenos električne energije, Zdenko Tonković, dipl. inž.,  
Zagreb — »Razvod, distribucija i potrošnja električne ener-  
gije«, Josip Antić i Mladen Ježić, dipl. inž., — »Ekonomika  
elektroprivrednih poduzeća, ekonomskofinancijska i tarif-  
na pitanja, te ekonomika poslovanja«, dr Jure Šimović, dipl.  
oec. i Željko Vodopija, dipl. oec. — Tehnički urednik:  
Branko Mališ — Lektor: Vladimir Strojny, prof. — Metro-  
loška recenzija: Mladen Zeljko, dipl. inž.

Časopis je oslobođen plaćanja poreza na promet rješenjem  
Republičkog sekretarijata za prosvjetu, kulturu i fizičku kul-  
turu SR Hrvatske broj 886/1-1979.

## Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica Proleterskih brigada 37

Pošt. pretinac 293, telefoni 511-455, 513-822 (328)

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 6000  
dinara, a za poduzeća i ustanove 24000 dinara (za studente 3000) di-  
nara. Cijena pojedinog broja u prodaji 4000.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

Institut za elektroprivredu (za »Energiju«) broj 30101-603-565

Tisak i klišej: RO »Zrinski« TIZ, Čakovec



# ENERGETIKA

Sulzer-inženjering i ostale usluge zasnivaju se na širokoj ponudi strojeva i dijelova opreme za proizvodnju, pretvorbu i raspodjelu energije.

Evo nekoliko podataka:

## Parni kotlovi i izmjenjivači topline

Više jednocjevnih parnih kotlova za pet termoelektrana u Jugoslaviji.

## Dizel motori

Dizel-električna centrala sa četiri Sulzer-motora (65 MWe) u Abu Dhabi.

## Plinske turbine

20 MW plinska turbina za I.C.I., Velika Britanija. Naš koncept plinskih turbina za industriju ukazuje na nove putove.

## Proizvodnja električne i toplinske energije

① Kombinirana električna centrala s plinsko/parnim turbinama u Maleziji.  
Gorivo: zemni plin na licu mjesta.

## Toplinske pumpe

② Sulzer-velika toplinska pumpa (7100 KW) za daljinsko grijanje u Kiel-u. Postrojenje je stavljeno u pogon 1986. To je najveće postrojenje te vrste u Saveznoj Republici Njemačkoj.

## Vodne turbine

③ Jedan od Escher Wyss-Pelton-ovih rotora za električnu centralu Cat Arm, Kanada, s jediničnim učinkom 70 MW i s visinskom razlikom 386 m.

## Komponente za nuklearne elektrane

④ Završni radovi u jednoj od švicarskih nuklearnih centrala.

## Ventili

⑤ Visokotlačni sigurnosni ventili za termocentralu.

## Pumpe

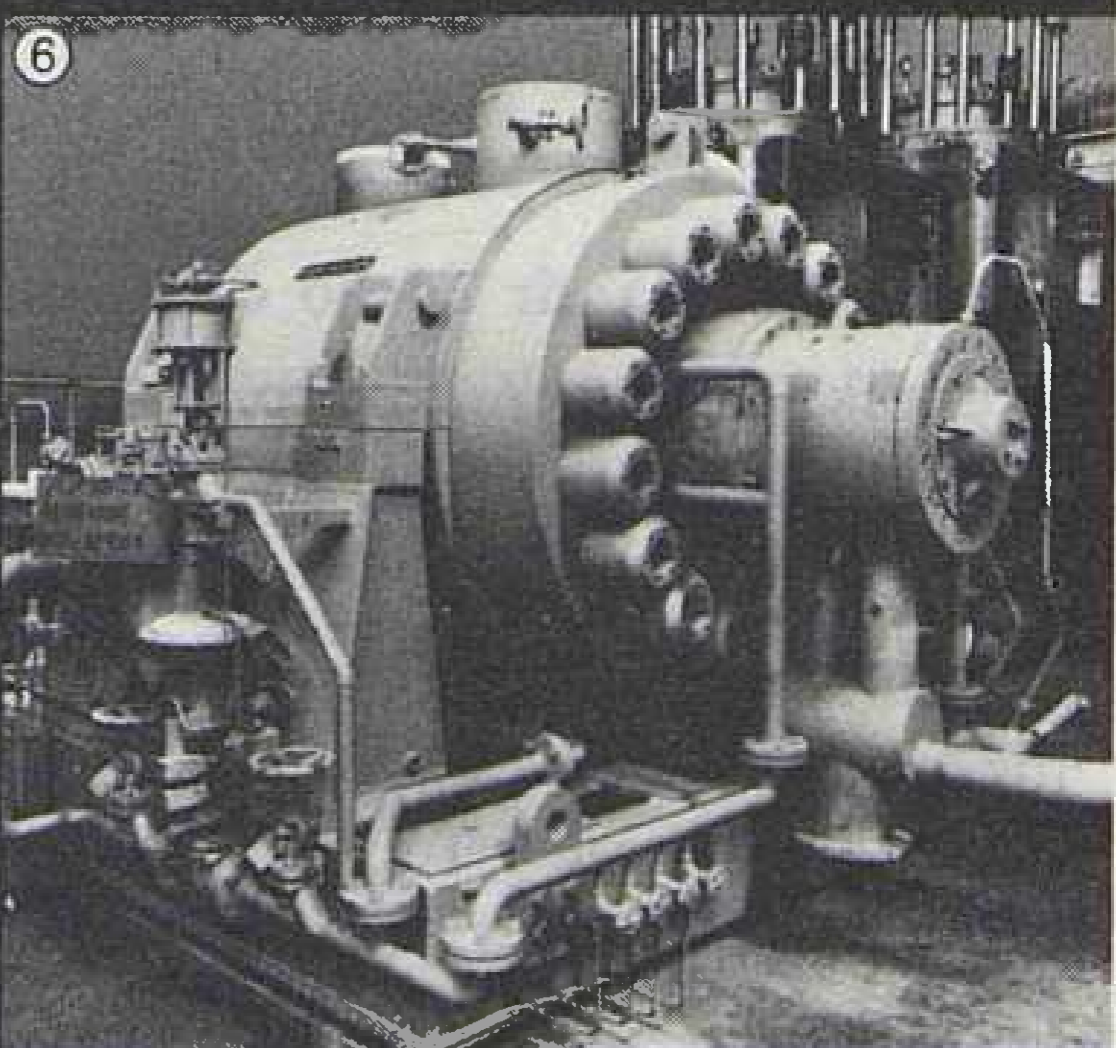
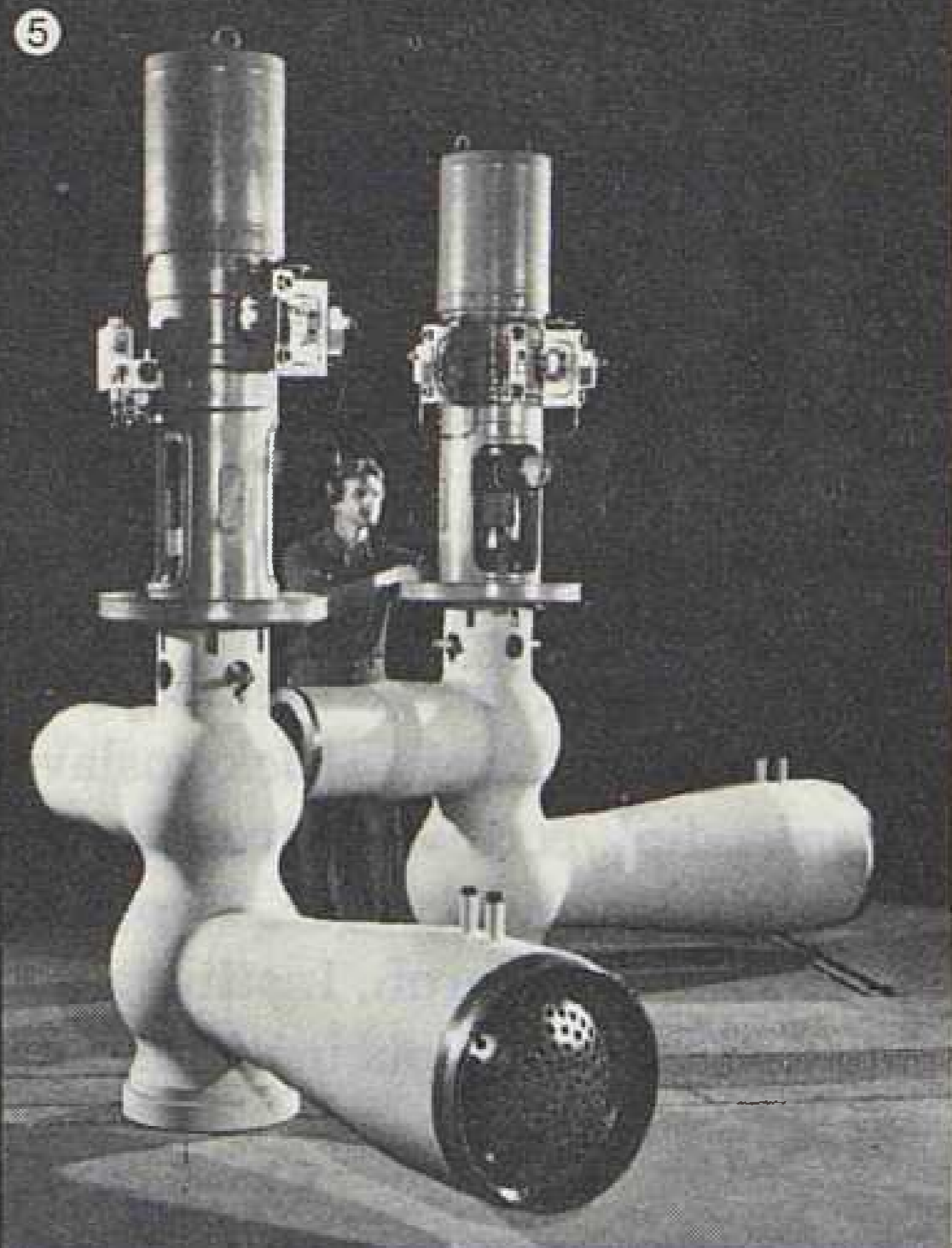
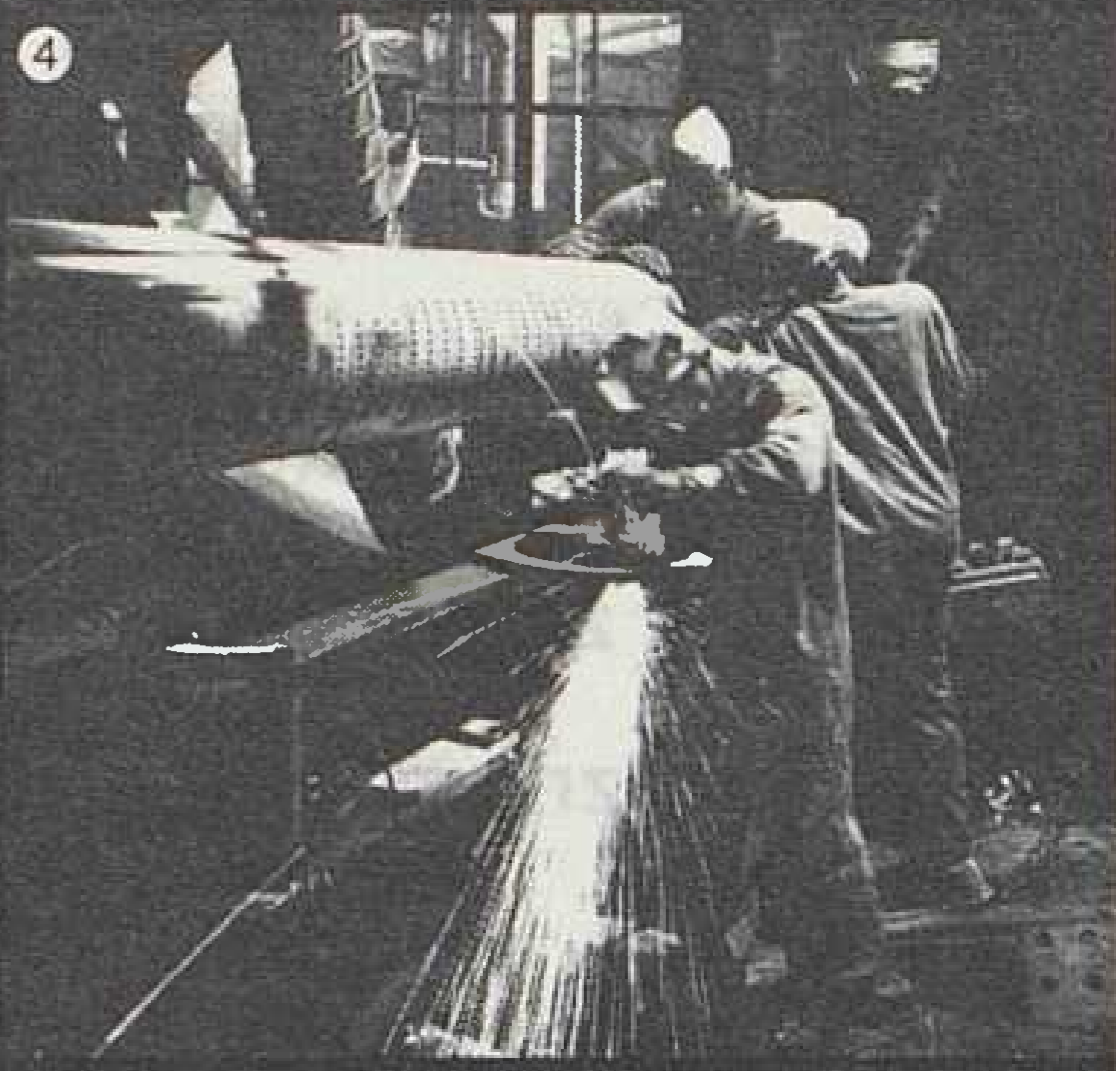
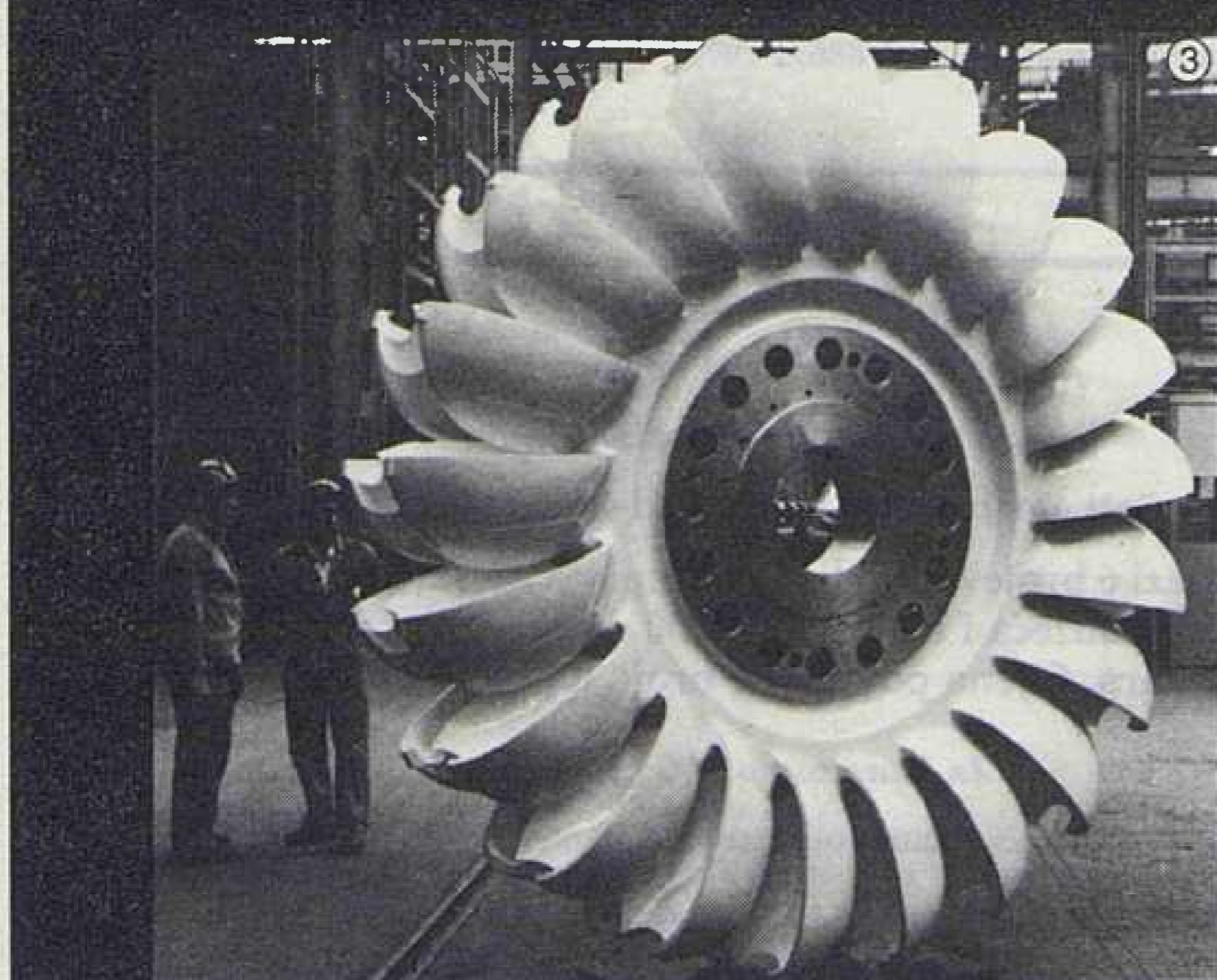
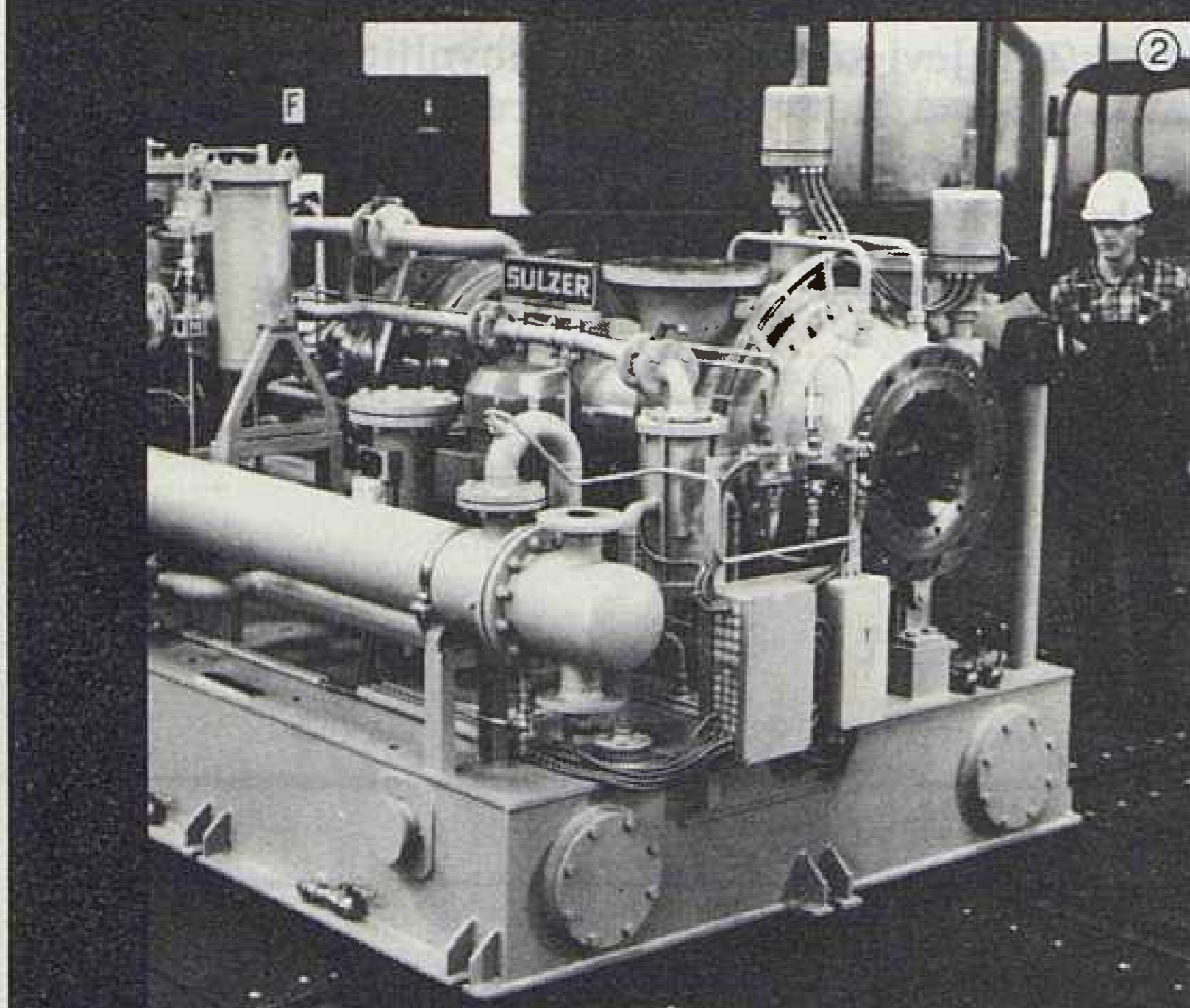
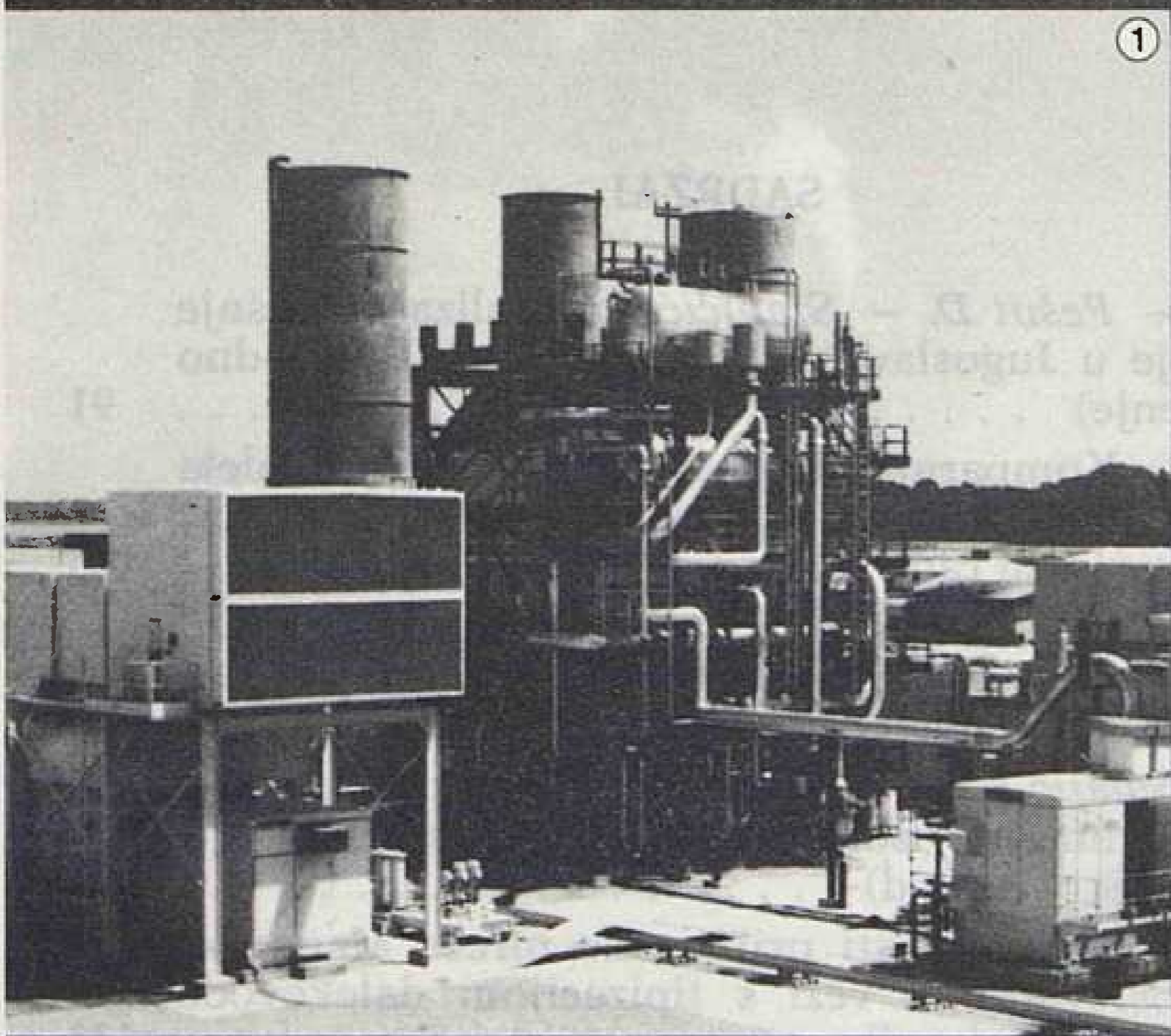
⑥ Kotlovska napojna pumpa za 600 MW-termoelektranu u Nizozemskoj.

## Sistemi za upravljanje i reguliranje

Preko 200 elektronskih sistema regulira rad turbina u hidrocentralama širom svijeta.

# SULZER®

Gebrüder Sulzer Aktiengesellschaft  
8401 Winterthur  
Telefon 052-8111 22  
Telex 896 060



# ANALIZA POTROŠNJE ENERGIJE U JUGOSLAVIJI I SR HRVATSKOJ

Mr. Jakša Topić — mr. Damir Pešut — mr. Luka Staničić, Zagreb

UDK 64.032:620.9

PRETHODNO SAOPĆENJE

Ukupna finalna potrošnja energije i potrošnja energije u domaćinstvima u Jugoslaviji i SR Hrvatskoj uspoređivana je s odgovarajućim potrošnjama petnaest odabranih zemalja. Na osnovi dinamike razvoja strukture i potrošnje pojedinih energenata, specifične potrošnje energije po jedinici društvenog proizvoda i stanovniku, te na temelju kretanja elastičnosti potrošnje i cijene pojedinih energenata, izvode se zaključci o dosadašnjem razvoju finalne potrošnje energije i potrošnje energije u domaćinstvima u nas u razdoblju od 1970. do 1984. godine.

**Ključne riječi:** energija, finalna potrošnja, potrošnja domaćinstava, društveni proizvod, cijena energenta.

## I dio: KRETANJE POTROŠNJE FINALNE ENERGIJE I ENERGIJE U DOMAĆINSTVIMA

### 1. UVOD

Racionalno iskorištavanje energije zbog poznatih energetske i ekonomskih razloga posljednjih godina u svijetu i u našoj zemlji dobiva sve veće značenje. Svi zahvati koji se u tome poduzimaju temelje se ponajprije na rezultatima analiza iznosa i karakteristika potrošnje energije određenog područja.

Dosadašnje analize, bazirane na najagregatnijim pokazateljima potrošnje energije u Jugoslaviji i SR Hrvatskoj, pokazuju da potrošnja nije racionalna, da je neusklađena s materijalnim mogućnostima zemlje i da, naročito u jednom sektoru potrošnje — u domaćinstvima, postoji mogućnost smanjenja potrošnje energije.

S obzirom na to da te tvrdnje nisu temeljene na sveobuhvatnim analizama u energetske i ekonomskom smislu, u prvom i drugom dijelu ovog rada prikazat ćemo rezultate detaljnije analize kretanja potrošnje te razinu korištenja pojedinog oblika energije u SR Hrvatskoj za toplinske i netoplinske svrhe.

Dobiveni se rezultati smatraju samo dijelom ukupnih istraživanja koja treba provesti da bi se donijele određene odluke u području energetske politike s obzirom na to da se optimalno rješenje dobiva usklađivanjem potrošnje energije u svim sektorima potrošnje.

### 2. RAZVOJ I STRUKTURA UKUPNE FINALNE POTROŠNJE

Da bi se uopće mogla izvršiti analiza i usmjeravati potrošnja određenih oblika energije u pojedinim sek-

torima potrošnje, prikuplja se i obrađuje veliki broj podataka o proizvodnji, transformaciji i potrošnji pojedinih oblika energije pomoću kojih se iskazuju tokovi energije odnosno energetske bilance. Pritome se razlikuju bilance primarne energije, bilance finalne energije i bilance korisne energije.

Bilanca primarne energije obuhvaća energiju proizvedenu iz domaćih prirodnih energetske izvora i saldo uvoza i izvoza primarnih i transformiranih oblika energije.

Bilanca finalne energije obuhvaća energiju predanu potrošačima odnosno ukupnu isporuku primarne i sekundarne energije svim finalnim potrošačima te strukturu finalne potrošnje po glavnim sektorima potrošnje.

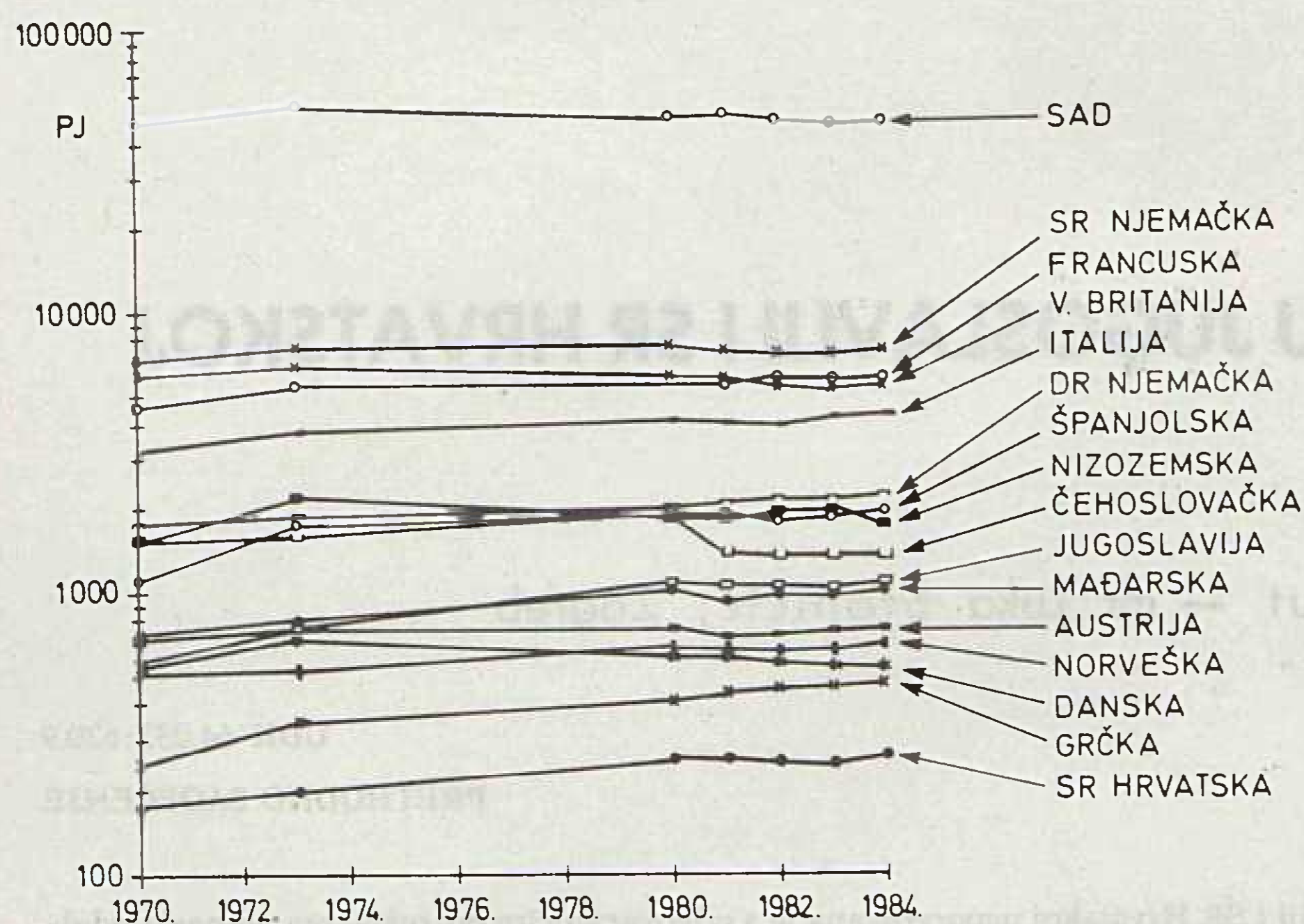
Bilanca korisne energije obuhvaća korisno utrošenu energiju kod finalnih potrošača za mehaničke, toplinske, svjetlosne i kemijske namjene, te korisnu potrošnju energije po glavnim sektorima potrošnje.

U prvom dijelu ovog rada, kojem je cilj da pokaže rezultate usporedbe ukupne finalne potrošnje i potrošnje u domaćinstvima po oblicima energije u Jugoslaviji i SR Hrvatskoj s potrošnjom u drugim zemljama, korišteni su statistički podaci o energetske bilancama 16 zemalja (Austrije, Čehoslovačke, Danske, Francuske, Grčke, Italije, Jugoslavije, Kanade, Mađarske, Nizozemske, Norveške, DR Njemačke, SR Njemačke, SAD, V. Britanije, Španjolske) i SR Hrvatske.

Uspoređivani su apsolutni iznosi finalne potrošnje i njihova struktura po pojedinim oblicima energije, brzine porasta i, konačno, uobičajeni agregatni pokazatelji energetske potrošnje kao potrošnja po jedinici društvenog proizvoda i po stanovniku.

Promatrano je razdoblje od 1970. do 1984. god. zbog poznatog rasta cijena nafte podijeljeno na tri dijela: 1970 — 1973. god.; 1973 — 1980. god. i 1980 — 1984. god.

Grafički prikaz kretanja finalne potrošnje za 16 promatranih zemalja (u logaritamskom mjerilu) dan je na sl. 1. i u tablici u DODATKU A.



Slika 1. Razvoj potrošnje finalne energije

Iz slike 1. je vidljivo da u razdoblju 1970 – 1973. god. većinu zapadnih zemalja karakterizira visok porast finalne potrošnje.

Tako je ukupna finalna potrošnja u Austriji porasla za 17%, u Francuskoj 18%, u Italiji 17%, u SR Njemačkoj 10%, u SAD 13%, a u SR Hrvatskoj i u Jugoslaviji 12%. Međutim, u razdoblju 1973 – 1980. god. u zemljama Zapada smanjuje se brzina rasta finalne potrošnje ili se apsolutno smanjuje potrošnja. U Jugoslaviji se finalna potrošnja povećava za 42% odnosno raste po prosječnoj godišnjoj stopi 5,1%, što je, uz Mađarsku, najveća zabilježena prosječna godišnja stopa porasta. U SR Hrvatskoj prosječna je godišnja stopa u tom razdoblju iznosila 3,8%.

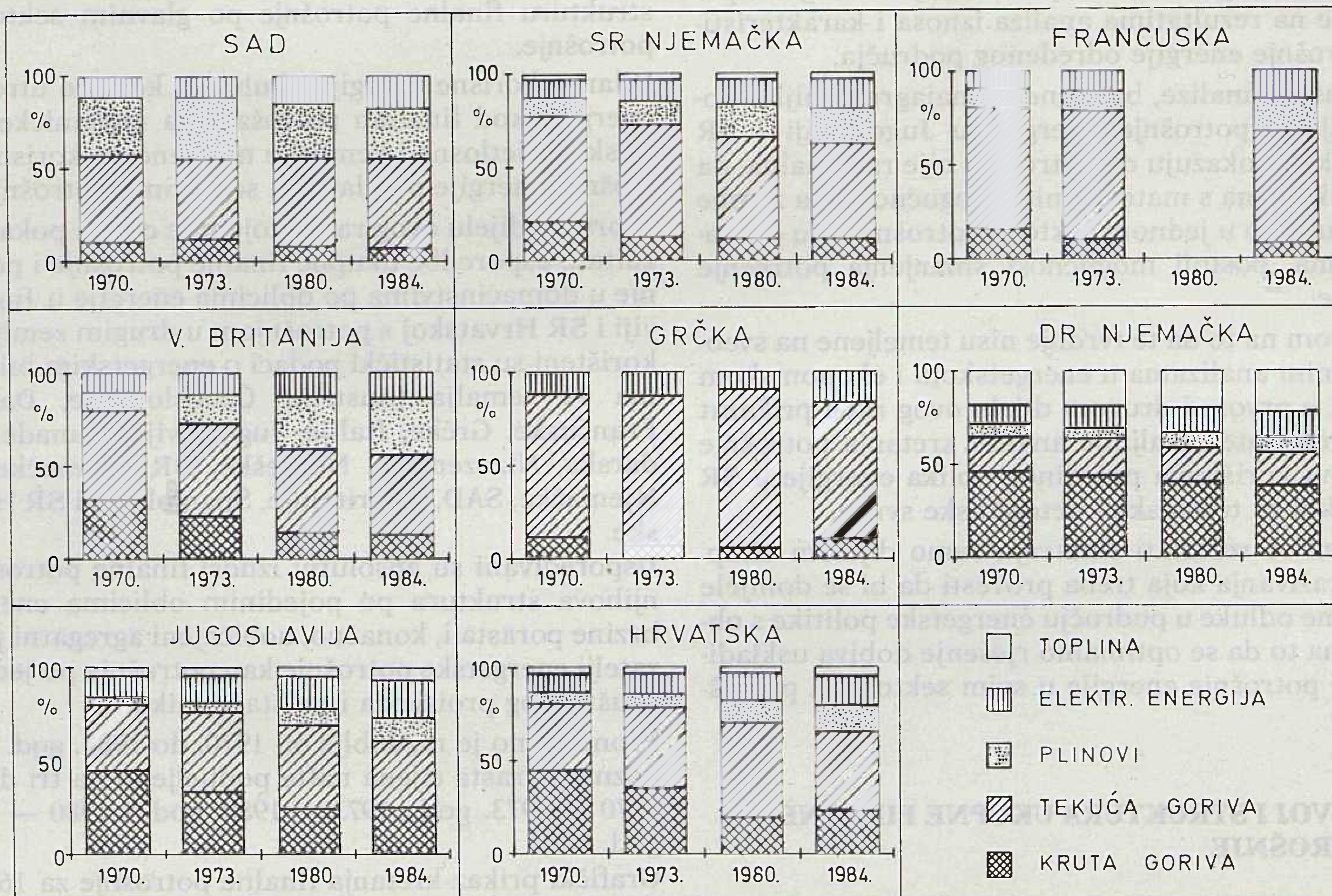
U razdoblju 1980 – 1984. god. u većini zemalja, a među njima i u Jugoslaviji, usporava se rast finalne potrošnje.

Naravno, uspoređivanje dinamike rasta potrošnje finalne energije pojedinih zemalja prema vremenskim razdobljima sa slike 1. upućuje na činjenicu da su razvijenije zemlje Zapada reagirale na naftne šokove tako da su, zahvaljujući svojim tržišnim privredama i akcijama svojih vlada, energetskom politikom programirale usporenje rasta potrošnje ili pak njezino smanjenje. Međutim, i među njima postoje bitne razlike u dinamici promjena potrošnje energije koje nisu samo odraz promjena osnovnih odrednica energetske potrošnje – društvenog proizvoda i demografskih promjena, već i niza drugih utjecajnih veličina kao što su struktura privrede, struktura energenata i njihov paritet cijena, klimatske karakteristike, navike i običaji stanovništva, te, i ne kao nebitno, razina tehnoloških i organizacijskih mjera za efikasniju upotrebu energije pri krajnjem potrošaču. (Postupak kojim se uzimaju u obzir sve te odrednice energetske potrošnje bit će prikazan u drugom dijelu ovog članka.)

Od spomenutih dodatnih odrednica energetske potrošnje iz energetske bilanci lako dostupna struktura potrošnje energije s obzirom na pojedine energente. Ona je često jedan od pokazatelja u usporednim analizama.

Na slici 2. prikazani su udjeli pojedinih oblika energije u finalnoj potrošnji za sedam zemalja i za SR Hrvatsku.

Kao što je vidljivo, 1970. god. potrošnju energije DR Njemačke (a i ostalih istočnih zemalja), V. Britanije



Slika 2. Udio potrošnje pojedinih energenata u finalnoj energiji

te, naročito, Jugoslavije i SR Hrvatske karakterizira visok udio krutih goriva. Od 1970. do 1973. god. udio krutih goriva se smanjuje i zamjenjuje energentima s većom efikasnošću upotrebe, uglavnom tekućim gorivom i plinom. Nakon 1973. god. nastavlja se pad udjela potrošnje krutih goriva u drugim zemljama, što se ne može reći za SR Hrvatsku i Jugoslaviju.

Izrazitu promjenu udjela krutih goriva imala je V. Britanija, gdje se od 1973. do 1980. godine udio sa 21% smanjio na 13%, što je, sasvim sigurno, znatno pridonijelo činjenici da je V. Britanija u tom razdoblju imala najintenzivnije smanjenje ukupne potrošnje finalne energije (za zadovoljenje jednakih toplinskih, korisnih, zahtjeva potrebno je manje tekućih ili plinovitih jedinica finalne energije nego krutih goriva jer su ona energetska efikasnija).

Udio potrošnje krutih goriva u SR Hrvatskoj u tom se razdoblju smanjio sa 35% na 19%, da bi se 1984. god. povećao na 23%. U razvijenim zemljama Zapada taj je udio uglavnom niži od 10%.

U strukturi finalne potrošnje 1970. i 1973. god. udio tekućih goriva u zapadnim zemljama kretao se oko 50% i više (1973. god. taj udio u Francuskoj iznosi 70%, u Grčkoj 81%), a u Jugoslaviji i SR Hrvatskoj iznosio je 36 odnosno 38%. Nakon naftnog šoka 1973. god., kada u zapadnim zemljama dolazi do usporenijeg porasta tekućih goriva odnosno u Austriji, Danskoj, Italiji, SR Njemačkoj, SAD i V. Britaniji do pada, tj. zamjena tekućih energenata drugima (npr. u Italiji, SR Njemačkoj plinom), Jugoslavija ostvaruje visoku stopu porasta potrošnje tekućih goriva (5,4%) i neznatno povećava njihov udio u ukupnoj potrošnji. Prosječna godišnja stopa u SR Hrvatskoj je iznosila 6,0%, a udio je sa 44% povećan na 51%. Tek se nakon 1980. god. u Jugoslaviji i SR Hrvatskoj smanjuje potrošnja tekućih goriva.

Strukturni se udio tekućih goriva u Jugoslaviji od 1980. do 1984. godine smanjuje na račun krutih goriva, električne energije i plinovitih goriva.

Udio plinovitih goriva u toku promatranog razdoblja praktički je rastao u svim promatranim zemljama, a posebno u zapadnoevropskima, gdje se 1984. godine kretao u rasponu od 20 do 30%. U Jugoslaviji je taj udio 1984. god. 13%, a u Hrvatskoj 14,5%.

Udio električne energije u ukupnoj finalnoj potrošnji 1970. god. u Jugoslaviji iznosio je oko 13% i u promatranom se razdoblju stalno povećavao (1984. god. 20%). Slična je situacija i u ostalim promatranim zemljama. Ni u jednoj se zemlji i ni u jednome promatranom razdoblju nije smanjio udio ili potrošnja električne energije, što je uvelike posljedica tehničkog napretka i činjenice da električna energija za ne toplinske potrebe nema alternative.

Međutim, iako je električna energija u Jugoslaviji 1970. god. imala visoki udio u odnosu prema drugim zemljama (oko 13% u razdoblju 1970 – 1984. god.), potrošnja je porasla za 2,5 puta odnosno ostvarena je prosječna godišnja stopa porasta 6,7%, što je poslije Grčke najveća prosječna godišnja stopa porasta u promatranim 16 zemalja. U tom je razdoblju u SR Hrvatskoj potrošnja finalne električne energije porasla za oko 2,3 puta, odnosno po stopi 6,1%.

Ovako brzo i jednostavno uspoređivanje strukture potrošnje finalne energije omogućuje vrlo korisno »orijentiranje« u strukturi potrošnje promatranog područja, ali nije dovoljno za zaključivanje. Recimo da relativno visok udio krutih goriva 23% u Austriji, tekućih 73% u Grčkoj, plinovitih 48% u Nizozemskoj ili električne energije 49% u Norveškoj u ukupnoj potrošnji finalne energije pokazuju da je pristup i zastupljenost svakog energenta u finalnoj potrošnji specifičnost svake pojedine zemlje.

### 3. POTROŠNJA FINALNE ENERGIJE PO JEDINICI DRUŠTVENOG PROIZVODA I PO STANOVNIKU

Ako se utrošena energija podijeli ostvarenim društvenim proizvodom, dobije se specifična potrošnja energije koja pokazuje potrebnu energiju za ostvarenje 1 \$ društvenog proizvoda. Ako se pak utrošena energija podijeli brojem stanovnika, dobije se specifična potrošnja koja pokazuje intenzitet upotrebe energije.

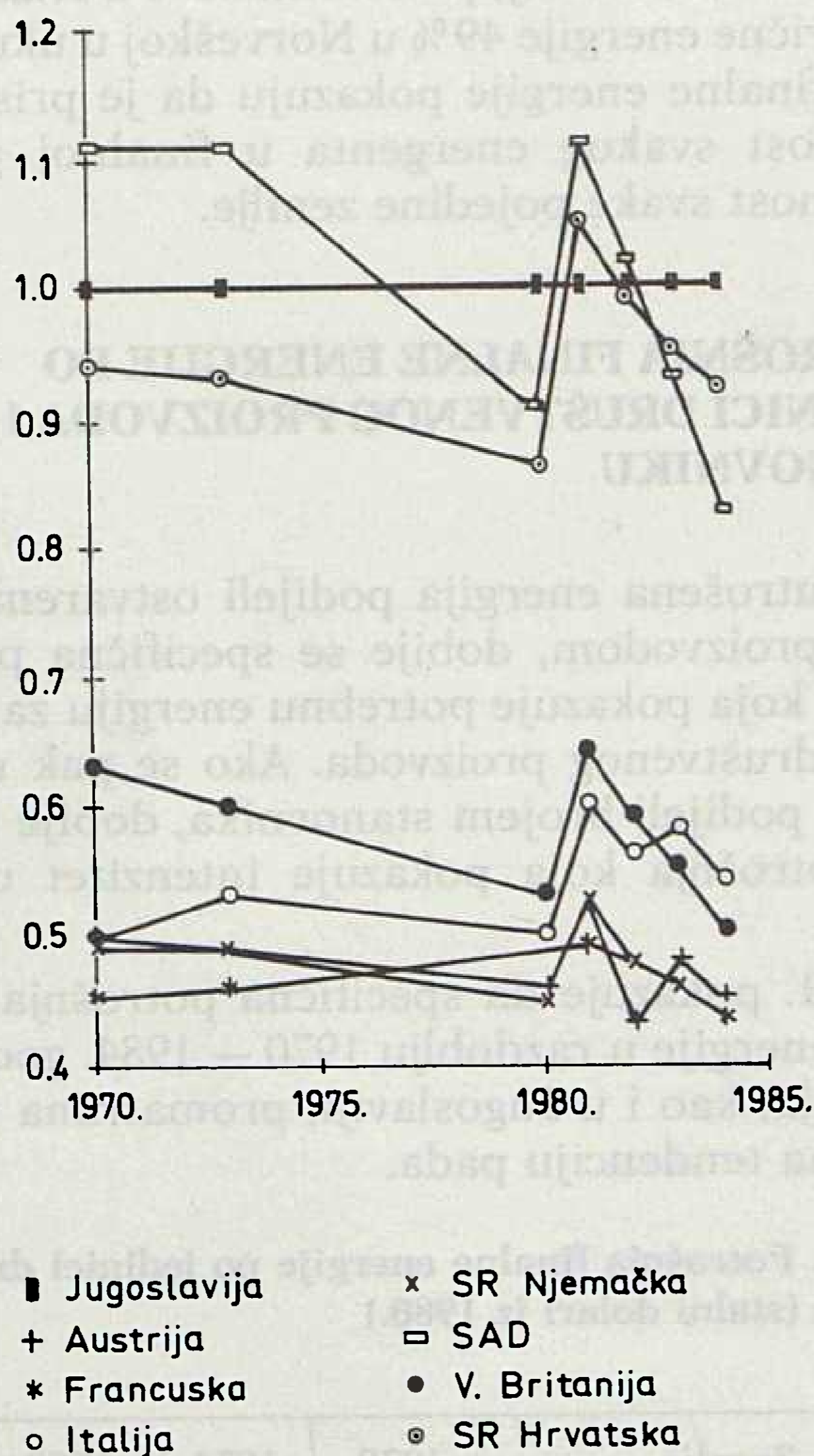
Tablica 1. pokazuje da specifična potrošnja ukupne finalne energije u razdoblju 1970 – 1984. god. u većini zemalja, kao i u Jugoslaviji, promatrana po godinama ima tendenciju pada.

Tablica 1. Potrošnja finalne energije po jedinici društvenog proizvoda (stalni dolari iz 1980.)

Zemlja	1970.	1973.	1980.	1984.
Austrija	10,67	10,68	9,44	8,84
Čehoslovačka	50,30	44,77	43,81	—
Danska	12,96	12,18	8,94	—
Francuska	9,82	9,86	—	8,39
Grčka	9,67	11,03	10,16	11,53
Italija	11,00	11,48	10,31	10,58
Jugoslavija	21,90	21,58	20,67	19,58
Kanada	—	—	23,75	19,61
Nizozemska	11,87	14,75	10,59	9,89
Norveška	13,91	12,32	10,69	10,30
DR Njemačka	29,09	26,64	20,74	19,22
SR Njemačka	10,93	10,64	9,24	8,56
SAD	24,39	23,94	18,72	16,23
V. Britanija	13,84	12,90	10,89	9,88
Španjolska	7,41	9,75	9,19	—
SR Hrvatska	20,68	20,00	17,84	17,99

Ako se odrede relativni odnosi specifične potrošnje u promatranim zemljama u usporedbi s Jugoslavijom (potrošnja u Jugoslaviji jednaka je 1), što je za neke zemlje prikazano na slici 3, vidljivo je da je specifična

potrošnja ukupne finalne energije u razvijenim zapadnim zemljama (Italiji, Francuskoj, SR Njemačkoj, Austriji, V. Britaniji) oko dva puta manja. U SAD i u istočnim zemljama specifična je potrošnja slična onoj u Jugoslaviji.



Slika 3. Relativni odnosi potrošnje finalne energije po jedinici društvenog proizvoda

Specifična potrošnja energije po jedinici društvenog proizvoda najčešće je služila kao pokazatelj efikasnosti upotrebe energije pri usporedbi s drugim zemljama. Iz takve usporedbe (sl.3) proizlazi da je u Jugoslaviji (i SR Hrvatskoj) energija upotrijebljena dva do tri puta neefikasnije nego u zemljama Zapada, a to se tumači kao nepotrebno dvostruko ili trostruko rasipanje energije. Međutim, pritom se zaboravlja da je taj agregatni pokazatelj omjer samo dvije veličine, u kojemu se ne vidi nijedna od njih, a zapravo obje mogu biti uzrok visokog iznosa tog omjera. Stoga je taj omjer poželjno proširiti uvođenjem prirodne veličine; za ovu namjenu to je broj stanovnika.

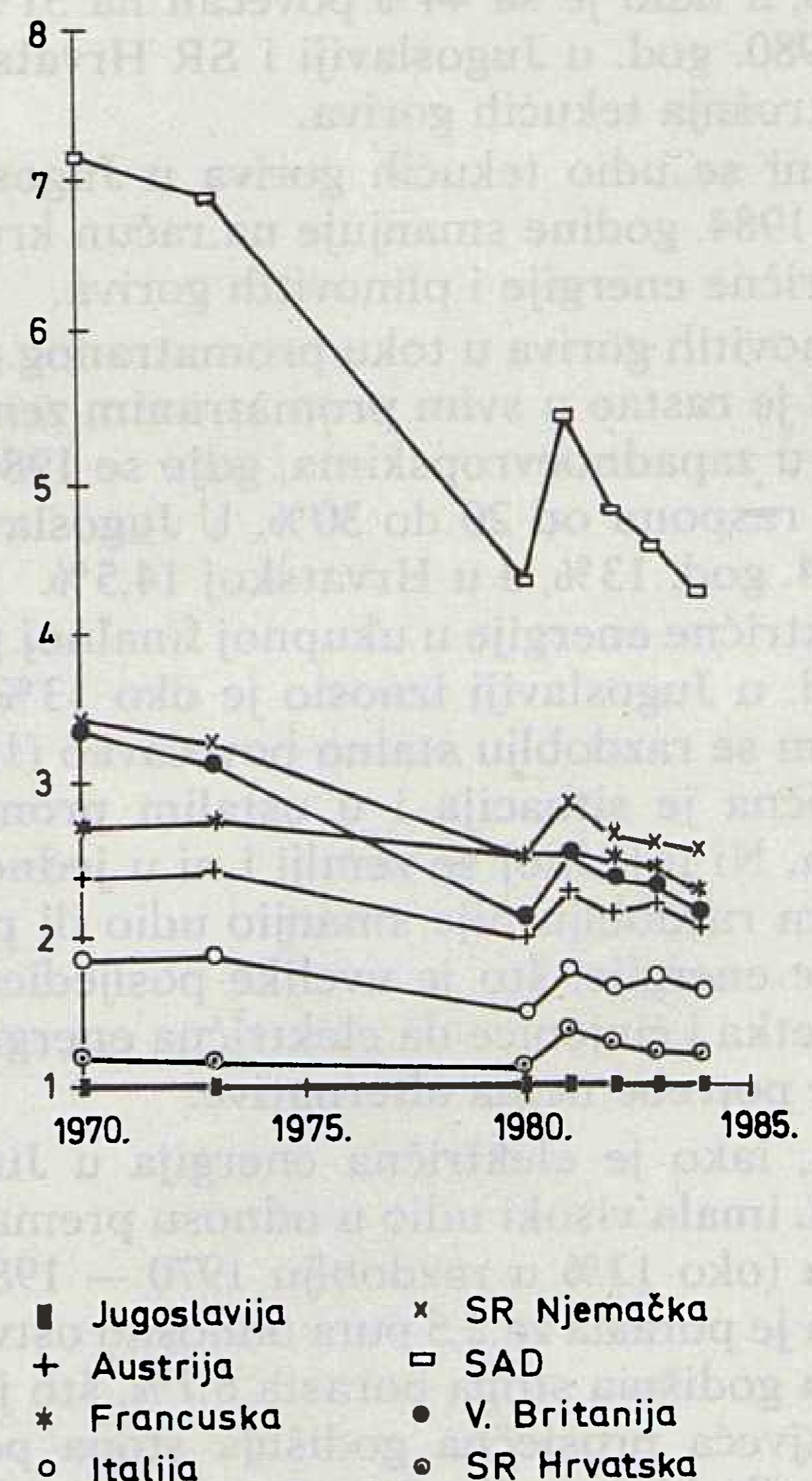
Suprotno potrošnji po jedinici društvenog proizvoda, potrošnja ukupne finalne energije po stanovniku (tabl. 2, sl. 4) u svim je zemljama veća nego u Jugoslaviji. Pritome taj odnos u nekim zemljama i godina ma doseže vrijednost veću od 5, što upozorava na znatno intenzivniju potrošnju finalne energije u drugim zemljama. Već u tom kontekstu sumnjivo djeluje konstatacija da se u nas troši dva do tri puta više energije nego što je potrebno!

Ta se dilema jednostavno i zapravo rješava prikazom kao na slici 5, na kojoj su koordinatne osi ostvareni društveni proizvod po stanovniku (u stalnim američkim dolarima) i potrošnja ukupne finalne energije po stanovniku. Za promatrane su zemlje prikazani uspo-

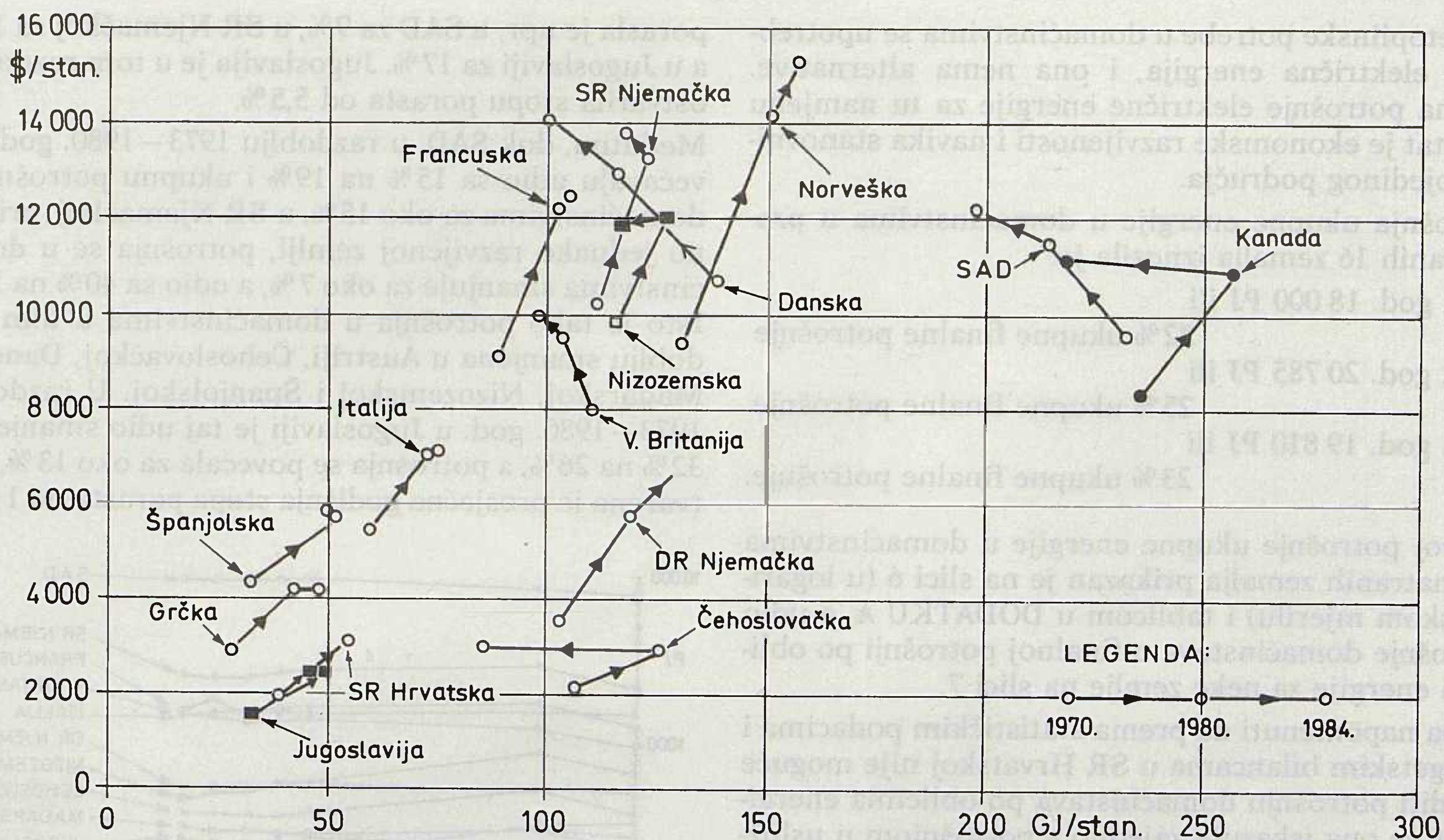
Tablica 2. Potrošnja finalne energije po stanovniku

GJ/st.

Zemlja	1970.	1973.	1980.	1984.
Austrija	76,97	88,95	96,62	94,69
Čehoslovačka	106,68	106,50	126,19	85,68
Danska	138,34	144,42	115,52	—
Francuska	88,70	102,13	—	104,51
Grčka	27,88	39,18	42,31	47,89
Italija	59,58	68,39	72,25	74,78
Jugoslavija	32,56	36,88	49,13	46,55
Kanada	—	—	256,44	218,56
Mađarska	63,71	68,48	96,42	96,64
Nizozemska	115,69	157,31	126,77	116,78
Norveška	130,23	129,42	150,86	156,69
DR Njemačka	102,67	—	118,87	131,31
SR Njemačka	111,29	120,07	122,28	117,58
SAD	232,33	253,31	214,26	197,82
V. Britanija	109,81	114,68	103,18	98,23
Španjolska	32,12	50,49	52,02	49,47
SR Hrvatska	38,88	42,94	54,45	54,70



Slika 4. Relativni odnosi potrošnje energije u domaćinstvima po stanovniku



Slika 5. Ovisnost ukupne potrošnje finalne energije o društvenom proizvodu (po stanovniku)

redni iznosi za 1970, 1980. i 1984. godinu, te su povezani crtom koja označava vremenski redoslijed ostvarenja u pojedinoj zemlji.

Sa slike 5. uočava se da Jugoslavija i SR Hrvatska imaju najniža ostvarenja potrošnje energije i društvenog proizvoda po stanovniku, te da pri približno jednakoj potrošnji energije po stanovniku Grčka, Španjolska i Italija stvaraju dva do tri puta veći društveni proizvod, međutim ne troše manje energije po stanovniku. Iz toga slijedi da problem specifične potrošnje energije po jedinici društvenog proizvoda u Jugoslaviji i Hrvatskoj nije toliko na strani energetske rasipništva, već na strani ekonomije, tj. slabih privrednih rezultata. Očito je da bi specifična potrošnja energije bila znatno bolja kad bi se ostvarilo prestrukturiranje privrede, proizvodili kvalitetniji artikli koji mogu postići svjetski konkurentnu cijenu i sl. Sasvim je drukčija situacija za npr. Čehoslovačku, koja također ostvaruje najniži društveni proizvod po stanovniku, ali u odnosu prema Jugoslaviji troši dvostruko više energije i očito ima prostora za smanjenje te potrošnje. Slična je situacija i s najrazvijenijim zemljama Zapada. Naprimjer, SR Njemačka pri istoj razini društvenog proizvoda po stanovniku troši dvostruko manje energije po stanovniku nego SAD ili Kanada, pa je normalno da ove dvije u razdoblju od 1970. do 1984. god. imaju znatno veća smanjenja potrošnje energije po stanovniku (sl. 5).

Osim spomenutoga, takva grafička prezentacija omogućuje i uočavanje elastičnosti potrošnje energije prema ostvarenome društvenom proizvodu (sve prema stanovniku). Naime, ako se od 1970. do 1984. godine potrošnja po stanovniku u Hrvatskoj povećala za 1,407 puta, a društveni proizvod po stanovniku za 1,618 puta, ta je elastičnost  $\alpha$  iz izraza

$$1,407 = 1,618^\alpha$$

jednaka

$$\alpha_{HR} = \frac{\log 1,407}{\log 1,618} = 0,71,$$

tj. za svaki postotak porasta društvenog proizvoda po stanovniku potrošnja energije (također po stanovniku) rasla je za 0,71%. U istom je razdoblju elastičnost potrošnje finalne energije po stanovniku npr. za Italiju:

$$\alpha_I = \frac{\log 1,255}{\log 1,3041} = 0,856,$$

a za SR Njemačku

$$\alpha_{NJ} = \frac{\log 1,0565}{\log 1,34902} = 0,18.$$

Očito je da je elastičnost funkcija privredne razvijenosti neke zemlje i da je za SR Hrvatsku u bliskoj budućnosti nemoguće očekivati elastičnost manju od 0,5. Štoviše, Italija, koja je konstantno imala znatno nižu specifičnu potrošnju energije po jedinici društvenog proizvoda od SR Hrvatske, u promatranom je razdoblju, od 1970. do 1984. godine, imala veći iznos elastičnosti potrošnje finalne energije prema društvenom proizvodu po stanovniku nego SR Hrvatska.

#### 4. ANALIZA POTROŠNJE ENERGIJE U DOMAĆINSTVIMA

Energija se u domaćinstvima iskorištava za zadovoljenje toplinskih i netoplinskih potreba. Za zadovoljenje toplinskih potreba koriste se svi raspoloživi energenti, a razina potrošnje određena je životnim standardom, klimatskim uvjetima, navikama i običajima. Oblici energije koji se za te svrhe pretežno koriste na određenom području uglavnom su rezultat energetske politike.

Za netoplinske potrebe u domaćinstvima se upotrebljava električna energija, i ona nema alternative. Razina potrošnje električne energije za tu namjenu rezultat je ekonomske razvijenosti i navika stanovnika pojedinog područja.

Potrošnja ukupne energije u domaćinstvima u promatranih 16 zemalja iznosila je:

- 1970. god. 18 000 PJ ili 22% ukupne finalne potrošnje
- 1980. god. 20 785 PJ ili 25% ukupne finalne potrošnje
- 1984. god. 19 810 PJ ili 23% ukupne finalne potrošnje.

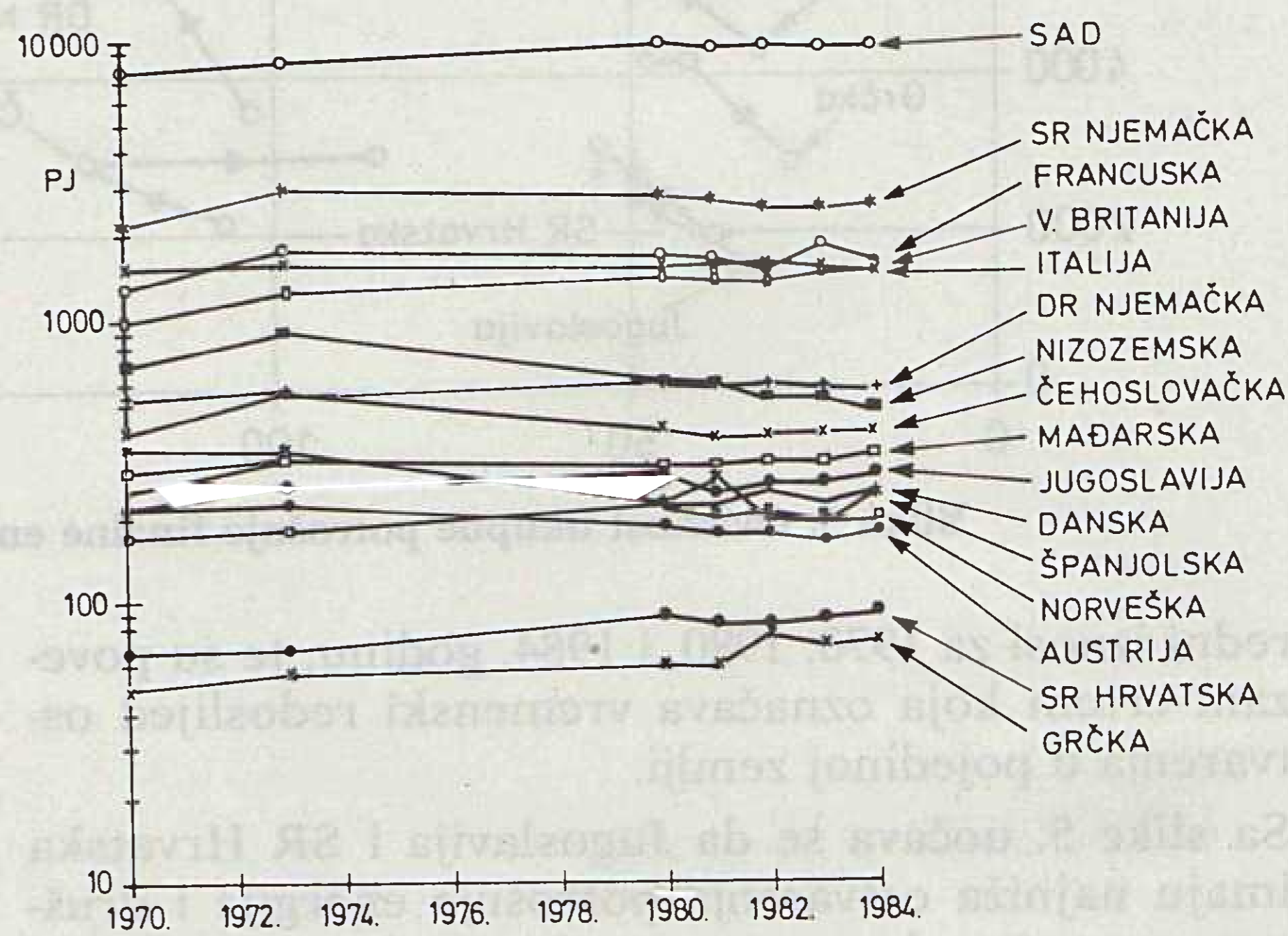
Razvoj potrošnje ukupne energije u domaćinstvima promatranih zemalja prikazan je na slici 6 (u logaritamskom mjerilu) i tablicom u DODATKU A, a udio potrošnje domaćinstava u finalnoj potrošnji po oblicima energije za neke zemlje na slici 7.

Treba napomenuti da prema statističkim podacima i energetske bilancama u SR Hrvatskoj nije moguće utvrditi potrošnju domaćinstava po oblicima energije jer se ona iskazuje zajedno s potrošnjom u uslužnoj djelatnosti. U ovom se dijelu neće posebno iskazati ni kretanje potrošnje energije u domaćinstvima SR Hrvatske već će se ono detaljno utvrditi posebnim modelom i prikazati u drugom dijelu članka.

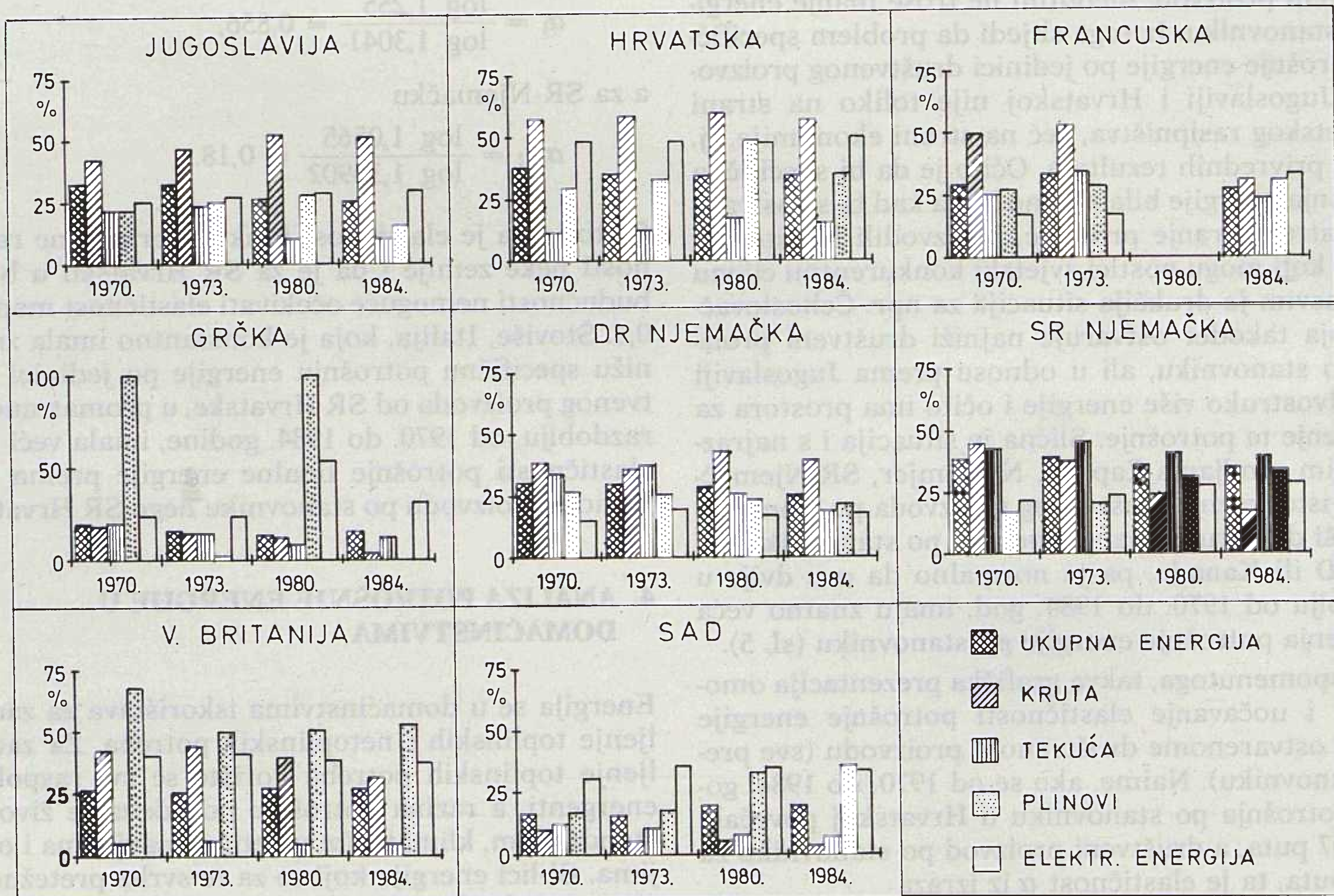
Slika 7. pokazuje da se udio ukupne potrošnje u domaćinstvima u ukupnoj finalnoj potrošnji 1970. god. kretao od oko 16%, u SAD, do oko 40%, u SR Njemačkoj. Iako je u razdoblju 1970 – 1973. god. udio praktički ostao jednak, potrošnja u domaćinstvima

porasla je npr. u SAD za 9%, u SR Njemačkoj za 11%, a u Jugoslaviji za 17%. Jugoslavija je u tom razdoblju ostvarila stopu porasta od 5,5%.

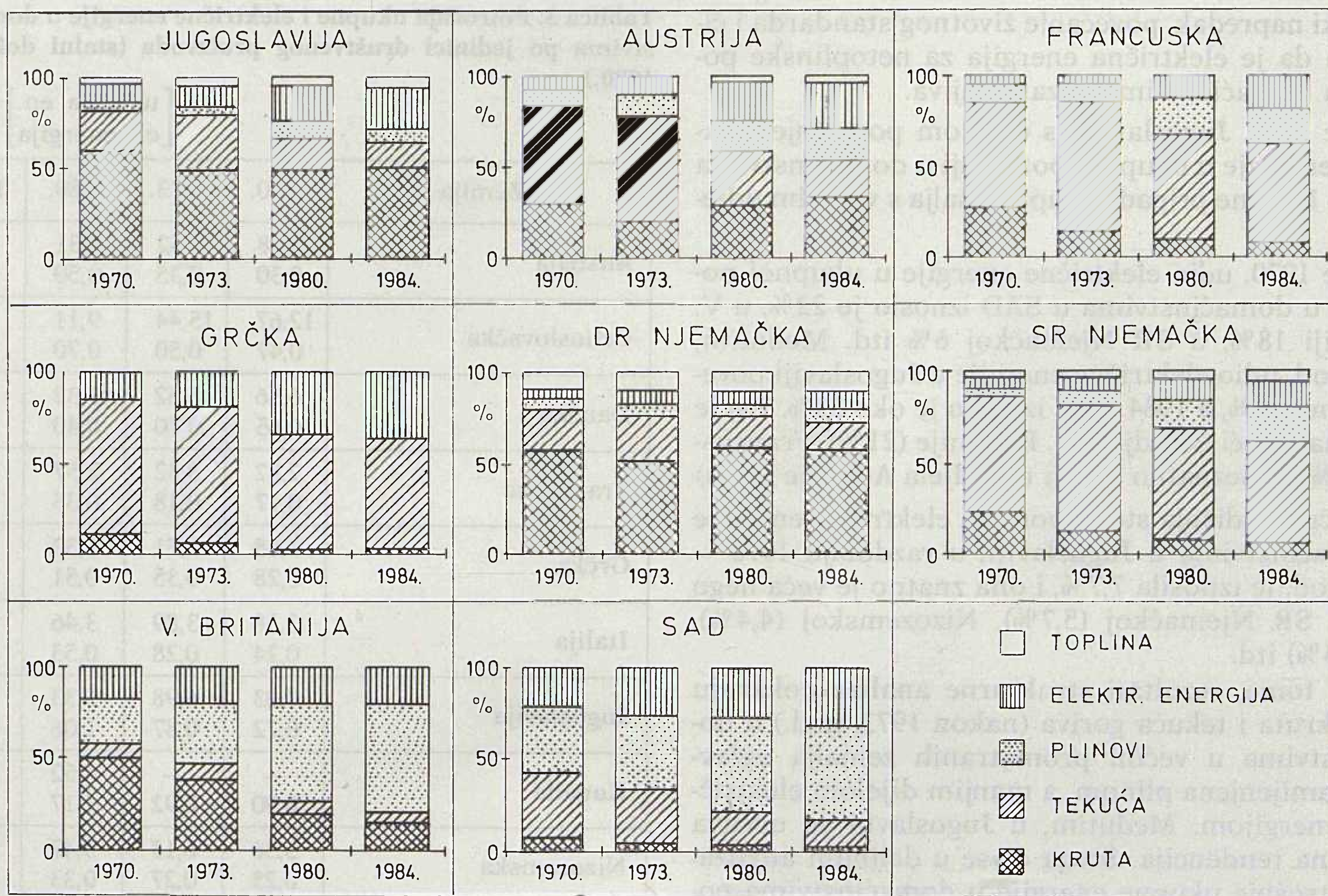
Međutim, dok SAD, u razdoblju 1973 – 1980. god. povećavaju udio sa 15% na 19% i ukupnu potrošnju u domaćinstvima za oko 15%, u SR Njemačkoj, približno jednako razvijenoj zemlji, potrošnja se u domaćinstvima smanjuje za oko 7%, a udio sa 40% na 36%. Isto je tako potrošnja u domaćinstvima u tom razdoblju smanjena u Austriji, Čehoslovačkoj, Danskoj, Mađarskoj, Nizozemskoj i Španjolskoj. U razdoblju 1973 – 1980. god. u Jugoslaviji je taj udio smanjen sa 32% na 26%, a potrošnja se povećala za oko 13%, i ostvarena je prosječna godišnja stopa porasta od 1,8%.



Slika 6. Razvoj potrošnje energije u domaćinstvima



Slika 7. Udio potrošnje domaćinstava u finalnoj potrošnji



Slika 8. Udio potrošnje pojedinih energenata u ukupnoj potrošnji domaćinstava

Nakon 1980. god. u promatranim zemljama ne nastaju bitne promjene u udjelu ukupne potrošnje domaćinstava u finalnoj potrošnji, iako se ukupna potrošnja u većini zemalja i u Jugoslaviji smanjuje.

Da bi se uočio utjecaj promjene strukture na kretanje potrošnje energije u domaćinstvima, na slici 8. za neke zemlje je prikazan udio pojedinih energenata u ukupnoj potrošnji domaćinstava.

Na početku promatranog razdoblja, odnosno 1970. god. visoki udio krutih goriva u domaćinstvima veći od 50% imaju Jugoslavija (58%), DR Njemačka (57%) i V. Britanija (50%).

U 1973. god. udio krutih goriva smanjen je u svim promatranim zemljama i ostvarene su negativne prosječne godišnje stope porasta. Od 1973. do 1980. god. u većini se zapadnih zemalja nastavlja smanjenje udjela krutih goriva, koja se zamjenjuju energentima s većom efikasnošću, uglavnom plinom. Veliko smanjenje udjela uočava se u V. Britaniji (na oko 13%). Međutim, u npr. jednako razvijenoj zemlji, Austriji, od 1973. god. dolazi do usmjeravanja potrošnje u domaćinstvima na kruta goriva, što uvjetuje povećanje udjela sa 19%, u 1973. god., na 29%, u 1980. god. i dalje, na 33% u 1984. god. DR Njemačka (a i ostale istočne zemlje), kao i Jugoslavija, u 1984. god. zadržavaju visoki udio krutih goriva, oko 50%.

Kretanje potrošnje tekućih goriva u domaćinstvima adekvatno je kretanju finalne potrošnje tog energenta. Naime, od 1970. do 1973. god. u većini se promatranih zemalja povećava udio tekućih goriva u ukupnoj potrošnji energije u domaćinstvima, a u nekim su zemljama ostvarene visoke prosječne godišnje stope porasta: u Francuskoj 19,5%, u Mađarskoj 18,3%

Jugoslaviji 15,5%. Negativne stope porasta ostvarene su u Danskoj – 1,4%, Nizozemskoj – 0,8% i SAD – 2,7%. Od 1973. do 1980. god. i dalje, do 1984. god., u većini se promatranih zemalja udio tekućih goriva smanjuje i ostvaruju se visoke negativne prosječne godišnje stope rasta.

U Jugoslaviji se udio tekućih goriva od oko 33% u 1973. god. smanjuje na oko 15% u 1984. god.

To se smanjenje udjela potrošnje krutih i tekućih goriva npr. u SAD, SR Njemačkoj i V. Britaniji uglavnom nadoknađuje plinom.

Udio potrošnje plina u domaćinstvima u ukupnoj finalnoj potrošnji plina u Jugoslaviji u promatranom je razdoblju iznosio:

1970. god.	21,6 %
1980. gpd.	27,8 %
1981. god.	20,2 %
1984. god.	15,2 %,

što je suprotno tendencijama usmjeravanja potrošnje plina u drugim zemljama. Naime, udio potrošnje plina u domaćinstvima u finalnoj potrošnji plina u postocima je iznosio:

	1970. god.	1980. god.	1984. god.
SAD	16,9	32,9	33,9
SR Njemačka	16,7	30,9	33,9
Italija	28,3	46,9	51,2
Francuska	27,5	x	30,8
Čehoslovačka	17,5	17,7	32,3

Udio električne energije u ukupnoj potrošnji u domaćinstvima u promatranom razdoblju ima tendenciju rasta u svim promatranim zemljama. Razlog tome je



tehnički napredak, povećanje životnog standarda i činjenica da je električna energija za netoplinske potrebe u domaćinstvima nezamjenjiva.

Godine 1970. Jugoslavija, s udjelom potrošnje električne energije u ukupnoj potrošnji u domaćinstvima od oko 10%, ne pripada grupi zemalja s visokim udjelom.

Godine 1970. udio električne energije u ukupnoj potrošnji u domaćinstvima u SAD iznosio je 22%, u V. Britaniji 18%, u SR Njemačkoj 6% itd. Međutim, 1980. god. udio električne energije u Jugoslaviji povećao se na 20%, a 1984. god. iznosio je oko 23%. Taj je udio malo veći od udjela V. Britanije (21%), Francuske (19%), a neznatno manji od udjela Austrije (25%)

Prosječna godišnja stopa porasta električne energije u domaćinstvima u Jugoslaviji, u razdoblju 1970 – 1984. god. je iznosila 7,7%, i ona znatno je veća nego npr. u SR Njemačkoj (5,7%), Nizozemskoj (4,4%), SAD (4%) itd.

Prema tome, rezultati strukturne analize pokazuju da su kruta i tekuća goriva (nakon 1973. god.) u domaćinstvima u većini promatranih zemalja uglavnom zamijenjena plinom, a manjim dijelom električnom energijom. Međutim, u Jugoslaviji se uočava suprotna tendencija. Stoga će se u daljnjim analizama potrošnje ukupne energije u domaćinstvima posebna pažnja obratiti i potrošnji električne energije.

##### 5. POTROŠNJA UKUPNE I ELEKTRIČNE ENERGIJE U DOMAĆINSTVIMA PO JEDINICI DRUŠTVENOG PROIZVODA I PO STANOVNIKU

Potrošnja ukupne i električne energije u domaćinstvima po jedinici društvenog proizvoda prikazana je u tablici 3.

Specifična potrošnja ukupne energije u domaćinstvima po jedinici društvenog proizvoda u većini zemalja u razdoblju 1970 – 1984. god. opada, a specifična potrošnja električne energije raste. U Jugoslaviji se specifična potrošnja ukupne energije u domaćinstvima od 1970. do 1984. god. sa 7,03 MJ/\$ smanjila na 5,03 MJ/\$. Specifična se potrošnja električne energije povećala od 0,72 MJ/\$ 1970. god. na 1,14 MJ/\$ 1984. god.

Analize relativnih odnosa specifične potrošnje po jedinici društvenog proizvoda ukupne i električne energije u domaćinstvima (sl.9. i 10, za neke zemlje) pokazuju da istočne zemlje imaju veću specifičnu potrošnju ukupne energije od Jugoslavije. Od zemalja tržišne privrede prosječni su relativni odnos 0,5 – 0,9 u promatranim godinama imale Danska, Italija, Kanada, Nizozemska, Norveška, SR Njemačka, SAD i V. Britanija, a prosječni relativni odnos 0,2 – 0,5 imale su Austrija, Francuska, Grčka i Španjolska.

Veću specifičnu potrošnju električne energije u domaćinstvima od Jugoslavije imale su samo Kanada i Norveška. Prosječni relativni odnos veći od 0,5 npr. 1984. god., osim Kanade i Norveške, imale su Grčka, Italija i SAD.

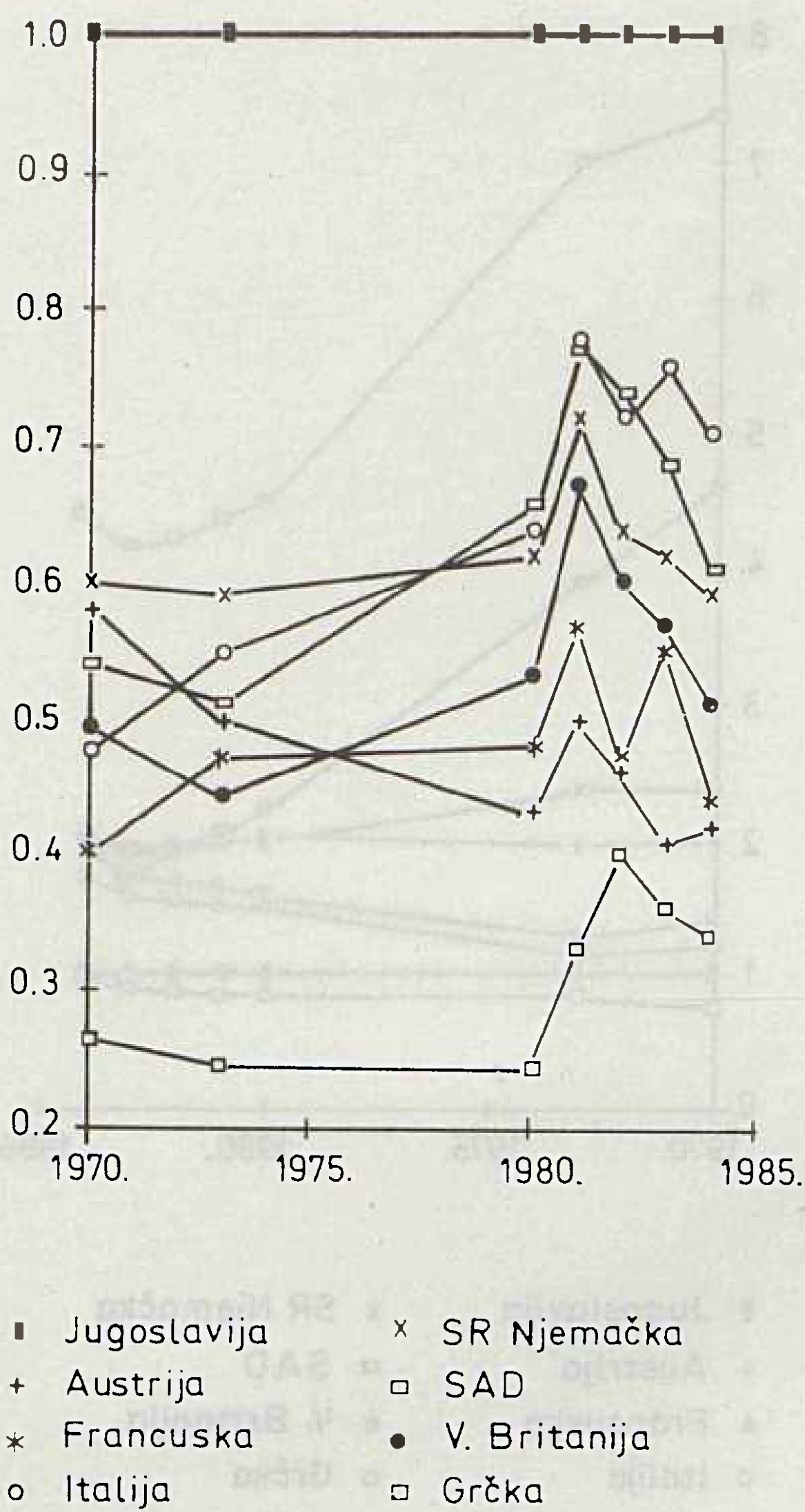
Tablica 3. Potrošnja ukupne i električne energije u domaćinstvima po jedinici društvenog proizvoda (stalni dolari iz 1980.)

Zemlja	[ukupna en.] MJ/\$ [el. energija]			
	1970.	1973.	1980.	1984.
Austrija	4,08 0,30	3,52 0,35	2,31 0,50	2,13 0,53
Čehoslovačka	12,67 0,47	15,44 0,50	9,11 0,70	— —
Danska	6,56 0,65	5,62 0,70	3,32 0,40	— 0,38
Francuska	2,82 0,17	3,32 0,18	2,57 0,33	2,25 0,42
Grčka	1,88 0,28	1,71 0,35	1,33 0,51	1,73 0,63
Italija	3,38 0,24	3,89 0,28	3,46 0,53	3,59 0,64
Jugoslavija	7,03 0,72	6,98 0,87	5,33 1,06	5,03 1,14
Kanada	— 0,90	— 0,92	4,52 1,17	3,69 1,29
Nizozemska	5,36 0,25	6,13 0,27	3,47 0,33	2,72 0,33
Norveška	4,59 1,50	4,20 1,43	3,65 1,49	3,13 1,57
DR Njemačka	8,74 0,43	7,80 0,57	6,01 0,45	4,77 0,46
SR Njemačka	4,24 0,25	4,17 0,31	3,34 0,37	3,00 0,40
SAD	3,81 0,83	3,62 0,98	3,57 0,99	3,10 0,97
V. Britanija	3,49 0,63	3,14 0,64	2,85 0,58	2,60 0,54
Španjolska	1,68 0,20	1,74 0,41	1,03 0,33	1,06 0,36

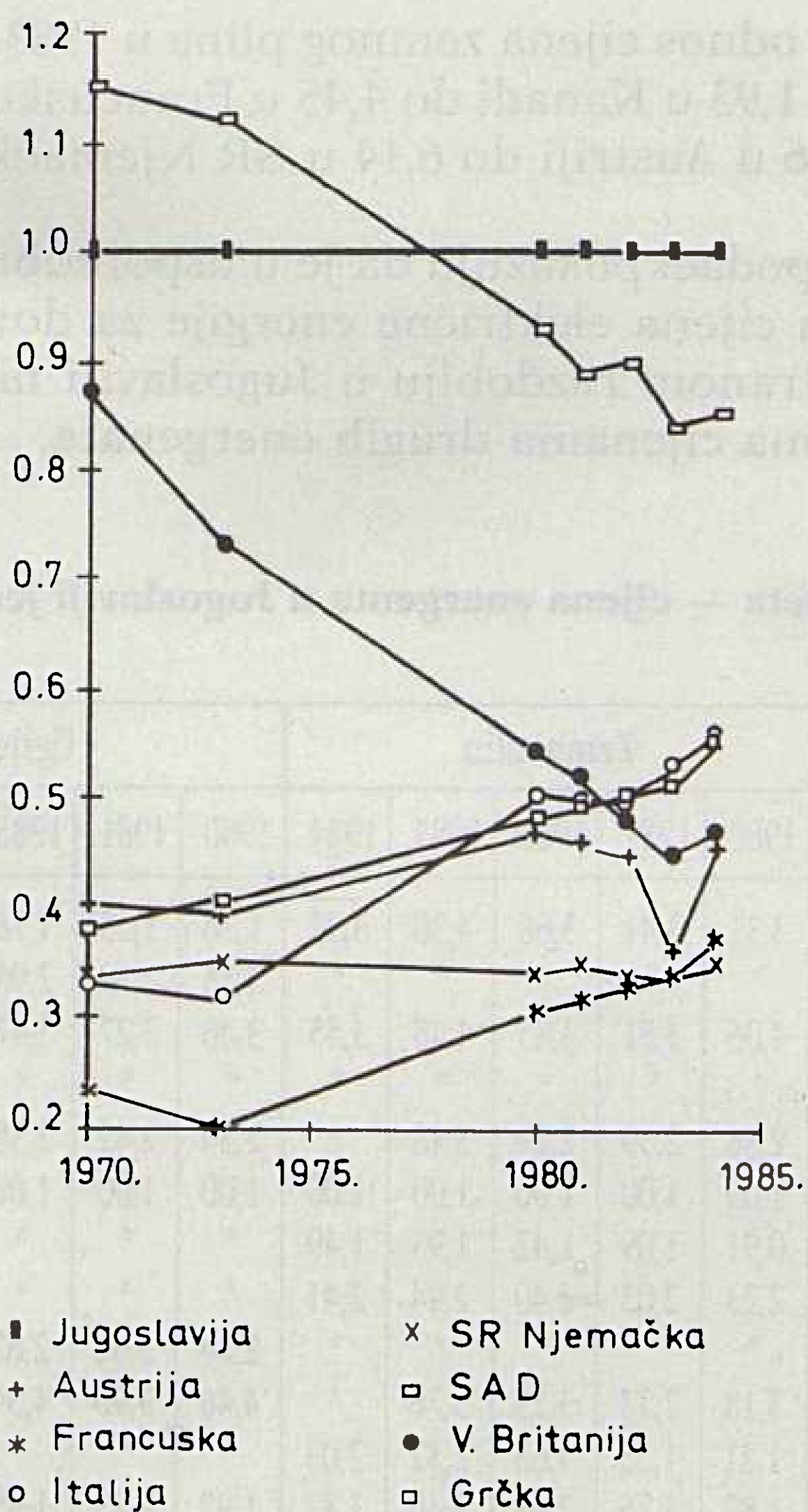
Ako se pogleda potrošnja ukupne i električne energije po stanovniku (tbl. 4) i relativni odnosi (sl. 11. i 12, za neke zemlje), vidljivo je da Jugoslavija pripada zemljama s najmanjom potrošnjom ukupne energije u domaćinstvima po stanovniku. Npr. 1984. god. Norveška je imala oko četiri puta veću, Kanada i SR Njemačka 3,4 puta, a SAD 3,2 puta veću potrošnju od Jugoslavije.

Potrošnja električne energije domaćinstava po stanovniku u odnosu prema Jugoslaviji manja je u Čehoslovačkoj, Grčkoj, Mađarskoj i Španjolskoj. Međutim, valja naglasiti da su u većini ostalih zemalja, u odnosu na Jugoslaviju, relativni odnosi potrošnje električne energije domaćinstava po stanovniku manji od istih odnosa potrošnje ukupne energije u domaćinstvima po stanovniku.

To znači da je odnos potrošnje ukupne i električne energije u domaćinstvima po stanovniku u Jugoslaviji manji nego u drugim zemljama, što upozorava na intenzivniju potrošnju električne energije (prema drugim zemljama) u odnosu prema drugim energentima.



Slika 9. Relativni odnosi potrošnje energije u domaćinstvima po jedinici društvenog proizvoda



Slika 10. Relativni odnosi potrošnje električne energije u domaćinstvima po jedinici društvenog proizvoda

Tablica 4. Potrošnja ukupne i električne energije u domaćinstvima po stanovniku

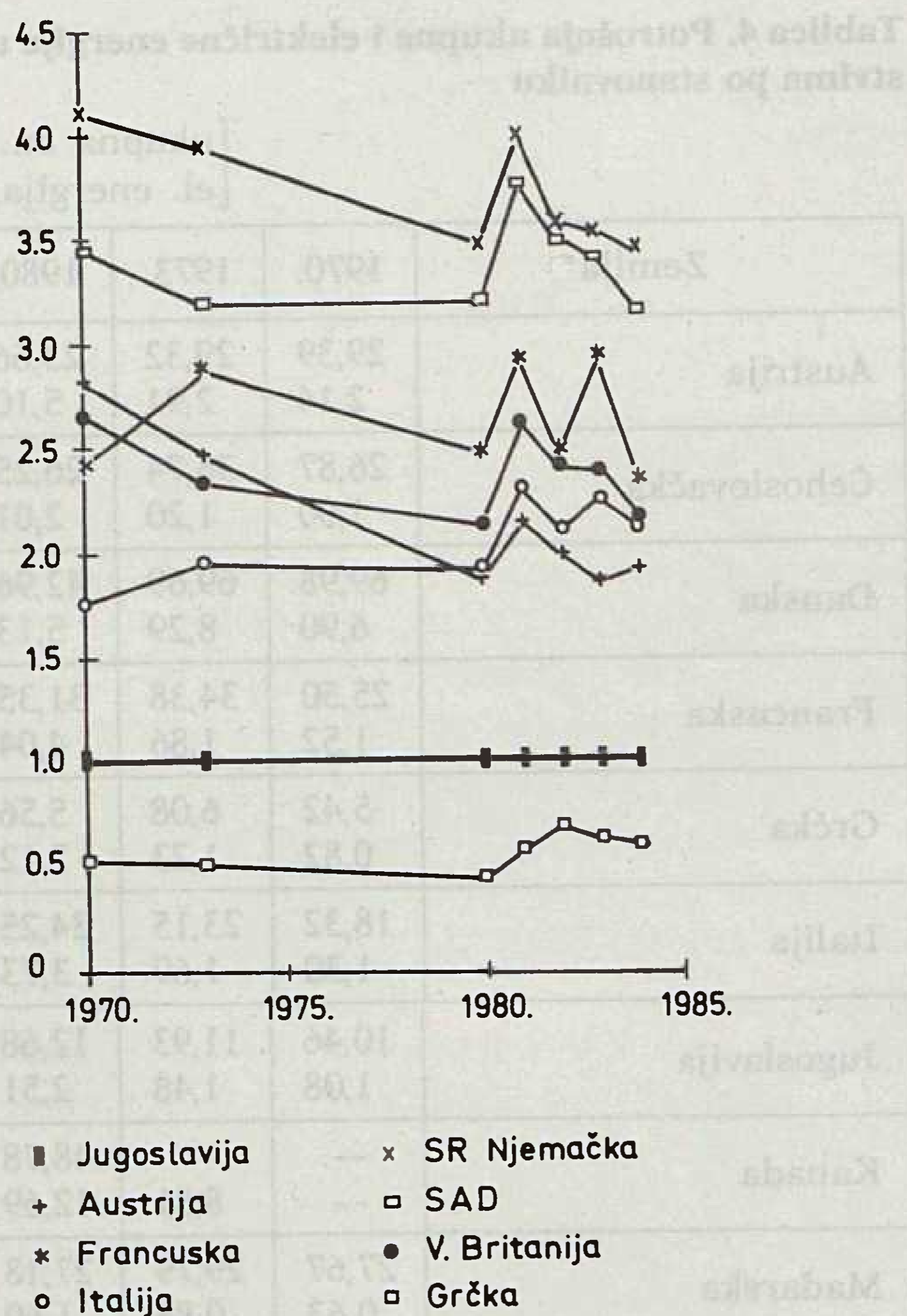
Zemlja	[ukupna en. el. energija] GJ/stan.			
	1970.	1973.	1980.	1984.
Austrija	29,39 2,14	29,32 2,91	23,66 5,10	22,87 5,72
Čehoslovačka	26,87 1,00	36,74 1,20	26,25 2,01	24,89 2,39
Danska	69,98 6,90	69,69 8,29	42,96 5,13	45,40 5,28
Francuska	25,50 1,52	34,38 1,86	31,35 4,04	28,07 5,22
Grčka	5,42 0,82	6,08 1,23	5,56 2,12	7,19 2,64
Italija	18,32 1,30	23,15 1,69	24,25 3,73	25,34 4,55
Jugoslavija	10,46 1,08	11,93 1,48	12,68 2,51	11,96 2,70
Kanada	— —	— 8,81	48,78 12,69	41,16 14,38
Mađarska	27,67 0,63	29,79 0,88	27,18 1,69	29,58 2,36
Nizozemska	52,21 2,39	65,40 2,93	41,51 3,98	32,11 3,95
Norveška	42,99 13,99	44,14 15,03	51,44 21,03	47,68 23,84
DR Njemačka	30,87 1,50	— —	34,46 2,59	32,62 3,13
SR Njemačka	43,17 2,56	47,08 3,50	44,16 4,94	41,19 5,52
SAD	36,28 7,95	38,31 10,38	40,82 11,34	37,77 11,83
V. Britanija	27,66 5,00	27,91 5,71	26,96 5,51	25,83 5,35
Španjolska	7,31 0,88	9,02 2,13	5,81 1,88	6,16 2,08

Pitanje je da li je uzrok tome energetska politika prema tom dijelu potrošnje, koja se velikim dijelom odražava u paritetu cijena pojedinih oblika energije? O odnosu cijena govorit ćemo u sljedećoj točki.

U drugom ćemo dijelu članka na primjeru SR Hrvatske pokazati pristup i rezultate analize potrošnje energije u domaćinstvima, koji, osim ostaloga, daju i odgovor o količini potrošnje električne energije za toplinske svrhe, a samim time omogućavaju kvantifikaciju efekata koji bi se postigli kad bi se energetska politika usmjerila tako da se taj energent zamijeni drugim.

## 6. ODNOS CIJENA POJEDINIH ENERGENATA U DOMAĆINSTVIMA

Istraživanje kretanja cijena u domaćinstvima pojedinih zemalja za cijelo promatrano razdoblje nažalost nisu moguća. Naime, prema dostupnoj literaturi po-



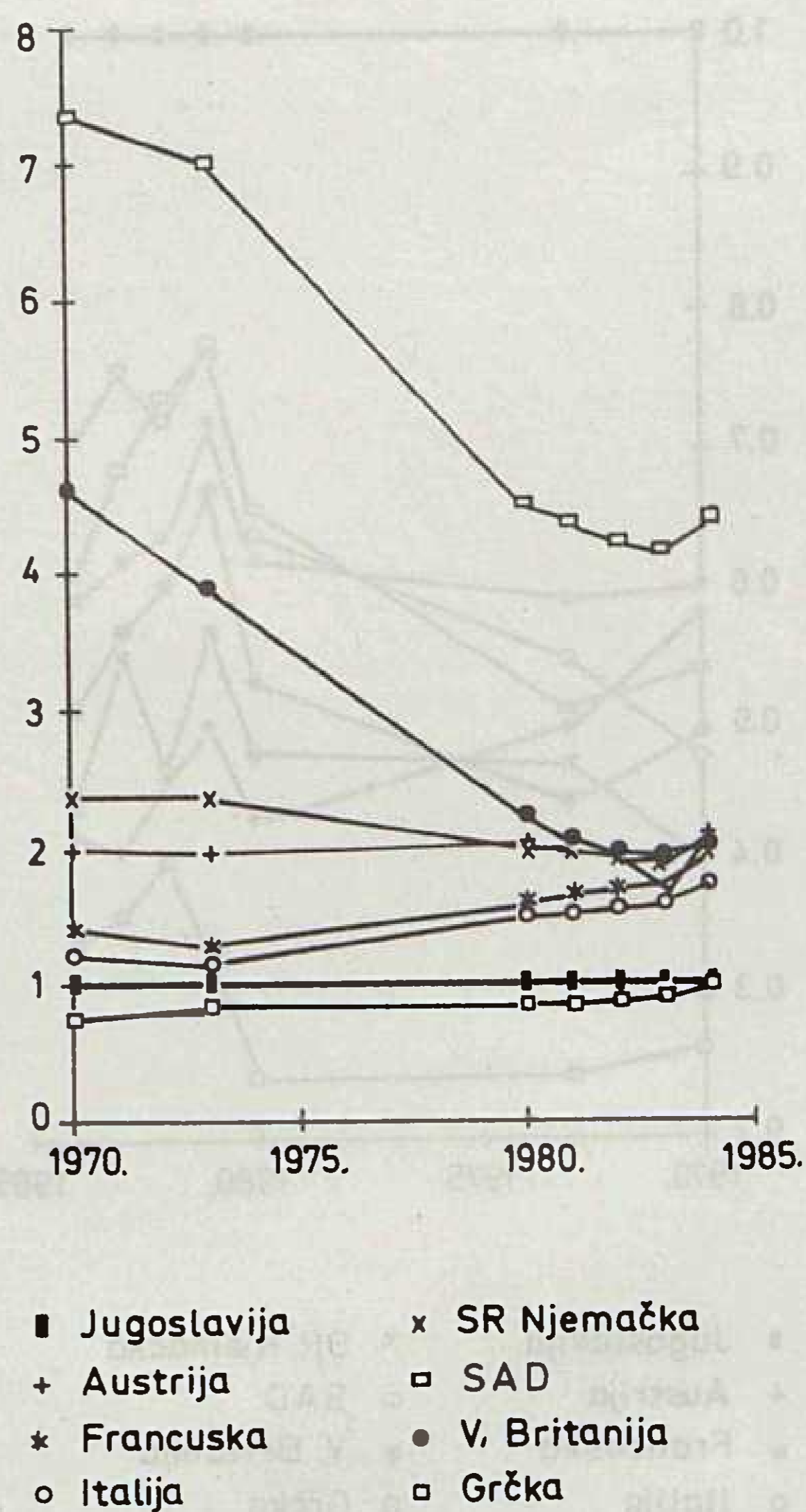
Slika 11. Relativni odnosi potrošnje energije u domaćinstvima po stanovniku

stoje podaci samo za razdoblje 1980-1984. god., i to za neke zemlje.

Relativni odnosi tekućih cijena pojedinih energenata za domaćinstva u pojedinim zemljama u odnosu prema Jugoslaviji prikazani su u tablici 5. i slici 13.

Podaci iz tablice 5. pokazuju da je u promatranih pet godina električna energija samo u Kanadi i Norveškoj 1980. god. bila jeftinija nego u Jugoslaviji. Relativni odnos cijena električne energije npr. 1983. god. kretao se od 2,01 u Norveškoj do 5,24 u Danskoj.

Relativni odnos cijena ekstralakovog loživog ulja za domaćinstvo u promatranim je zemljama u odnosu



Slika 12. Relativni odnosi potrošnje električne energije u domaćinstvima po stanovniku

prema Jugoslaviji bio znatno manji nego odnos cijena električne energije. Najveći relativni odnos, npr. je 1982. god., ostvaren u Danskoj (2,18) i Italiji (2,13). U ostalim je zemljama relativni odnos bio niži od 2.

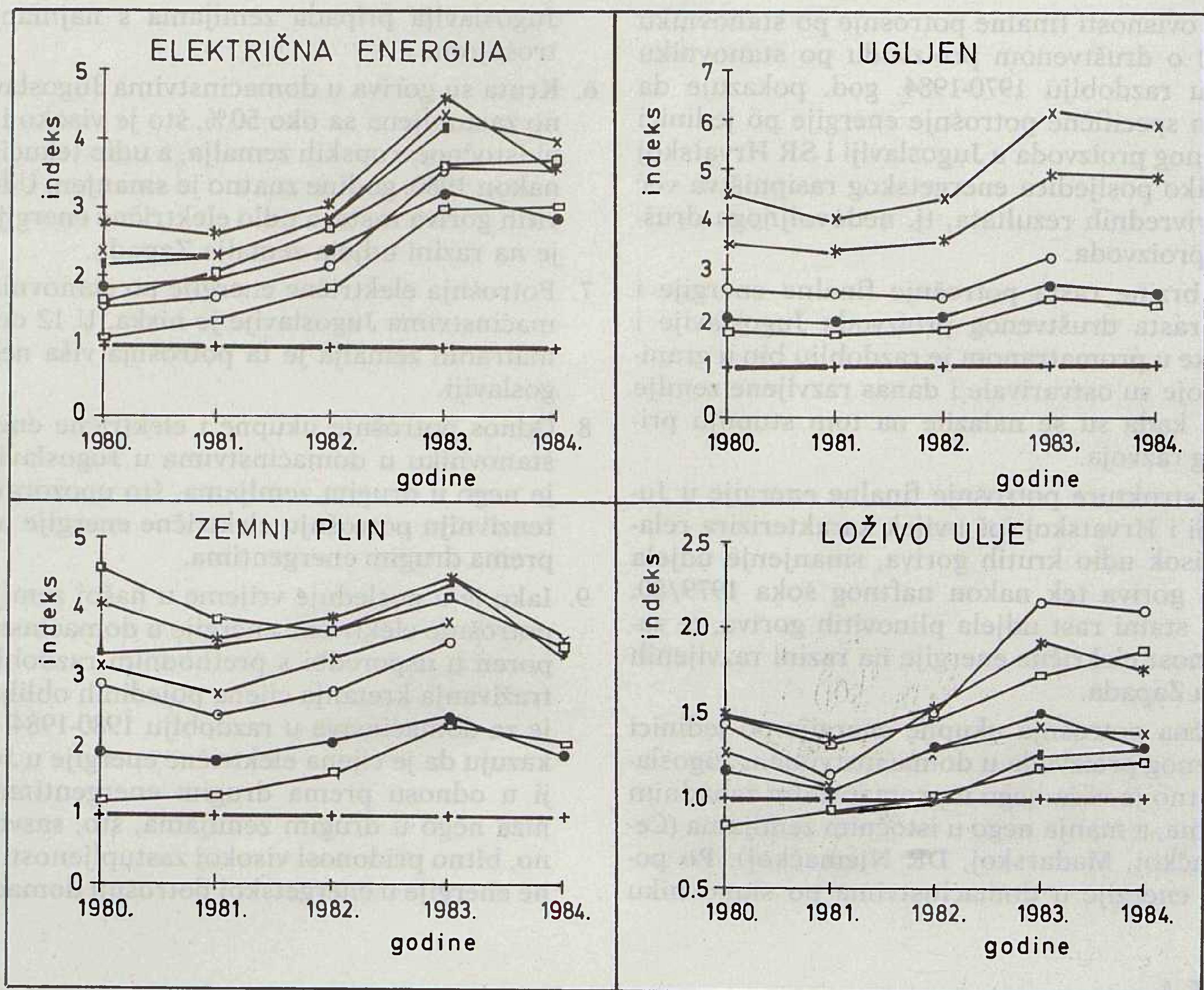
Relativni odnos cijena zemnog plina u 1983. god. kretao se od 1,93 u Kanadi do 4,45 u Francuskoj, a ugljena od 2,36 u Austriji do 6,14 u SR Njemačkoj.

Izneseni podaci pokazuju da je u usporedbi s drugim zemljama cijena električne energije za domaćinstva u promatranom razdoblju u Jugoslaviji niska u odnosu prema cijenama drugih energenata.

Tablica 5. Odnos cijena energenata za domaćinstva u nekim zemljama svijeta — cijena energenta u Jugoslaviji jednaka je jedinici

Zemlja	Električna energija					Ekstralako loživo ulje					Zemni plin					Ugljen				
	1980.	1981.	1982.	1983.	1984.	1980.	1981.	1982.	1983.	1984.	1980.	1981.	1982.	1983.	1984.	1980.	1981.	1982.	1983.	1984.
Austrija	2,19	2,22	2,84	4,19	*	*	1,32	1,49	1,72	1,80	3,31	3,41	3,68	4,30	3,32	1,76	1,65	1,76	2,36	2,25
Danska	2,77	3,12	3,59	5,24	4,42	1,82	1,62	1,87	2,18	1,98	*	*	*	*	*	2,56	2,70	2,98	3,90	3,72
Francuska	2,75	2,60	3,03	4,57	3,52	1,49	1,34	1,54	1,91	1,75	4,06	3,51	3,85	4,45	3,55	3,46	3,27	3,47	4,83	4,79
Grčka	1,62	2,11	2,44	3,27	*	1,17	0,99	1,06	1,35	1,33	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Italija	1,54	1,69	2,15	3,64	3,65	1,43	1,14	1,50	2,13	2,08	2,86	2,39	2,79	3,48	*	2,54	2,42	2,35	3,16	*
Jugoslavija	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Kanada	0,58	0,68	0,88	*	*	0,47	0,58	0,83	1,19	1,21	0,91	1,09	1,42	1,93	1,49	*	*	*	*	*
Nizozemska	2,65	2,73	3,16	4,65	*	1,40	1,30	1,47	1,64	1,61	2,23	2,03	2,40	2,94	2,41	*	*	*	*	*
Norveška	0,88	1,01	1,27	2,01	1,97	1,33	1,33	1,54	1,86	1,70	*	*	*	*	*	2,84	2,62	2,62	3,32	*
SR Njemačka	2,33	2,31	2,82	4,36	3,97	1,28	1,06	1,29	1,45	1,39	3,18	2,73	3,23	3,76	*	4,46	3,90	4,34	6,14	5,78
SAD	1,08	1,36	1,83	3,02	3,07	0,83	0,92	0,97	1,26	1,27	1,21	1,25	1,63	2,32	2,03	*	*	*	*	*
Velika Britanija	1,79	2,05	2,36	3,18	2,83	1,17	1,06	1,28	1,48	1,28	1,87	1,75	2,03	2,40	1,87	1,92	1,85	1,95	2,56	2,43
Španjolska	1,62	2,00	2,68	3,56	3,69	0,85	0,93	1,02	1,18	1,22	4,52	3,76	3,62	4,11	3,41	*	*	*	*	*

\* Podaci o cijenama nisu dostupni.



■ Austrija                      + Jugoslavija                      \* Francuska                      ○ Italija  
 x SR Njemačka                      □ SAD                      ● V. Britanija                      □ Španjolska

Slika 13. Relativni odnosi tekućih cijena energenata za domaćinstva

Do istog se zaključka može doći ako se pokažu relativni odnosi tekućih cijena pojedinih energenata u domaćinstvima u odnosu prema prosječnoj cijeni električne energije u pojedinim zemljama.

Naime, relativni odnos cijene ekstralakoga loživog ulja u odnosu prema električnoj energiji u razdoblju 1980-1984. god. u Jugoslaviji kretao se od 0,61 do 0,90; u Austriji, Danskoj, Engleskoj, Francuskoj, SAD bio je oko 0,40; u SR Njemačkoj od 0,32 – 0,35; Italiji 0,50 itd.

Relativni odnos cijena zemnog plina u odnosu prema električnoj energiji u Jugoslaviji bitno ne odstupa u usporedbi s drugim zemljama.

Za ugljen je teško dati bilo kakvu ocjenu zbog njegove različite kalorične vrijednosti.

## 7. ZAKLJUČCI

U prvom dijelu članka napravljena je usporedba klasičnih pokazatelja potrošnje ukupne finalne energije i energije u domaćinstvima u Jugoslaviji i SR Hrvatskoj prema potrošnji u petnaest odabranih zemalja. Uspoređivana je dinamika razvoja strukture potrošnje prema pojedinim energentima, potrošnja energije

je po jedinici društvenog proizvoda i po stanovniku, elastičnost potrošnje i cijene energenata po jedinici energije za domaćinstva.

Kritičkim osvrtom na najčešći pokazatelj efikasnosti upotrebe energije neke zemlje, potrošnju po jedinici društvenog proizvoda, pokazano je da je to isuviše agregatan pokazatelj te da je mnogo bolje uspoređivanje na temelju vrijednosti ostvarenoga društvenog proizvoda po stanovniku i potrošnje finalne energije po stanovniku.

Također je upozoreno na to da klasični pokazatelji, mada relativno lako izvodljivi i dostupni, ne mogu udovoljiti svim zahtjevima koji se u posljednje vrijeme javljaju pri analizi energetske potrošnje. Detaljniji analitički pristup u analizi potrošnje finalne energije SR Hrvatske u domaćinstvima bit će prikazan u drugom dijelu ovog članka.

Međutim, već analizom pomoću klasičnih pokazatelja u ovom je članku konstatirano:

1. Analiza potrošnje finalne energije u razdoblju 1970-1984. god. pokazuje da je specifična potrošnja po jedinici društvenog proizvoda u Jugoslaviji za oko dva puta veća nego u većini promatranih zemalja, a potrošnja finalne energije po stanovniku znatno je manja.

- Analiza ovisnosti finalne potrošnje po stanovniku (MJ/st.) o društvenom proizvodu po stanovniku (\$/st.) u razdoblju 1970-1984. god. pokazuje da problem specifične potrošnje energije po jedinici društvenog proizvoda u Jugoslaviji i SR Hrvatskoj nije toliko posljedica energetske rasipništva već loših privrednih rezultata, tj. nedovoljnoga društvenog proizvoda.
- Odnos brzine rasta potrošnje finalne energije i brzine rasta društvenog proizvoda Jugoslavije i Hrvatske u promatranom je razdoblju bio u granicama koje su ostvarivale i danas razvijene zemlje Zapada kada su se nalazile na tom stupnju privrednog razvoja.
- Razvoj strukture potrošnje finalne energije u Jugoslaviji i Hrvatskoj još uvijek karakterizira relativno visok udio krutih goriva, smanjenje udjela tekućih goriva tek nakon naftnog šoka 1979/80. godine, stalni rast udjela plinovitih goriva, te zastupljenost električne energije na razini razvijenih zemalja Zapada.
- Specifična potrošnja ukupne energije po jedinici društvenog proizvoda u domaćinstvima u Jugoslaviji znatno je veća nego u promatranim zapadnim zemljama, a manja nego u istočnim zemljama (Čehoslovačkoj, Mađarskoj, DR Njemačkoj). Po potrošnji energije u domaćinstvima po stanovniku Jugoslavija pripada zemljama s najmanjom potrošnjom.
- Kruta su goriva u domaćinstvima Jugoslavije stalno zastupljena sa oko 50%, što je visoko i na razini istočnoevropskih zemalja, a udio tekućih goriva nakon 1980. godine znatno je smanjen. Udio plinovitih goriva raste, a udio električne energije stalno je na razini udjela zemalja Zapada.
- Potrošnja električne energije po stanovniku u domaćinstvima Jugoslavije je niska. U 12 od 16 promatranih zemalja je ta potrošnja viša nego u Jugoslaviji.
- Odnos potrošnje ukupne i električne energije po stanovniku u domaćinstvima u Jugoslaviji manji je nego u drugim zemljama, što upozorava na intenzivniju potrošnju električne energije u odnosu prema drugim energentima.
- Iako je u poslednje vrijeme u našoj zemlji porast potrošnje električne energije u domaćinstvima usporen u usporedbi s prethodnim razdobljima, istraživanja kretanja cijena pojedinih oblika energije za domaćinstva u razdoblju 1980-1984. god. pokazuju da je cijena električne energije u Jugoslaviji u odnosu prema drugim energentima znatno niža nego u drugim zemljama, što, sasvim sigurno, bitno pridonosi visokoj zastupljenosti električne energije u energetskej potrošnji domaćinstava.

## DODATAK A

## Kretanje broja stanovnika, društvenog proizvoda, finalne potrošnje i potrošnje energije u domaćinstvima 16 zemalja i SR Hrvatske

Zemlja	Broj stanovnika (10 <sup>6</sup> )				Društ. proizv. (10 <sup>9</sup> \$80)				Finalna potroš. (PJ)				Potr. u domaćin. (PJ)			
	1970.	1973.	1980.	1984.	1970.	1973.	1980.	1984.	1970.	1973.	1980.	1984.	1970.	1973.	1980.	1984.
Austrija	7,43	7,53	7,51	7,55	53,58	62,74	76,88	80,89	571,9	669,8	725,6	714,9	218,4	220,8	177,7	172,7
Čehoslovačka	14,33	14,80	15,31	15,46	30,39	35,21	44,10	—	1528,8	1576,3	1932,0	1324,7	385,0	543,8	401,4	384,8
Danska	4,93	5,02	5,13	5,11	52,61	59,54	66,32	71,70	682,0	725,0	592,6	527,0	345,0	334,8	222,4	232,0
Francuska	50,77	52,12	53,71	54,95	458,76	539,64	655,30	684,13	4503,4	5323,2	×	5743,0	1294,6	1792,0	1683,1	1542,3
Grčka	8,79	8,93	9,64	9,90	25,34	31,72	40,15	41,13	245,1	346,0	407,9	474,1	47,6	54,3	58,4	71,2
Italija	53,66	54,78	56,42	56,98	290,70	326,38	395,52	402,56	3197,3	3746,3	4076,1	4261,0	982,9	1268,1	1368,3	1444,0
Jugoslavija	20,37	20,96	22,30	22,96	30,29	35,82	53,01	54,60	663,3	773,1	1095,6	1068,8	213,0	250,1	282,8	274,7
Kanada	*	22,07	24,07	25,15	173,12	210,77	259,93	280,25	×	×	6172,4	5496,7	×	×	1174,1	1035,1
Mađarska	10,34	10,45	10,71	10,67	20,74	28,59	18,40	—	658,8	715,4	1032,7	1031,2	286,1	311,3	291,1	315,6
Nizozemska	13,04	13,44	14,15	14,42	127,13	143,31	169,38	170,22	1508,6	2114,2	1793,8	1684,0	680,8	879,0	587,3	463,0
Norveška	3,88	3,96	4,09	4,14	36,32	41,59	57,71	62,99	505,3	512,5	617,0	648,7	166,8	174,8	210,4	197,4
DR Njemačka	17,06	—	16,74	16,67	60,22	70,17	95,93	113,89	1751,7	1869,6	1990,0	2189,1	526,6	547,3	576,8	543,7
SR Njemačka	60,65	61,98	61,57	61,18	617,66	699,60	814,98	840,55	6750,0	7442,0	7529,0	7194,0	2618,0	2918,0	2719,0	2520,0
SAD	205,05	211,91	227,74	236,68	1953,54	2242,24	26506,63	2885,02	47639,9	53678,3	48796,0	46820,0	7440,2	8118,3	9296,5	8940,1
V. Břitanija	55,63	56,21	56,30	56,49	441,55	499,88	533,49	561,48	6109,0	6446,0	5809,0	5549,0	1539,0	1569,0	1518,0	1459,0
Španjolska	33,88	34,71	37,39	38,39	146,89	179,82	211,78	223,89	1088,1	1752,6	1945,2	1899,4	247,5	313,0	217,2	236,3
Hrvatska	4,41	4,47	4,59	4,64	8,29	9,60	14,01	14,11	171,47	191,95	249,93	253,82	65,08	66,99	86,32	87,82

N a p o m e n a : U potrošnju domaćinstava SR Hrvatske uključena je i potrošnja u uslužnoj djelatnosti.

## LITERATURA

- J. TOPIĆ, D. PEŠUT, L. STANIČIĆ, I. ŠIMURINA: »Analiza potrošnje energije u domaćinstvima«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1987.
- Annual Bulletin of: — General Energy Statistics for Europe; — Electric Energy Statistics for Europe; — Gas Statistics for Europe
- Energy Policies and Programmes of IEA Countries 1985 OECD, 1986.
- Coal Information 1985 OECD, 1986.
- Energetski bilans SFRJ 1981-1985, Savezni zavod za statistiku, Beograd
- Energetski godišnjak Jugoslavije 1980, Institut za ekonomiku industrije, Beograd, 1982.
- Interni podaci za potrošnju malih potrošača u SR Hrvatskoj, Institut za elektroprivredu, Zagreb

- [8] J. ZAPLOTNIK, M. WEBER: »Možnosti racionalizacije porabe električne energije v Sloveniji«, Elektroinštitut »Milan Vidmar«, Ljubljana, 1984.
- [9] J. ZAPLOTNIK: »Ekonomika uključevanja MTK sistemov v distribucijsko omrežje«, Elektroinštitut »Milan Vidmar«, Ljubljana, 1982.
- [10] M. BALLING: »Energetske podloge za dimenzioniranje distributivnih mreža«, Elektra-Zagreb, Zagreb, 1962.
- [11] V. ŠTENGL, D. BOROJEVIĆ: »Neke mogućnosti za analizu energetske karakteristika kućanstava«, Energija br. 7-8, 1965.
- [12] R. SCHENNER, R. ŠIMUNEC: »Mjerenje opterećenja i potrošnje električne energije u gradskim kućanstvima«, Institut za elektroprivredu, Zagreb
- [13] J. MOSER: »Idejno rješenje električne mreže grada Skopja«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1977.
- [14] J. NEVEŠČANIN: »Sekcioniranje supstitabilnih oblika široke potrošnje i analiza stanja i dosadašnjeg razvoja gradskog elektrodistributivnog sustava u razdoblju 1975.-1985. god.«, Split, 1985.
- [15] P. POTIĆ, S. JOSKIMOVIĆ, Đ. KALIĆ: »Racionalno korištenje električne energije u sistemu SR Srbije«, Elektrotehnički institut »Nikola Tesla«, Beograd, 1984.
- [16] Savjetovanje o energiji, Zbornik referata, Opatija 1985. i 1986. god.
- [17] Savjetovanje o racionalizaciji korištenja električne energije, Zajednica jugoslavenske elektroprivrede, Obrenovac, 1984.
- [18] Z. KOMERIČKI: »Potrošnja energije kod malih potrošača«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1975.
- [19] Tržište informacije, Zavod za tržišna istraživanja, Zagreb, 1982.
- [20] D. PEŠUT, I. ŠIMURINA: »Struktura potrošnje električne energije i projekcija do 2020. godine«, Institut za elektroprivredu Zagreb, 1986.
- [21] B. VIDAS: »Potrošnja naftinih derivata kod malih potrošača (1962-1972.)«, INA institut, Zagreb, 1973.
- [22] Materijali sa »IAEA« Training Course in Electricitiz Demand Forecasting«, Agronne, Illinois USA, 1985.
- [23] Tržišna informacija, Zavod za tržišna istraživanja, Zagreb, 1986.
- [24] Snabdjevanost domaćinstava trajnim potrošnim dobrima, Statistički bilten 1302, ST. 5, Beograd, 1982.
- [25] H. SCHAEFER: »Struktur und Analyse des Energieverbrauch der »Bundesrepublik Deutschland Resch«, Verlag, Munchen, 1980.
- [26] Program mjera za racionalizaciju proizvodnje, transformacije, transporta i potrošnje energije u SR Sloveniji, Republički komitet za energetiku SR Slovenije, 1978.
- [27] Statistički godišnjaci SFRJ za 1975, 1980, 1986. godinu, Savezni zavod za statistiku
- [28] Statistički godišnjaci SR Hrvatska za 1978. i 1985. godinu, Republički zavod za statistiku
- [29] Anketa o porodičnim budžetima radničkih domaćinstava, Statistički bilteni 965 i 1441, Savezni zavod za statistiku
- [30] Godišnjak elektroprivrede Hrvatske 1984, Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske
- [31] Statistical Yearbook 1979/80, United Nations, New York, 1981.
- [32] Grupa autora: »Ekonomika Jugoslavije«, Opći dio, Informator Zagreb, 1980.

#### AN ANALYSIS OF POWER CONSUMPTION IN YUGOSLAVIA AND SR CROATIA

In the article is compared a total final power consumption and power consumption in households in Yugoslavia and SR Croatia with equivalent values in selected countries. Some conclusions are made about development of final consumption and consumption of power in households for period 1970–1984 year, that are based on now-a-day development of final consumption, specific power consumption to the national income and population as well as on the base of consumption progress and prices.

#### ANALYSE DES ENERGIEVERBRAUCHES IN JUGOSLAWIEN UND IN SR KROATIEN

Der gesamte Energieverbrauch (Endverbrauch) und der Energieverbrauch im Haushalt in Jugoslawien und SR Kroatien wurde mit dem entsprechenden Verbrauch in fünfzehn ausgewählten Ländern verglichen. Aufgrund der Dynamik der Strukturentwicklung und des Verbrauchs einzelner Energieverbraucher, des spezifischen Energieverbrauchs nach der Einheit für das Gesellschaftserzeugnis, sowie aufgrund der Elastizität des Verbrauchs und des Preises einzelner Energieverbraucher, werden Beschlüsse über die bisherige Entwicklung des Endverbrauchs der Energie und des Verbrauchs in den Haushalten bei uns im Zeitabschnitt von 1970 bis 1984 gefasst.

#### АНАЛИЗ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЮГОСЛАВИИ И СР ХОРВАТИИ

Суммарное финальное энергопотребление и энергопотребление домашними хозяйствами в Югославии и СР Хорватии сопоставляется с соответствующими потребностями в пятнадцати выборочных странах. На основании динамики развития структуры и потребления некоторых энергопотребителей, удельного энергопотребления по единице общественного продукта производства и жителя, а также на базе движения эластичности потребления и цен для отдельный энергопотребителей делается вывод о происходившем до сих пор развитии финального энергопотребления и энергопотребления домашними хозяйствами у нас в период с 1970 по 1984 гг.

Naslov pisaca:

**Mr. Jakša Topić, dip. inž.**

**Mr. Damir Pešut, dipl. inž.**

**Mr. Luka Staničić, dipl. ecc.**

**Institut za elektroprivredu, 41000  
Zagreb, Proleterskih brigada 37,  
Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1987-11-20



# SOUR **MONTING** RO ENERGETIKA ZAGREB

## Predstavništva:

**MONTING RO ENERGETIKA**  
**38000 PRIŠTINA**  
Dardanja 9/a pt 277  
Telefon: 038/42-900

»INGRA-MONTING«  
**DÜSSELDORF**  
Telefon: 21184788  
Telex: 172114560

»MONTING«-ZAGREB  
**PRAG**  
Telefon: 297223; 292918  
Telex: 122065

## VRŠI IZGRADNJU I MONTAŽU:

- termoelektrana, toplana, energana, hidroelektrana, nuklearnih elektrana, te u sklopu istih montira sva pripadajuća postrojenja, kao kotlovska, turbinska, postrojenja za tretman industrijskih voda, mazutna gospodarstva i drugu pripadajuću opremu
- naftna, petrokemijska i procesna postrojenja
- metalurška, rudarska i postrojenja za proizvodnju obojenih metala
- čeličnih konstrukcija, unutrašnjih i vanjskih razvoda svih medija unutar termoelektrana, toplana, nuklearnih elektrana, hidroelektrana, naftnih, procesnih i metalurških postrojenja



**PROIZVODNI POGON U DUGOM SELU — PROIZVODNJA SILOSA I ČELIČNIH KONSTRUKCIJA**

## RO ZA IZGRADNJU I MONTAŽU OBJEKATA I ENERGETSKIH POSTROJENJA

41000 ZAGREB, Kesterčankova 1

## Telefoni:

Centrala	041/217-700
Direktor	222-499
Komercijalni sektor	214-960
Tehnički sektor	218-798
Financijski sektor	218-479
Telex: 21473 Mont yu	

- remonte i održavanje termoelektrana, hidroelektrana, nuklearnih elektrana, kotlovskih i turbinskih postrojenja, postrojenja za tretman industrijskih voda, mazutnih gospodarstva s rezervoarima, te remont i održavanja unutrašnjih razvoda
- remonte i održavanja naftnih, petrokemijskih, procesnih i metalurških postrojenja
- predsušionice i sušionice za drvo, različitih tipova i za različite režime sušenja, postrojenja za zaštitu čovjekove okoline
- antikorozivnu zaštitu čeličnih konstrukcija i opreme

## PROIZVODI:

- čelične konstrukcije, cijevne mostove, stepeništa i galerije, različitih tipova i za različite namjene
- predfabricira cjevovode svih dimenzija i kvaliteta, izrađuje fazonske dijelove za energetska i druga postrojenja
- posude, rezervoare, gazometre raznih tipova, namjena i za različite medije
- projektira u suradnji sa Institutom za drvo — Zagreb, i proizvodi predsušionice i sušionice za drvo, različitih tipova i za različite režime sušenja
- raznu specijalnu ne standardnu energetska i drugu opremu za različite svrhe i namjenu

# KOMPARATIVNA ANALIZA RAČUNSKIH MODELA DISPERZIJE POLUTANATA IZ TOČKASTIH IZVORA ONEČIŠĆENJA

Mr. Vladimir Jelavić, Zagreb

UDK 577.4:621.311

PREGLEDNI RAD

U članku se daje pregled postojećih modela disperzije i njihov historijski razvoj te komentira primjena modela u našim uvjetima. Komparativnom analizom obuhvaćeni su modeli disperzije polutanata iz točkastih izvora programskog paketa UNAMAP. Modeli su testirani na primjeru termoelektrane na ugljen snage 300 MWe. Rezultati pokazuju, da se u općem stanju onečišćenja sudeći na osnovi prosječnih godišnjih koncentracija, ne bi bitno pogriješilo primjenom bilo kojeg modela, kad se govori o relativno ravnom terenu. Pri detaljizaciji postoje znatne razlike i u tom slučaju modeli specijalne namjene opravdavaju svoju upotrebu.

**Ključne riječi:** model, ulazni podaci, komparativna analiza.

## 1. UVOD

Matematičkim modelima disperzije procjenjuju se prizemne koncentracije polutanata u atmosferi okoline energetskih i drugih izvora onečišćenja. Primjena modela jednako je česta za postojeće i planirane objekte. Za postojeće se objekte procjena provodi kao dopuna kontinuiranim mjerenjima koja, ako se i provode, ne daju potpunu sliku prostornog opterećenja okoline. Modelima se također procjenjuju efekti primjene sanacijskih zaštitnih postupaka i efekti alternativnih strategija zaštite okoline. Za planirane je energetske objekte primjena modela nezaobilazna pri izboru lokacije, utvrđivanju projektnih parametara i izboru optimalnih postupaka za zaštitu okoline. S obzirom na pooštrene kriterije zaštite okoline i neminovnost iskorištenja nečistijih energetskih resursa, primjena modela u posljednje vrijeme postaje sve važnija.

U svijetu se danas primjenjuje velik broj računskih modela disperzije, a njihovo je razvoj tek u zamahu. S tim u vezi javila se potreba preglednog prikaza postojećih modela i potreba za njihovim sistematiziranjem, instaliranjem i testiranjem, kako bi se komparativnom analizom odabrali modeli najprimjereniji našim uvjetima.

U ovom su radu analizirani modeli disperzije polutanata iz točkastih izvora onečišćenja. Predviđeno je da se u daljnjim fazama istraživanja izvrši analiza modela za procjenu radiološkog utjecaja te analiza modela za izvore drugih konfiguracija, npr. deponija, transportnih traka i sl.

Kad je riječ o klasičnim energetskim postrojenjima sa stajališta polutanata, na prvom su mjestu sumporni dioksid, sulfati, dušik-dioksidi, ugljik-monoksid i krute čestice. Problem emisije niza ostalih elemenata i spojeva te radioaktivnih sastojaka u određenim situacijama može biti jednako vrijedan pažnje.

Komparativna analiza provedena je ponajprije s obzirom na područje i pogodnosti primjene pojedinih modela. Zbog nedostatka mjernih podataka nije izvršena procjena valjanosti analiziranih modela uspoređivanjem izračunatih i izmjerenih koncentracija. O tom se problemu diskutira na osnovi podataka iz literature.

## 2. OPĆENITO O PROBLEMU MODELIRANJA DISPERZIJE ONEČIŠĆIVAČA ATMOSFEROM

Pod matematskim modeliranjem razumijeva se najčešće aproksimativno matematičko definiranje zakonitosti između pojedinih elemenata, činilaca fizikalnih pojava. U skladu s tim, disperzijski je model skup matematičkih izraza za opisivanje rasprostiranja onečišćivača atmosferom, pri čemu se pod terminom model razumijeva i odgovarajući programski kod za elektroničko računalo. Procesi kojima su podvrgnuti polutanti ispušteni u atmosferu jesu transport, difuzija, kemijska i fizička transformacija te depozicija.

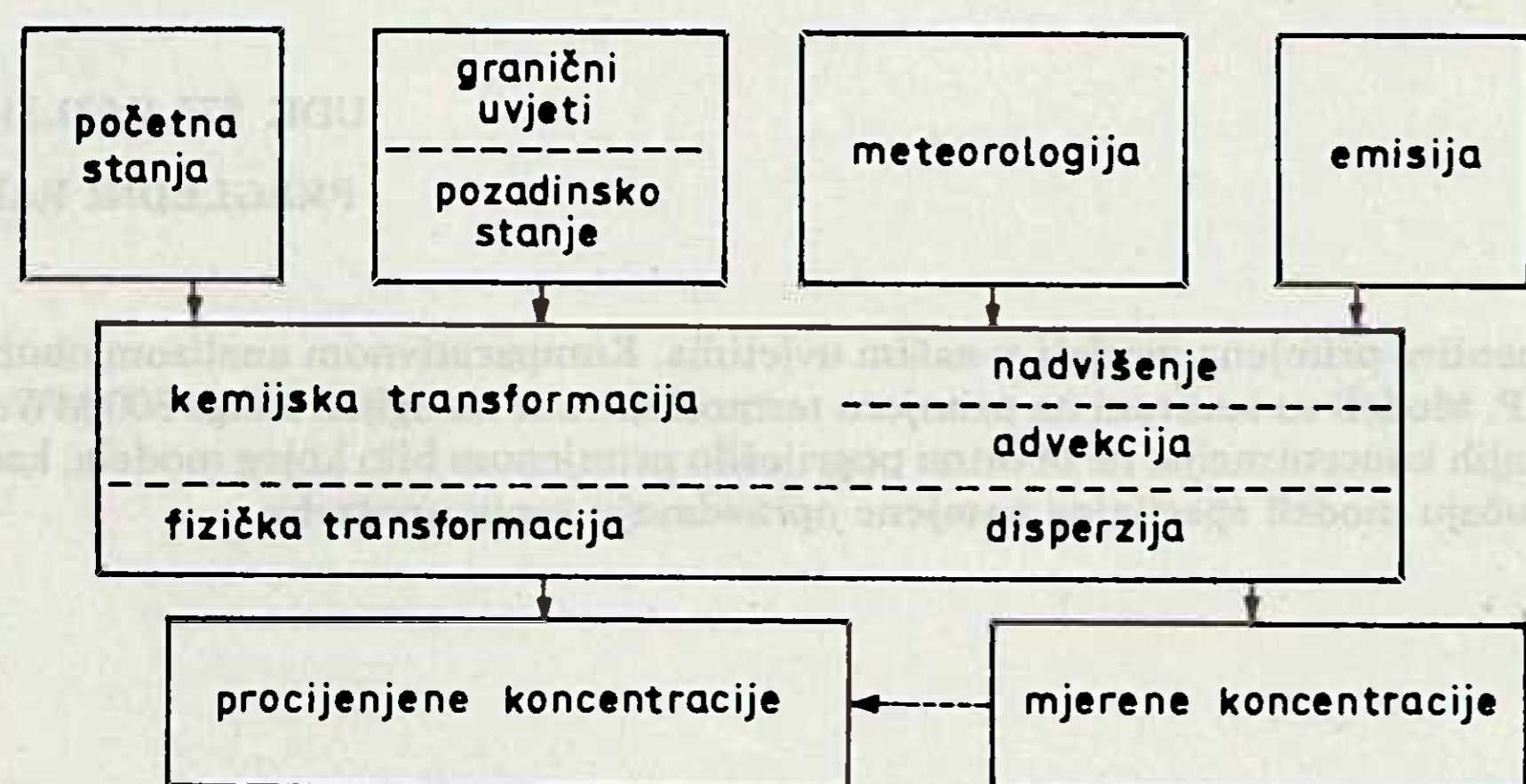
Rasprostiranje polutanata atmosferom karakterizira njihovo prenošenje vjetrom i difuzija izazvana turbulentnim miješanjem. Zanimljivo je doprinos molekularne difuzije. Turbulencija zraka izazvana je strujanjem zračne mase i termičkom stratifikacijom prizemnih slojeva atmosfere. U toku disperzije mnogi se polutanti fizikalno-kemijski bitno transformiraju. Tipične fizikalno-kemijske transformacije obuhvaćaju aglomeracije čestice, raspadanje, oksidaciju i druge kemijske reakcije (najčešće s vodom) a fotokemijske promjene uključuju djelovanje ultraljubičastih zraka.

Polutanti iz atmosfere padaju na zemlju u obliku mokroga ili suhog taloženja. Suho taloženje nastaje zbog gravitacijske sile ili sudaranja dimne perjanice s preprekama pri rasprostiranju. Na slici 1. shemat-



ski su prikazani procesi koji se pokušavaju opisati matematičkim modelima disperzije.

Ulazni podaci modela su meteorološki podaci i podaci emisije. Neki modeli zahtijevaju definiranje početnih stanja dvodimenzionalnih ili trodimenzionalnih distribucija koncentracija i definiranje graničnih stanja meteorologije te koncentraciju polutanata. Za druge je pak dovoljno samo poznavanje baznog fona onečišćenja. Rezultati modela su procijenjene koncentracije, koje mogu biti izražene za različita vremena uprosječivanja, za pojedinačne točke ili prostorno uprosječeno.



Slika 1. Elementi modela disperzije

Velik broj različitih modela disperzije onemogućuje njihovu sistematsku klasifikaciju. Podjelu je u načelu moguće izvršiti po područjima njihove primjene (urbani, ruralni, modeli za točkaste izvore, linijske izvore, plošne izvore, kompleksni teren, daljinski transport itd.) ili po primijenjenome matematičkom algoritmu. Podjela prema matematičkom postupku rješavanja problema često su vrlo različite, npr. [1] do [3]. Može se ipak reći da su najveću primjenu u praksi našli modeli temeljeni na dva osnovna pristupa: gradijent-transportnoj teoriji (K-modeli) i modeli statističkog pristupa. Modeli sličnosti, numerički modeli viših redova zatvaranja, Monte Carlo-statistički modeli, modeli potencijalnog strujanja, premda obećavaju, zbog nedovoljne provjere i zbog formata koji je često neprikladan za primjenu svrstavaju se u razvojne modele. Njihovu punu primjenu i usvajanje od regulatornih organa treba očekivati tek u narednom periodu.

Gradijent-transporta teorija pretpostavlja da je difuzija u određenoj izdvojenoj točki atmosfere proporcionalna lokalnom gradijentu koncentracija, a proračun se bazira na jednadžbama momenta količine gibanja i mase u fiksiranoj točki. Jednadžbe se rješavaju analitički ili numeričkim metodama. Statističkim (gausovskim) pristupom pokušava se utvrditi historijat izdvojene čestice i statistička svojstva potrebna za prikaz difuzije. Unutar navedene podjele modele je moguće razvrstati u modele s trajektorijama i modele nepromjenjiva smjera. Modeli trajektorija najčešće se primjenjuju za kratkotrajna ispuštanja (npr. akcidenti nuklearnih elektrana), a pravocrtnim se modelima simulira onečišćenje u rutinskome dugotrajnom radu energetskih izvora.

Kad govorimo o modelima statističkog tipa i gradijent-transportne teorije (K-modeli), svaki je pristup u određenom smislu ograničen. Razvoj kompjutora

u posljednje je vrijeme omogućio primjenu metoda baziranih na K-teoriji. Te metode uzimaju u obzir vremensko-prostorne varijacije vjetra, stabilnosti atmosfere, uključujući i kompleksnost terena okoline. Primjena navedene metode otežana je potrebom definiranja podataka početnog stanja atmosfere i graničnih uvjeta i nedostatkom jedinstvenosti u području difuzije, koja bi trebala dati potrebne difuzijske koeficijente za proračun. Nasuprot tome gausovski su modeli jednostavni za primjenu i pokazuju vrlo dobro koleriranje rezultata procjene s izmjerenim vrijednostima. Ti modeli omogućuju jednostavnu matematičku kalkulaciju i efektivnu primjenu elektroničkih računala, a statistički pristup u konzistenciji je s probabilističkom prirodom atmosferske turbulencije. To je uglavnom razlog da se najčešće primjenjuju. Gradijent-transportni modeli uglavnom se upotrebljavaju u zemljama Istoka, pri čemu je riječ o analitičkim rješenjima koja se pridružuju točno određenim klimatskim područjima.

### 3. HISTORIJSKI RAZVOJ RAČUNSKIH MODELA DISPERZIJE

Prvi radovi o modeliranju disperzije vezani su za meteorološka istraživanja. Istraživanje utjecaja meteorologije na transport polutanata intenzivirano je krajem prvoga svjetskog rata. U to je vrijeme osnovan i Chemical Defence Establishment (Engleska, 1918. god.). Istraživanja Suttona [4] u navedenom razdoblju rezultirala su Gaussovom jednadžbom za opisivanje disperzije i parametrima relevantnim za disperziju. Procjene koncentracija polutanata između 1950. i 1950. godine napravljene su upotrebom tih izraza [5,6].

Na osnovi vlastitih mjerenja i istraživanja drugih, stručnjaka Pasquill [7] je razradio metodu o tome kako meteorološka mjerenja s neke lokacije mogu biti iskorištena za procjenu disperzije i kako se koristiti istom metodom ako nemamo podataka sa te lokacije. Nakon toga je o korištenju rutinskih meteoroloških podataka za procjenu disperzije objavljeno više radova koji dijelom adaptiraju Pasquillove postavke [8,9,10]. U približno isto vrijeme Singer i Smith [11] trejserskim eksperimentima definiraju klase atmosferske turbulencije i parametre koji se također mogu primijeniti u gausovskim izrazima disperzije.

Bez pomoći mnogobrojnih eksperimentalnih mjerenja na otvorenoj ruralnoj orografiji i urbanim područjima, korektna se praktična primjena disperzijskih jednadžbi i modela ne bi mogla nastaviti. Uz pomoć fluorescentnih trejsera, monitoring-mjerenja radioaktivnih i neradioaktivnih polutanata, helikopterskih mjerenja, fizičkih modela, studirane su fizikalne osobine rasprostiranja polutanata atmosferom ruralnog područja. Istraživani su niski izvori, visoki izvori, dimni plinovi s uzgonskim efektom i bez njega, ponašanje perjanice na orografski blago razvijanom terenu i kompleksnom terenu, efekti vegetacije, utjecaji blizine velikih vodenih površina itd. Mjerenja su obuhvaćala udaljenosti od nekoliko desetaka metara do nekoliko stotina kilometara. Bitan prilog

problemu disperzije na ruralnim područjima dala su istraživanja i razvoj modela za procjenu raidološkog utjecaja nuklearnih postrojenja.

Prvi radovi o utvrđivanju utjecaja meteorologije na disperziju u urbanim područjima objavljeni su mnogo prije drugoga svjetskog rata [12]. Nakon drugoga svjetskog rata provode se mnoga istraživanja, a velik dio njih baziran je na analizama epizoda ekstremnih zagađenja, ili zbog akcidenata, ili zbog ekstremno nepovoljnih meteoroloških prilika. Modeli urbanog područja nalaze svoju punu primjenu s razvojem elektroničkih računala. Naime, otada je omogućena primjena metoda proračuna superponiranja pojedinačnih doprinosa izvora. Među prve modelske procjene koncentracija urbanog područja ubraja se Poolerov rad iz ranih sedamdesetih godina [13]. Slijede zatim modeli Turnera [14], Clarka [15], Millera i Holzwotha [16]. U to vrijeme Martin i Tikvard razvijaju model za procjenu dugotrajnih (sezonskih ili godišnjih) koncentracija AQDM, prvi model za široku primjenu. Taj je model kasnije nadograđen u CDM [18], a potom u CDMQC [19]. Temeljeni na sličnim osnovama, razvijeni su zatim ostali klimatološki modeli kao što je TCM [20] ili TEM [21].

Velik prilog modeliranju dali su, među ostalim autorima, Fortak [22], Calder [23], Hanna [24] i Gifford [25].

Bilo kakva diskusija o disperzijskim modelima bila bi nepotpuna ako ne bismo rekli nešto o modeliranju dimnog nadvišenja. Bosanquet, Carey i Halton [26] razvijaju metodu za proračun dimnog nadvišenja, ali je metoda tako složena da se u praksi nije znatnije primjenjivala. Holland [27] je razvio izraze za proračun nadvišenja izvora velike i srednje snage, koji se upotrebljavaju u praksi. Davidson [28] se koristi rezultatima mjerenja u zračnim tunelima za pobošljanje postojećih izraza nadvišenja. Briggs razvija nov pristup procjene nadvišenja, koji temelji na nizu izvršenih mjerenja [29, 30, 31]. Briggsovi su izrazi najčešće korišteni za proračun nadvišenja u izvornome ili modificiranom obliku.

S pojavom prvih modela disperzije pokazala se potreba njihova sistematiziranja radi pronalaženja jedinstvenog paketa modela za spektar mogućih problema onečišćenja zraka. Svuda su u svijetu pooštreni kriteriji čistoće zraka, i obaveza izrade studija utjecaja na okolinu bili su uzrok naglog razvoja modela disperzije. Nakon donošenja Akta o čistom zraku (SAD, 1970), Američka agencija za zaštitu okoline (EPA) — Odjel za planiranje kvalitete zraka — pokrenula je razvoj programskog paketa za procjenu onečišćenja atmosfere neradiaktivnim polutantima. U najuglednijim ustanovama EPA je sufinancirala razvoj modela paketa UNAMAP (Usper's Network for Applied Modeling on Air Pollution). Programski je paket usavršavan i dopunjavan novim modelima, u skladu s novim spoznajama u području modeliranja disperzije.

U nastavku ćemo detaljnije opisati programski paket UNAMAP, iz kojega su selektirani programi namijenjeni specijalno izvorima s velikom snagom emisije.

Programi paketa UNAMAP jednako se uspješno primjenjuju u SAD, u zemljama Zapadne Evrope i u Japanu. Pri tom primjenjuju u izvornom obliku ili se modificiraju s obzirom na neke specifičnosti meteorologije.

U SR Njemačkoj se Tehničkim uputama za očuvanje čistoće zraka [32] propisuje i postupak proračuna disperzije. Postupak se u osnovi temelji na izrazima sadržanim u modelima paketa UNAMAP (gaussovske jednadžbe). Za precizne i strogo specifične proračune primjenjuju se i izvorni programi. Metoda proračuna prizemnih koncentracija u SSSR-u je zakonski regulirana Preporukama o proračunu rasprostiranja u atmosferi štetnih tvari iz industrijskih pogona [33]. Postupak nije moguće primijeniti na druga područja jer se osniva na izvedenoj gradijentnoj metodi proračuna s pojednostavljenim empirijskim konstantama tablično zadanim za pojedine dijelove SSSR-a.

#### 4. PROGRAMSKI PAKET UNAMAP

Posljednja verzija programskog paketa UNAMAP 5 [34] sadrži 31 model. Modeli paketa zapravo su posljednje spoznaje iz područja modeliranja disperzije neradioaktivnih polutanata u različitim orografskim i drugim uvjetima.

U nastavku ćemo dati kratki opis svih modela iz paketa UNAMAP 5. Modeli su pisani programskim jezikom FORTRAN za primjenu na elektroničkom računalu srednje velikih performansi, npr. za UNIVAC 1110.

APRAC — model Stanford, istraživačkog instituta za urbana područja i ugljik-dioksid. Računa satne koncentracije za bilo koju lokaciju urbanog područja. Zahtijeva vrlo ekstenzivne podatke o emisiji prometa.

CDM — klimatološki disperzijski model za procjenu dugotrajnih (sezonskih ili godišnjih) prizemnih koncentracija kvazistabilnih polutanata koristeći se prosječnim emisijama točkastih i plošnih izvora te pridruženim funkcijama frekvencije smjera vjetra, brzine vjetra i stabilnosti atmosfere.

CDMQC — proširena verzija CDM modala s mogućnošću kalibracije i određivanja doprinosa svakoga pojedinog točkastog ili plošnog izvora onečišćenja.

CRSTER — modelom se procjenjuju prizemne koncentracije zbog povišenih točkastih izvora smještenih na istoj lokaciji (najviše 19) za cijelu godinu. Ispisuju se jedno satne, trosatne, osmosatne i 24-satne koncentracije za 180 receptora (pet udaljenosti i 36 smjerova). Algoritam je baziran na stacionarnoj Gaussovoj jednadžbi, koja se koristi empirijskim disperzijskim koeficijentima i uključuje postupno dimno nadvišenje i visinu sloja miješanja. Elevacije receptora promatraju se do visine najvišeg izvora onečišćenja. Koncentracije se izračunavaju za razdoblja uprosječivanja, bez njihova preklapanja, iskorištenjem satnih podataka o smjeru vjetra, brzini vjetra, stabilnosti atmosfere i visini sloja miješanja.

HIWAY — računa satne koncentracije nereaktivnih polutanata blizu prometnica. Primjenjiv je za ustaljeno strujanje vjetra i relativno ravan teren. Posebno je pogodan za analizu autoputova na povišenom tlu ili u usjecima.

RAM — gaussovski model mnogobrojnih izvora za procjenu kvalitete zraka. Modelom se procjenjuju kratkotrajne koncentracije stabilnih polutanata urbanih točkastih i plošnih izvora. Koristi se satnim meteorološ-

- kim podacima. Satne koncentracije uprosječuju se u proizvoljno odabranim vremenskim intervalima. Dimno se nadvišenje računa Briggsovim izrazima, a disperzijski faktori prema Pasquill-Giffordu. Koncentracije zbog plošnih izvora računaju se Hannover metodom, koja pretpostavlja da utjecaj na receptor u određenom trenutku imaju samo izvori uz vjetar. Omogućeno je lociranje receptora niz vjetar od dominantnih izvora i postavljanje receptora u obliku mreže.
- TCM** — (Texas Climatological Model) klimatološki model gaussovskog tipa za procjenu dugotrajnih (sezonskih ili godišnjih) prosječnih koncentracija nereaktivnih polutanata.
- TEM8** — (Texas Episodic Model) model gaussovskog tipa za proračun kratkotrajnih koncentracija nereaktivnih polutanata.
- VALLEY** — algoritam za stacionarno strujanje gaussovskog tipa za procjenu 24-satnih ili godišnjih koncentracija zbog emisije iz 50 površinskih i točkastih izvora na orografski razvijenome kompleksnom terenu. Prizemne se koncentracije izračunavaju na osnovi smjera vjetra klasificiranog u 16 pravaca, stabilnosti u šest i brzine u šest klasa. Proračunom se dobivaju koncentracije u 112 receptorskih točaka uz upotrebu empirijskih disperzijskih koeficijenata. Proračun uključuje nadvišenje i visinu sloja miješanja. Transport dimne perjanice opisuje se ovisno o orografiji i stabilnosti atmosfere.
- APRAC3** — model sadrži dvije modifikacije u odnosu prema prijašnjoj verziji: 1. unaprijeđena je metodologija proračuna emisijskih faktora, 2. model je proširen plošnim izvorima. Emisija linijskih izvora modeliranih u mreži uključuje ugljik-monoksid i okside dušika. Disperzijski se proračun temelji na receptoru orijentiranim gaussovskim izrazima, pri čemu se uzima u obzir lokalni vjetrovi na lokacijama receptora. Algoritam sadrži modele za lokalno onečišćenje iz pojedinačnih ulica i prometnih križanja sa semaforima. Za pripremu ulaznih podataka postoji i preprocesorski program.
- BLP** — model za linijske i plošne izvore, razvijen je za potrebe specifičnosti simulacije onečišćenja u okolini industrijskih kompleksa aluminijske industrije, gdje je dimno nadvišenje i povijanje dimne perjanice (dawnwash) vrlo bitan faktor.
- COMPLEX I** — model za više točkastih izvora s prilagodbom za orografski razvijen teren. Djelomično je prijelazan algoritam između modela Valley i COMPLEX II. Model je preporučila grupa eksperata koji su radili na programu razvoja modela za orografski razvijen teren (Workshop on Air Quality Modeling, Chicago 1980). To je sekvencijski model koji proračun bazira na satnim meteorološkim podacima i pretpostavlja da satno uprosječena dimna perjanica podliježe normalnoj razdiobi u vertikalnom sektoru i ujednačenoj razdiobi širom sektora  $22,5^\circ$ .
- COMPLEX II** — model za više točkastih izvora s prilagodbom za orografski razvijen teren. Model je preporučila grupa eksperata koji su radili na programu razvoja modela za orografski razvijen teren (Chicago, 1980). Pretpostavlja normalnu distribuciju u vertikalnome i horizontalnom smjeru.
- COMPLEX/PFM** — modificirana verzija modela COMPLEX (I i II). Sadrži opciju za procjenu potencijalnog strujanja (PFM). Ako se ne primjenjuje PFM, model izvodi COMPLEX I ( $22,5^\circ$  sektorski uprosječena horizontalna i normalno distribuirana vertikalna razdioba) za klase stabilnosti 5 i 6 (E i F po Pasquillu), a COMPLEX II (dvodimenzionalna normalna razdioba) za stabilnosti 1 do 4 (A do D). Ako je odabrana PFM opcija, proračun kao COMPLEX II izvodi se za klase stabilnosti 1 do 3, ako je perjanica iznad diobene kritične strujnice toka, PFM proračun se provodi za klase 4 do 6, a COMPLEX I za stabilnosti 4 do 6 ako je perjanicu ispod diobene strujnice.
- Dodatni modeli za pripremu opsežnoga meteorološkog inputa su SETUP, READ 56 i PROFIL.
- HIWAY 2** — batch i interaktivni program za proračun satnih koncentracija nereaktivnih polutanata niz vjetar od prometnice. Primjenjiv je za ujednačeno strujanje i relativno ravan teren. HIWAY 2 je obnovljena verzija programa HIWAY.
- ISCLT** — (Industrial Source Complex Long-Term) model gaussovskog tipa, računa dugotrajne koncentracije za različite izvore onečišćenja kompleksnih industrijskih i energetske područja. Modelom je obuhvaćeno gravitacijsko i suho taloženje krutih čestica, završinski efekti, površinski, točkasti, emisijksi i prostorni izvori, dimno nadvišenje u funkciji udaljenosti, prilagodba za orografski razvijen teren. Razvijen je za procjenu sezonskih i godišnjih prizemnih koncentracija ili ukupne depozicije iz kontinuiranih točkastih, plošnih i prostornih izvora. Izvori mogu biti postavljeni bilo gdje u definiranoj mreži područja koje se promatra.
- ISCST** — (Industrial Source Complex Short-Term) model jednakih karakteristika kao ISCLT, samo je namijenjen proračunu kratkotrajnih prizemnih koncentracija i depozicija za 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12 i 24-satne periode. Koncentracije se mogu izračunati kao prosjeci proizvoljno zadanoga vremenskog perioda (depozicija također).
- SHORTZ** — razvijen je za proračun kratkotrajnih koncentracija velikog broja receptora zbog emisije mnogobrojnih točkastih izvora, zgrada i površinskih izvora. Primjenjuje sekvencijski meteorološki input (najčešće satni) za proračun koncentracija s vremenom uprosječivanja od jednog sata do godine dana. Model je primjenjiv za ravni i kompleksni teren. U opciji za kompleksan teren zahtijeva znatni kapacitet vanjske memorije računala. Meteorološki podaci rutinskih mjerenja mogu se pripremiti preprocesorskim programom METZ.
- LONGZ** — jednakih je karakteristika kao SHORTZ, samo je namijenjen proračunu dugotrajnih (sezonskih ili godišnjih) prosječnih koncentracija onečišćenja.
- MESOPLUME** — model dimne perjanice varijabilnog smjera (»bent plume«) za proračun koncentracija  $SO_2$  i  $SO_4$  na velikim udaljenostima. Korisniku orijentiran MESOPLUM omogućuje vrlo širok spektar opcija. Razvijen je za meteorološki scenario proizvoljnog trajanja. Scenario se uspostavlja uz pomoć odgovarajućega preprocesorskog meteorološkog programa MESOPAC. Model daje mrežu koncentracija uprosječenih u proizvoljno zadanim periodima i ispis za postprocesorski model MESOFIL kojim se provodi statistička analiza i plotiraju rezultati. Proračun obuhvaća dimno nadvišenje, zadimljenje, linearnu konverziju  $SO_2$  i  $SO_4$ .
- MESOPUFF** — model varijabilnog smjera osnovan na konceptu lanca pojedinačnih ispusta (puff modeling), posebno razvijen za simulaciju onečišćenja iz više točkastih izvora na velikim udaljenostima. Transformacije  $SO_2$  i  $SO_4$  obuhvaćene su modelom. Meteorološki scenario moguće je pripremiti preprocesorskim programom MESOPAC. Izlaz modela opsegom je jednak MESOPLUM modelu.
- MESOPAC** — program za pripremu meteoroloških podataka regionalnog nivoa za modele regionalne i daljinske simulacije onečišćenja. Radiosondažni meteorološki podaci i podaci prizemnog mjerenja s više meteoroloških stanica koriste se za vremensko-prostorne interpolacije i ciljno formiranje polja meteoroloških podataka. Ono uključuje komponente vjetra, visinu sloja miješanja, i klase stabilnosti atmosfere. MESOPAC je neovisni program koji se relativno jednostavno može prilagoditi bilo kojem mezodifuzijskome modelu. Inače je najčešće prilagođen pripremi podataka za MESOPUFF i MESOPLUM. Korisniku orijentiran program omogućuje izbor gustoće mreže receptora, proizvoljno usmjerenje mreže receptora,

definiranje specijalnih receptorskih tačaka, minimiziranje podataka s meteoroloških stanica sondažnoga i prizemnog mjerenja, izbor vremena uprosječivanja itd.

**MESOFIL** — program za analizu rezultata i manipulaciju rezultatima. Program obuhvaća povezivanje programa MESOPUFF, MESOPLUM i MESOGRID. Sastoji se od pet različitih modela, i to za: organizaciju datoteka, brisanje, manipulaciju, statističku analizu i grafički prikaz. Zahvaljujući tom modelu, izlaz mezomodela može biti vrlo jednostavno postprocesoriran.

**MPTE** — gausovski model više izvora s opcijom za primjenu na orografski razvijenom terenu. MPTE procjenjuje koncentracije na temelju satnih vrijednosti inertnih polutanata ( $\text{SO}_2$ , krute čestice). Pasquill-Giffordovi disperzijski koeficijenti iskorištavaju se za rasprostiranje, a Briggsovi izrazi za dimno nadvišenje. Model je posebno pogodan za primjenu na udaljenostima do 10 km i područjima s ravnim i blago brežuljkastim terenom. Omogućena je upotreba izraza za profil brzine vjetra s visinom, uzgonski inducirano disperziju, postepeno dimno nadvišenje, zavjetrinske efekte i raspadanje polutanata.

**MPTDS** — modifikacija MPTE s dodatkom za procjenu gravitacijskoga i suhog taloženja te izrazima za osiromašenje dimne perjanice. Modelom je moguće obuhvatiti maksimalno 250 točkastih izvora i 180 receptora. Zahtijeva satne meteorološke podatke. Periodi simulacije su od jednog sata do godine dana.

**PAL** — PAL (Point, Area, Line Source Algorithm) je model za procjenu kratkotrajnih koncentracija i ustaljeno strujanje iz točkastih plošnih i linijskih izvora. Proračun plošnih izvora uključuje zavjetrinske efekte, a proračun linijskih varijabilnu emisiju duž trase. Model je namijenjen analizi dijelova urbanih sredina kao što su aerodromi, velika parkirališta, industrijski kompleksi. Procjenjuju se satne koncentracije, pri čemu se provodi uprosječivanje do 24 sata.

**PALDS** — modifikacija PAL modela s proračunom depozicije i osiromašenjem dimne perjanice kao opcijom. Izvori mogu biti plošni, horizontalni linijski, specijalni linijski, horizontalni zakrivljeni i specijalni zakrivljeni linijski.

**PTPLU** — model točkastih izvora za prethodne procjene maksimalnih prizemnih jedno-satnih koncentracija. Model je izveden u batch i interaktivnoj verziji. PTPLU je temeljen na Briggsovim izrazima nadvišenja i Pasquill-Giffordovim koeficijentima disperzije prema (lit. 10). PTPLU je proširena verzija modela PTMAX, s izrazima za profil brzine vjetra s visinom, uzgonski induciranom disperzijom, zavjetrinskim efektima i postupnim dizanjem dimne perjanice. PTPLU daje koncentracije u ovisnosti o brzini vjetra s visinom i klasom stabilnosti.

**ROADCHEM** — model je verzija programa ROADWAY s dopunom izraza za kemijske reakcije i transformacije  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  i  $\text{O}_3$  te advekciju i disperziju  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$  i  $\text{CO}$ . Koristi se teorijom plošne sličnosti za konstrukciju vertikalnog profila vjetra i turbulencije. Koriste se temperature i brzine vjetra s dvije visine. Izrazi u modelu eksperimentalno su potvrđeni tunelskim mjerenjima.

**ROADWAY** — model konačnih elemenata. Njime se procjenjuju koncentracije polutanata blizu prometnica. Koristi se teorijom plošne sličnosti za konstrukciju vertikalnog profila vjetra i turbulencije. Potrebni su podaci o temperaturi i brzini vjetra za dvije visine (obično s meteorološkog tornja i uz prometnice).

**PTDIS** — model za prethodne procjene kratkotrajnih koncentracija iz točkastih izvora za receptore smještene niz vjetar. U model su uključeni efekti visine sloja miješanja i postupno dimno nadvišenje. Dimno nadvišenje računa se po Briggsu, a disperzijski koeficijenti po Pasquill-Giffordu.

**PTMAX** — model za prethodne procjene maksimalnih koncentracija iz točkastih izvora u ovisnosti o stabilnos-

ti i brzini vjetra. Koristi se konceptom finalnog nadvišenja izračunatim prema Briggsovim izrazima.

**PTMTP** — model za procjenu koncentracija velikog broja receptora smještenih iznad zemlje i onečišćenih iz točkastih izvora. Za svaki se izvor računa dimno nadvišenje i doprinos ukupnim koncentracija. Nadvišenje se računa po Briggsovim izrazima.

## 5. MODELI KOJI SE PRIMJENJUJU U SFRJ

Problemima procjene prizemnih koncentracija onečišćivača u našoj zemlji bave se projektne ustanove, hidrometeorološki zavodi, energetska i higijenska instituti.

Počeci proračuna koncentracija u svim su sredinama vezani za utvrđivanje potrebne visine dimnjaka energetskih postrojenja radi zadovoljevanja norme o maksimalnoj prizemnoj koncentraciji. Za tu su svrhu korištene tehničke upute SR Njemačke, različiti nomogrami i pojednostavljeni proračuni gausovskog tipa. Navedeni nivo obrade zadržao se i danas u dijelu projektnih radnih organizacija, bez obzira na to što se norme kvalitete zraka više ne iskazuju diskretnim vrijednostima već kao statističke veličine.

U SR Sloveniji problemima disperzije bave se tri ustanove: Institut »M. Vidmar«, RHMZ SR Slovenije i Zavod za meteorologiju Fakulteta za fiziku. Prve dvije institucije rade proračune uz pomoć modela statističkog tipa s ograničenim meteorološkim inputom. Naime, za područje SR Slovenije dosada nisu sistematizirana mjerenja visine sloja miješanja kao bitnog parametra proračuna disperzije. Zavod za meteorologiju Fakulteta za fiziku bavi se problemima disperzije kao sporednom djelatnošću i više teorijski, u sklopu proučavanja problema strujanja [35] i [36].

U SR Srbiji u upotrebi su kompjutorizirani modeli proračuna, ali uglavnom za prevladavajuća strujanja i jednostavnije slučajeve [37], bez detaljnih simulacija i analiza za različite topografske uvjete.

U SR BiH vodeća ustanova koja se bavi problemom disperzije jest Institut za procesnu tehniku, energetiku i tehniku zaštite čovjekove sredine Mašinskog fakulteta u Sarajevu. Za simulaciju onečišćenja iz točkastih izvora koristi se numeričkim modelom (u nastavku IPTETS). Model IPTETS predviđen je za proračun transporta zagađujućih materijala u mezoskali za ravne terene i terene razvijenog reljefa, jer se transformacijom vertikalne koordinate modelom mogu obraditi tereni kompleksne topografije [38]. Tretiranje nestacionarnih pojava omogućeno je primjenom diferencijalne jednadžbe difuzije i uvođenjem vremenske promjene jačine izvora polutanata. Za rješavanje općeg oblika trodimenzionalne diferencijalne jednadžbe difuzije primjenjuje se implicitna numerička procedura bazirana na metodi konačnih volumena.

U SR Makedoniji, procjene onečišćenja pomoću modela za elektroničko računalo tek su u začetku, a testiranje provodi Centar za elektroničku obradu podataka.

U SR Hrvatskoj mogu se izdvojiti četiri organizacije koje se bave problemima disperzije: Institut za medi-

cinska istraživanja, Institut »R. Bošković«, RHMZ SR Hrvatske — Centar za meteorološka istraživanja i Institut za elektroprivredu Zagreb. U prvoj se instituciji proračun obavlja na osnovi gaussovskoga osnovnog disperzijskog modela, prema preporukama i nomogramima u [10], s tim što se za proračun dimnog nadvišenja primjenjuju Holandovi ili Suttonovi izrazi [39]. Za izdvojena meteorološka stanja proračun se provodi analizom najnepovoljnijih uvjeta, najčešće radi utvrđivanja projektnih parametara dimnjaka.

Institut »R. Bošković« u posljednje vrijeme nije radio na važnijim problemima disperzije. Obavljeni su neki aproksimativni proračuni u sklopu analize radiološkog utjecaja TE Plomin na okolinu [40].

Centar za meteorološka istraživanja RHMZ već dulje vrijeme provodi analize onečišćenja i razvija svoje verzije modela za urbane sredine, konvencionalna, energetska postrojenja i nuklearne objekte. Važno je reći da ta ustanova provodi meteorološka mjerenja u skladu s potrebama modeliranja, a obavlja njihovu stručnu predobradu i sistematizaciju, što omogućuje jednostavnu upotrebu ostalim institucijama koje se bave tom problematikom. Za proračun disperzije iz točkastih izvora koristi se model gaussovskog tipa (u nastavku CMI) s uključenim dopunskim jednadžbama koje omogućuju uvođenje vremenske varijacije (dnevnog koda) visine sloja miješanja, slučajevne tišina i slabih vjetrova te pojavu zadimljenja [41].

U Institutu za elektroprivredu prije dva desetljeća započete su procjene onečišćenja na osnovi tada poznatih nomograma i jednostavnih izraza radi utvrđivanja projektnih parametara i grubih analiza. Primjena modela za elektroničko računalo počinje istodobno s razvojem kompjutorizacije, pa se prvi modeli, kao što je Hanna ADTL model, koriste od 1973. godine. Primjena modela na širokom spektru problema onečišćenja počinje upotrebom računskih programa programskog paketa UNAMAP, verzije 3, iz 1979. godine.

Danas su u Institutu instalirani svi modeli posljednje verzije programskog paketa UNAMAP 5 u izvornoj ili modificiranom obliku. Modeli su dosada primjenjivani na nizu praktičnih primjera, pri čemu su na lokacijama koje su imale podatke mjerenja uspješno testirani komparacijom izračunatih i izmjerenih vrijednosti [42, 43].

Osim modela za konvencionalna energetska postrojenja i neradioaktivne polutante, Institut je razvio niz modela za analize radiološkog utjecaja nuklearnih elektrana i konvencionalnih elektrana na ugljen, te modele za utjecaj rashladnih tornjeva. Prvi navedeni modeli proračunavaju disperzije u sklopu proračuna radioaktivnih doza i procjene rizika za stanovništvo. Od inozemnih modela tog tipa uotrebljavaju se u svijetu poznati modeli GASPARI, TIRION, EDO, CRAC2, AIRDOS-EPA, AXIDENT, EXREMIN-REM III, CAAC.

## 6. KOMPARATIVNA ANALIZA MODELA TOČKASTIH IZVORA

Po pravilu za ispuštanje polutanata iz dimnjaka energetskih postrojenja primjenjuju se modeli točkastih

izvora. U slučaju emisije s ostalih površina primjenjuju se modeli linijskih, plošnih ili volumnih izvora. U nastavku su analizirani modeli točkastih izvora selektirani iz programskog paketa UNAMAP (18 modela) te modeli IMI i PTETS.

### 6.1. Komparativna analiza karakteristika modela

U tablici 1. za lakše uočavanje komparativnih razlika izdvojene su osnovne osobine modela. Karakteristike modela promatrane su s obzirom na polazne podatke proračuna i svojstva algoritma proračuna, pri čemu su naznačena i područja aplikacije pojedinih modela.

Premda sama tablica 1. govori dovoljno, treba reći da se modeli po složenosti generalno mogu razdvojiti u dvije grupe: modeli za proračun dugotrajnih koncentracija i modeli za proračun kratkotrajnih koncentracija (period uprosječivanja do jednog sata). Prvi su modeli po meteorološkom inputu i algoritmu proračuna jednostavniji, a time i jeftiniji za izvođenje na elektroničkim računalima. To je i razlog što autori često modularno razdvajaju modele radene na istim teorijskim osnovama u dva neovisna programa. Primjer takvog pristupa je LONGZ, SHORTZ, ISCLT i ISCST.

Modeli jednostavnijeg algoritma mogu biti izvođeni s već preračunatim podacima da bi se uključili dodatni efekti, npr. promjena brzine vjetra s visinom ili disperzijski faktori za ruralno ili urbano područje. Superponiranjem rezultata dobivenih ponavljanjem proračuna za jedan izvor moguće je uočiti i utjecaj više izvora. Naravno, najefikasnije je ako model već u sebi sadrži što više korisniku orijentiranih opcija. Na taj se način rad s jednim modelom rutinira, pa su greške pri definiranju polaznih podataka manje vjerojatne.

### 6.2. Ulazni podaci proračuna

Modeli su testirani na primjeru termoelektrane na ugljen snage 300 MWe, lociranoj 15 km od Zagreba, u smjeru ENE (selo Okunščak). Ulazni proračuna za tako definiran primjer odnose se na meteorologiju, podatke o emisiji, orografiji i receptore.

Za meteorološke podatke poslužili su rezultati mjerenja meteorološke stanice Oborovo iz 1981. god. Podaci o satno usrednjenim vrijednostima brzine i smjera vjetra, stabilnosti atmosfere, temperature i visine sloja miješanja dobiveni su od CMI RHMZ SR Hrvatske. Iz ukupnog seta meteoroloških podataka za 1981. godinu za proračun je izdvojeno 263 dana s kompletnim podacima, što čini 72% cjelogodišnjeg razdoblja.

S obzirom na karakteristike emisije, pretpostavljeni su sljedeći parametri:

visina dimnjaka	200 m
promjer dimnjaka	6 m
brzina dimnih plinova na izlazu iz dimnjaka	20 m/s
temperatura dimnih plinova na izlazu iz dimnjaka	413 K.

Tablica 1. Komparativni prikaz karakteristika modela disperzije iz točkastih izvora

Br	Model	Ulazni podaci					Karakteristike algoritma												Ostalo	
		emisija u funkciji vremena	meteorol. uvjeti prizemnog sloja atmosfere	meteor. uvjeti viših slojeva atmosf.	pret-proces meteor. progr.	izvori emisije	matematičke osnove modela	disperz. faktori	dimno nadviš u funkc. udalj.	uzgonska disperzija	zavjetr. iza dimnjaka »d. wash«	zavjetr. iza objekta	profil brzine vjetrova s vis.	orografija	transformac. u toku transp.	gravitac. i suho taloženje	konverz. SO <sub>2</sub> u SO <sub>4</sub> i talož.	vrijeme uprosječivanja koncent.	plotiranje rezultata	specif. namjena
1	PTMAX	NE	generira program	NE	NE	jedan točkasti	gausovski	ruralno	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	1 sat	NE	lokac. i iznos maks koncent.
2	PTDIS	NE	za jedan sat	NE	NE	jedan točkasti	gausovski	ruralno	NE	NE	NE	NE	NE	receptor iznad zemlje	NE	NE	NE	1 sat	NE	ovisnost konc. o udaljenosti
3	PTMTP	NE	satna	NE	NE	više točkasti	gausovski	ruralno urbano	NE	NE	NE	NE	NE	receptor iznad zemlje	NE	NE	NE	1 sat 24 sata	NE	koncentrac. zbog više izvora
4	PTPLU	NE	generira program	NE	NE	jedan točkasti	gausovski	ruralno	DA	DA	DA	NE	DA	receptor iznad zemlje	NE	NE	NE	1 sat	NE	lokac. i iznos maks. koncent.
5	CRSTER	satna do godišnja	satna	NE	DA	više točkastih	gausovski	ruralno	DA	NE	DA	NE	NE	DA, do visine dimnjaka	DA	NE	NE	≤ 24 sata pros. god	NE	točkasti izvori velike emisije
6	VALLEY	epizodna sezonska godišnja	epizodna sezonska godišnja statist.	NE	NE	više točkastih i plošni	gausovski	ruralno urbano	DA	NE	NE	NE	NE	DA	DA	NE	NE	epizoda sezona godina	DA	orografski razvijen teren
7	MPTER MPTER-DS	satna do godišnja	satna	NE	DA	više točkastih	gausovski gradijent transportni	ruralno urbano	DA	DA	DA	NE	DA	DA, do visine dimnjaka, aproks. iznad	DA	DA	NE	524 sata do godine	NE	točkasti izvori velike emisije
8	ISCLT	satna do godišnja	satna	NE	DA	točkasti plošni linijski volumni	gausovski	ruralno urbano I urbano II	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	≤ 24 sata do godine	NE	složeni industrijsko-energet. kompleksi
9	ISCST	epizodna sezonska godišnja	epizodna sezonska godišnja statist.	NE	DA	točkasti plošni linijski volumni	gausovski	ruralno urbano I urbano II	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	epizoda sezona godina	NE	složeni industrijsko-energet. kompleksi
10	LONGZ	ovisna o meteorolog. sezonska do godišnja	epizodna sezonska godišnja statist.	NE	NE	točkasti plošni zgrade	gausovski	ruralno urbano	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	epizoda sezona godina	NE	složeni industrijsko-energetski kompleksi
11	SHORTZ	satna do godišnja	satna	NE	NE	točkasti plošni zgrade	gausovski	ruralno urbano	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	DA	NE	≤ 24 sata do godina	NE	složeni industrijsko-energetski kompleksi
12	COMPLEX 1 COMPLEX 2	satna do godišnja	satna	NE	DA	više točkastih	gausovski	ruralno urbano	DA	DA	DA	NE	DA	DA	DA	NE	NE	≤ 24 sata do godina	NE	veliki emiteri na orografski razvij. terenu
13	COMPLEX/ PFM	satna do godišnja	satna	satna	DA (neko-liko)	više točkastih	gausovski potencijal. strujanje	ruralno urbano	DA	DA	DA	NE	DA	DA	DA	NE	NE	≤ 24 sata do godina	NE	veliki emiteri na orografski razvij. terenu
14	MESOPLUM MESOPUFF MESOGRID	satna	satna	satna	Da (neko-liko)	više točkastih	gausovski gradijent transportni	ruralno urbano	DA	DA	NE	NE	NE	DA	DA	NE	DA	≤ 24 sata do godina	DA	mezotransport ≥ 100 km
15	CMI		satna	NE	NE	jedan točkasti	gausovski	ruralno	NE	NE	DA	NE	DA	DA	NE	NE	NE	≤ 24 sata do godina	NE	točkasti izvori velike emisije
16	IPTEFS		satna	DA	DA	točkasti	gradijent transportni	ruralno	NE	NE	NE	NE	NE	DA	NE	NE	NE	≤ 24 sata do godina	NE	mezotransport

Proračun je obavljen za sumpor-dioksid s emisijom 3000 g/sek, kontinuirano u toku cijele godine, što odgovara ugljenu sa 2,74% emitiranog sumpora sagorenom u elektrani snage 3000 MWe.

Receptorske točke proračuna definirane su udaljenostima 5, 10, 15, 20 i 30 km od elektrane u 16 ili 36 smjerova, ovisno o modelu, uzimajući u obzir orografiju terena.

Proračun je napravljen svim modelima programskog paketa UNAMAP iz tablice 1. osim modelima MESOPLUM, MESOPUFF, MESOGRID i SHORTZ. Modeli mezoskale i SHORTZ nisu testirani zbog ograničenog opsega raspoloživih meteoroloških podataka. Priprema meteorološkog inputa za te modele zahtijeva vrlo ospežan rad s obzirom na sistematizaciju postojećih meteoroloških podataka i na dodatna mjerenja. Iz istog razloga nije izvođena opcija COMPLEX/PFM modela potencijalnim strujanjem.

Kad god je struktura modela dopuštala, proračun je obavljen s dodatnim opcijama, npr.: uključivanjem zavjetrinskog strujanja zbog dimnjaka, postupnim dizanjem dimne perjanice i uzgonski uzrokovanom turbulencijom. Transformacija SO<sub>2</sub> u toku transporta nije uzeta u obzir ( $T_{1/2} = \infty$ ).

### 6.3. Komparativna analiza rezultata

#### 6.3.1. Rezultati procjena simulacijom jednogodišnjeg razdoblja

U tablici 2. prikazano je deset najvećih srednjih godišnjih prizemnih koncentracija izračunatih pojedini

nim modelima, kao i lokacije pojave maksimuma. Pri proučavanju rezultata iz tablice valja imati na umu da modeli VALLEY, ISCLT i LONGZ izračunavaju prosječne godišnje koncentracije na osnovi meteoroloških tablica kontigencije, a ostali modeli provode proračun na osnovi satnih vrijednosti meteoroloških parametara. Maksimalni prosječne koncentracije kreću se od 8,8 µg/m<sup>3</sup> (LONGZ) do 47,9 µg/m<sup>3</sup> (COMPLEX/PFM). Izuzevši rezultate modela LONGZ (za model LONGZ nije bio raspoloživ sasvim adekvatan meteorološki input), može se konstatirati da postoje razlike unutar faktora 3, što je relativno zadovoljavajuće. Maksimalna prosječna koncentracija pojavljuje se na udaljenosti 20 km i smjeru NNW (točka maksimalne elevacije, 412 m. n. m.), osim u modelu ISCLT, gdje je to druga najveća vrijednost. Prema svim modelima, maksimumi se pojavljuju na udaljenosti 1 km, osim u smjeru WSW i smjeru NNW zbog znatno povišene elevacije.

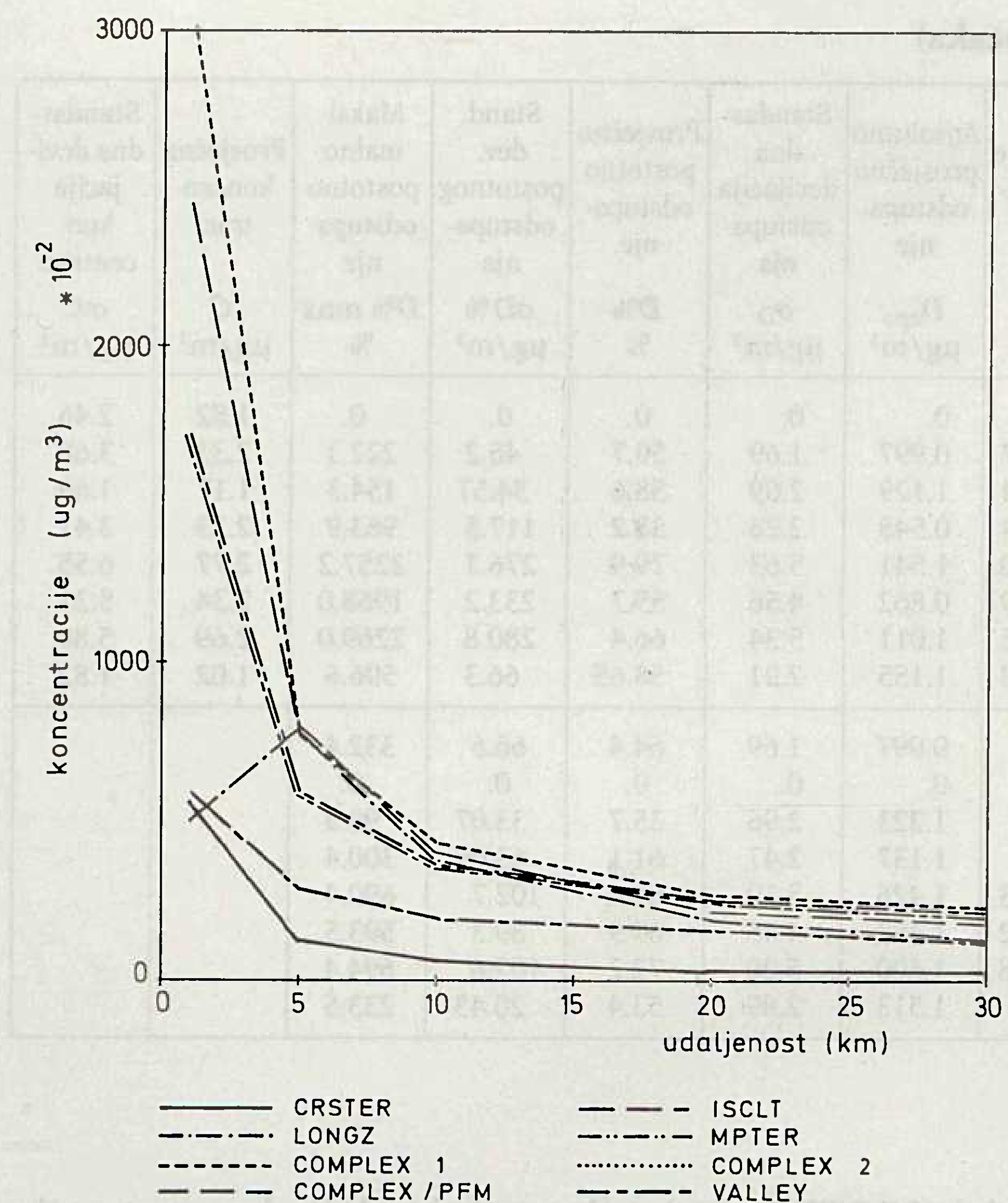
Pregledni usporedbeni prikaz prosječnih godišnjih koncentracija za najopterećeniji sektor WSW dan je na slici 2. Isti je pregled sektor NNW, u kojemu je receptorska točka s najvišom elevacijom (307 m u odnosu na izvor), dan na slici 3. Slike upućuju na sljedeće konstatacije:

- područje većih neslaganja modela nalazi se na udaljenosti do 5 km
- rezultati modela CRSTER, MPTER, COMPLEX 1, COMPLEX 2 i COMPLEX/PFM veoma se malo razlikuju, osim na orografski razvijenom terenu (modeli satne meteorologije)

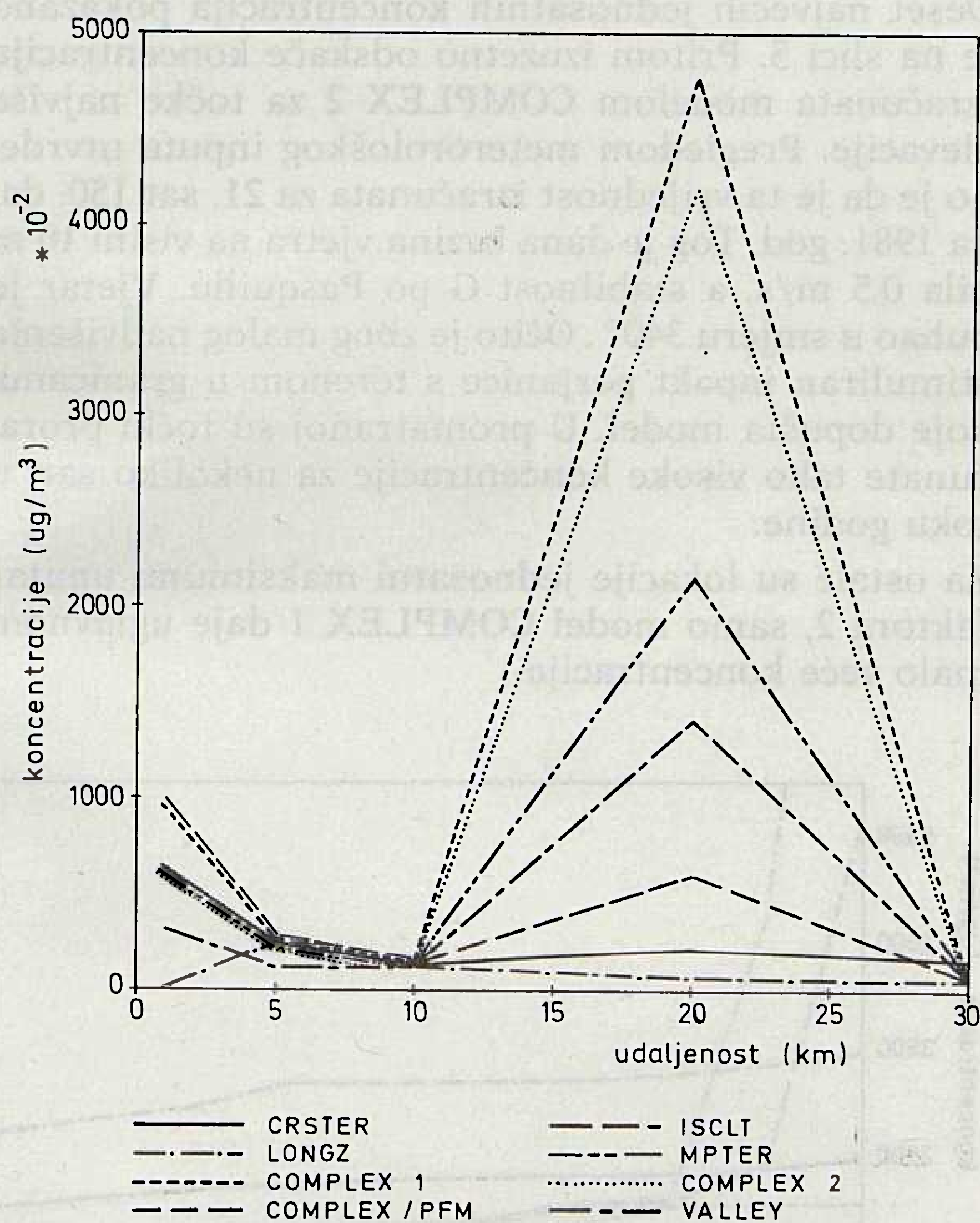
Tablica 2. Deset najvećih srednjih godišnjih koncentracija, µg/a<sup>3</sup>

	CRSTER			VALLEY			ISCLT			LONGZ		
	koncentracija	udaljenost	smjer	koncentracija	udaljenost	smjer	koncentracija	udaljenost	smjer	koncentracija	udaljenost	smjer
1.	16.7	1.0	250°	14.1	20.0	NNW	24.5	1.0	WSW	8.8	1.0	ENE
2.	15.2	1.0	240°	5.9	1.0	WSW	12.7	1.0	NNE	7.9	5.0	WSW
3.	9.0	1.0	230°	4.4	1.0	ENE	11.8	1.0	ENE	6.0	5.0	ENE
4.	9.0	1.0	30°	4.1	1.0	SSW	10.2	1.0	SSW	5.0	1.0	WSW
5.	8.4	1.0	20°	3.3	1.0	NNE	9.8	1.0	NNW	4.0	5.0	SSW
6.	7.3	1.0	40°	3.2	1.0	NNW	8.8	1.0	W	3.9	1.0	SSW
7.	6.4	1.0	340°	2.9	1.0	WSW	7.8	5.0	WSW	3.8	20.0	WSW
8.	6.2	5.0	250°	2.3	1.0	ENE	6.0	20.0	NNW	3.6	5.0	NNE
9.	6.2	1.0	330°	2.0	1.0	W	5.5	1.0	N	3.2	1.0	E
10.	6.2	1.0	60°	2.0	20.0	WSW	5.1	5.0	ENE	2.7	20.0	ENE

	MPTER			COMPLEX 1			COMPLEX 2			COMPLEX/PFM		
	koncentracija	udaljenost	smjer	koncentracija	udaljenost	smjer	koncentracija	udaljenost	smjer	koncentracija	udaljenost	smjer
1.	21.5	20.0	NNW	47.7	20.0	NNN	41.8	20.0	NNW	47.9	20.0	NNW
2.	17.2	1.0	WSW	30.4	1.0	WSW	17.2	1.0	WSW	17.2	1.0	WSW
3.	9.0	1.0	NNE	14.8	20.0	NNW	9.0	1.0	NNE	15.0	20.0	NNW
4.	7.8	1.0	SW	12.9	1.0	NNE	7.8	1.0	SW	9.0	1.0	NNE
5.	7.1	1.0	NE	9.5	1.0	NNW	7.1	1.0	NE	7.8	1.0	SW
6.	6.9	1.0	W	7.9	1.0	SSW	6.9	1.0	W	7.1	1.0	NE
7.	6.0	1.0	NNW	7.7	1.0	ENE	6.0	1.0	NNW	6.9	1.0	W
8.	6.0	5.0	WSW	7.7	5.0	WSW	6.0	5.0	WSW	6.0	1.0	NNW
9.	5.7	1.0	ENE	5.5	1.0	WNW	5.7	1.0	ENE	6.0	5.0	WSW
10.	4.9	1.0	SSW	4.4	1.0	NE	4.7	1.0	SSW	5.7	1.0	ENE



Slika 2. Prosječne godišnje prizemne koncentracije za smjer WSW



Slika 3. Prosječne godišnje prizemne koncentracije za smjer NNW

- svi modeli osim LONGZ na ravno terenu daju maksimume na udaljenostima manjim od 1 km
- područje najmanjih razlika koncentracija smješteno je na približnoj udaljenosti 10 km do 30 km

- na orografski razvijenom terenu modeli COMPLEX 1 i COMPLEX/PFM daju najveće vrijednosti
- razlike na orografski razvijenom terenu tolike su da potvrđuju opravdanost i nužnost primjene specijalnih složenih modela kao što su modeli tipa COMPLEX
- premda daje bolje rezultate od modela CRSTER, ISCST i LONGZ, model VALLEY za orografski razvijen teren za dulje vremenske periode, ima ograničene mogućnosti.

Prosječne godišnje koncentracije svih modela za potrebe komparativne analize statistički su obrađene. Izračunati su sljedeći uobičajeni pokazatelji:

$$r = \frac{\sum (C_1 - \bar{C}_1)(C_2 - \bar{C}_2)}{(\sum (C_1 - \bar{C}_1)^2 + \sum (C_2 - \bar{C}_2)^2)^{1/2}}$$

- $C_1$  — koncentracija izračunata modelom 1
- $C_2$  — koncentracija izračunata modelom 2
- $\bar{C}_1, \bar{C}_2$  — prosječne koncentracije izračunate modelom 1, odnosno 2

b) Prosječno odstupanje koncentracija

$$D = \frac{\sum (C_2 - C_1)}{N}$$

gdje je  $N$  — broj promatranih receptorskih točaka.

c) Apsolutno prosječno odstupanje koncentracije

$$D_{aps} = \frac{\sum |C_2 - C_1|}{N}$$

d) Standardna devijacija odstupanja koncentracija

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum (D - \bar{D})^2}{N}}$$

e) Postotno odstupanje

$$D\% = \frac{\sum \frac{C_1 - C_2}{C_1}}{N}$$

f) Standardna devijacija postotnog odstupanja

$$\sigma_{D\%} = \sqrt{\frac{\sum (D\% - \bar{D}\%)^2}{N}}$$

U tablici 3. izdvojen je prikaz navedenih parametara promatranih u odnosu prema rezultatima modela CRSTER i ISCLT.

Iz rezultata u tablici 3. vidi se da su najveće korelacije koncentracija za sve modele dobivene na udaljenostima 5 do 10 km te, donekle, do 20 km. Imajući na umu već konstatiranu činjenicu da su razlike u veličini koncentracija relativno manje na udaljenosti od 5 do 30 km, može se konstatirati da najveće podudarnosti pokazuju na udaljenosti od oko 5 do oko 20 km.

Rezultati modela CRSTER najbolje koreliraju s rezultatima modela ISCLT ( $r = 0.92$ ), a zatim s rezultatima modela MPTER ( $r = 0.75$ ). Modeli MPTER, COMPLEX 1, COMPLEX 2 i COMPLEX/PFM, što nije prikazano u tablici 3, međusobno koreliraju sa  $r \geq 0.9$ .

Prosječna odstupanja  $D$  modela relativno su malena. Kako se vidi iz prosječnih koncentracija  $\bar{C}$  iz tablice 3, najveća je prosječna razlika između modela VALLEY i COMPLEX 1.



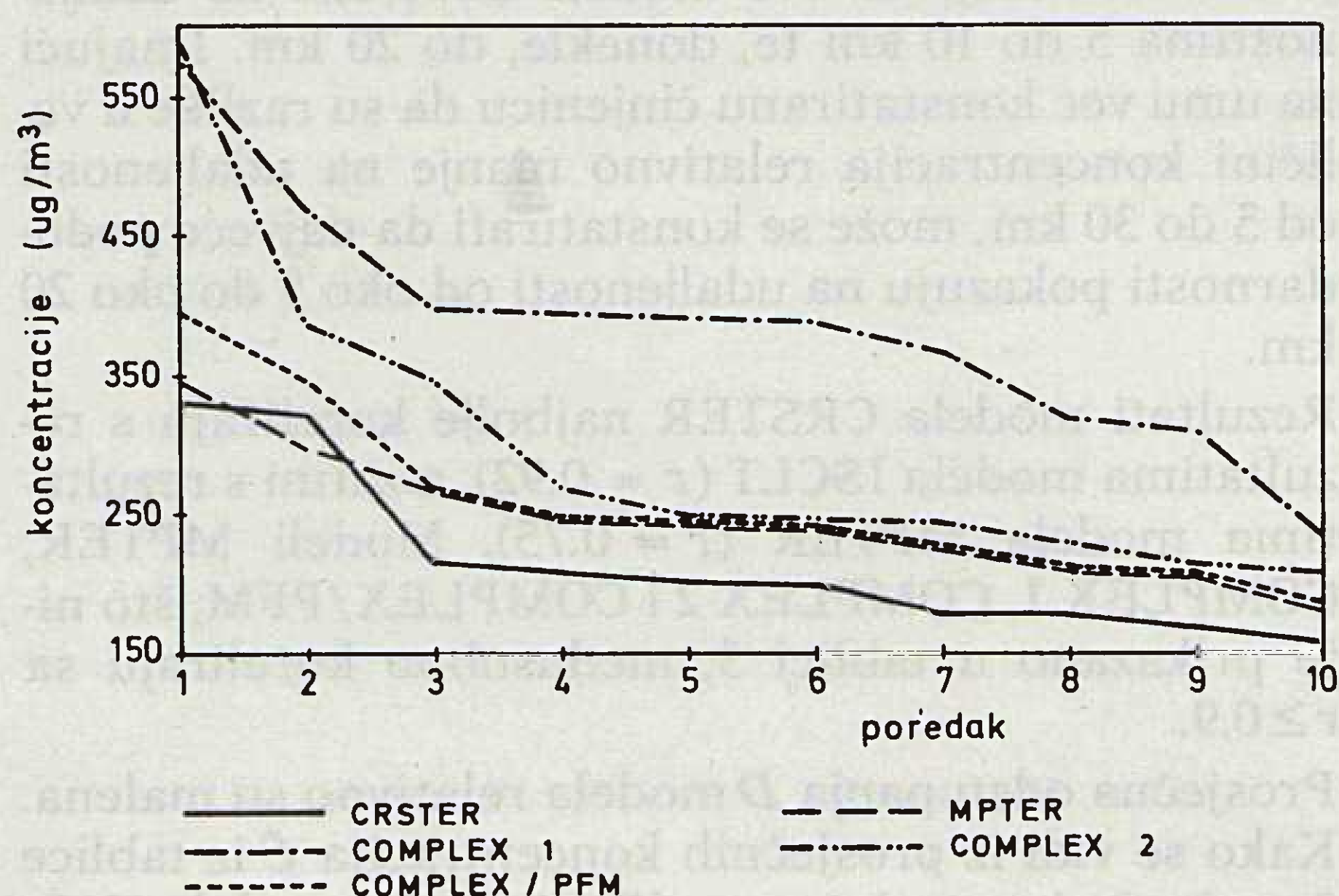
Tablica 3. Statistika za komparaciju modela (80 receptorskih točaka)

Modeli	Faktori korelacije, $r$						Prosječno odstupanje $D$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Apsolutno prosječno odstupanje $D_{\text{aps}}$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Standardna devijacija odstupanja $\sigma_D$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Prosječno postotno odstupanje $D\%$ %	Stand. dev. postotnog odstupanja $\sigma D\%$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Maksimalno postotno odstupanje $D\% \text{ max}$ %	Prosječna koncentrac. $\bar{C}$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Standardna devijacija koncentrac. $\sigma C$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	1 km	5 km	10 km	20 km	30 km	ukupno 1-30 km								
CRSTER*	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.82	2.46
ISCLT	0.98	0.91	0.89	0.77	0.66	0.92	-0.517	0.997	1.69	59.7	45.2	222.3	2.33	3.68
LONGZ	0.47	0.98	0.88	0.67	0.70	0.55	0.654	1.129	2.09	58.6	34.57	154.3	1.17	1.69
MPTER	0.98	0.99	0.99	0.62	0.60	0.75	-0.404	0.548	2.26	38.2	117.5	963.9	2.23	3.41
COMPLEX 1	0.90	0.98	0.99	0.58	0.58	0.54	-0.950	1.541	5.63	79.9	276.7	2257.2	2.77	6.55
COMPLEX 2	0.98	0.99	0.99	0.59	0.61	0.49	-0.719	0.862	4.56	55.7	233.2	1968.0	2.34	5.21
COMPLEX/PEM	0.98	0.99	0.99	0.58	0.56	0.43	-0.875	1.011	5.34	66.4	280.8	2269.0	2.69	5.89
VALLEY	0.79	0.87	0.85	0.58	0.603	0.506	0.793	1.155	2.21	58.65	66.3	596.6	1.02	1.82
CRSTER	0.89	0.91	0.89	0.77	0.66	0.92	0.517	0.997	1.69	64.4	66.6	332.4		
ISCLT*	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.	0.	0.	0.	0.	0.		
LONGZ	0.64	0.99	0.99	0.33	0.43	0.62	1.171	1.223	2.96	35.7	33.07	99.9		
MPTER	0.83	0.92	0.91	0.95	0.93	0.76	0.111	1.137	2.47	61.1	63.09	300.4		
COMPLEX 1	0.91	0.90	0.90	0.94	0.94	0.63	-0.433	1.426	5.10	66.4	102.7	690.4		
COMPLEX 2	0.85	0.92	0.91	0.94	0.93	0.54	-0.202	1.452	4.46	67.9	89.3	593.5		
COMPLEX/PFM	0.85	0.92	0.90	0.94	0.93	0.50	-0.358	1.600	5.20	72.2	107.6	694.4		
VALLEY	0.95	0.99	0.98	0.92	0.74	0.64	1.310	1.513	2.89	53.4	20.43	233.5		

\* Model prema kojemu se provodi usporedba.

Apsolutna prosječna odstupanja pokazuju da nijedan model ne daje sistematski više ili niže vrijednosti u svim točkama ( $D \neq D_{\text{aps}}$ ). Standardna devijacija  $\sigma_D$  odstupanja, kako se vidi iz tablice 3, veća je za modele tipa COMPLEX, a to je posljedica znatnih razlika u točkama najviših elevacija. Zbog istog je razloga i procentualno odstupanje  $D\%$  tih modela tako visoko u odnosu prema modelima CRSTER i ISCLT. Modeli COMPLEX 1, COMPLEX 2, COMPLEX/PFM, što nije pokazano u tablici 3, imaju međusobna procentualna odstupanja manja od 170% (faktor odstupanja  $\pm 2,7$ ).

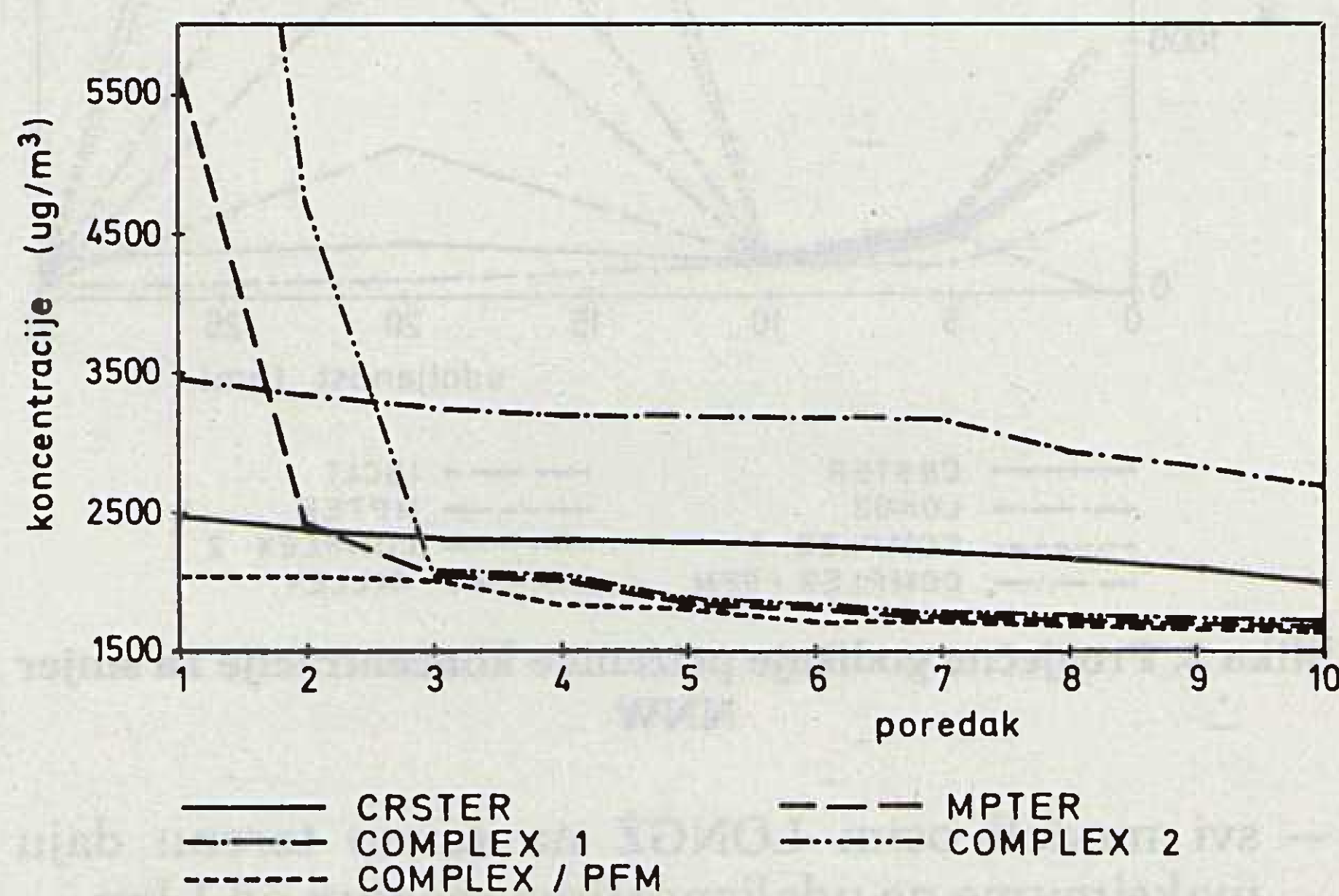
Prikaz deset najvećih 24-satnih koncentracija s pozicijom u odnosu prema izvoru dan je na slici 4. Uočljivo je relativno dobro slaganje. Naime, najveće se koncentracije razlikuju unutar faktora 1,8, a najveće se desete razlikuju najviše za faktor 1,5. Najviše koncentracije dao je model COMPLEX 1, a najniže mo-



Slika 4. Deset najvećih 24-satnih koncentracija u 1981. god.

del CRSTER. Lokacija maksimalnih koncentracija udaljena je 1 km od izvora, osim receptora znatno povišene elevacije, udaljenog 20 km u smjeru NNW. Deset najvećih jednosatnih koncentracija pokazano je na slici 5. Pritom izuzetno odskae koncentracija izračunata modelom COMPLEX 2 za točke najviše elevacije. Pregledom meteorološkog inputa utvrđeno je da je ta vrijednost izračunata za 21. sat 150. dana 1981. god. Tog je dana brzina vjetra na visini 10 m bila 0,5 m/s, a stabilnost G po Pasquillu. Vjetar je puhao u smjeru 340°. Očito je zbog malog nadvišenja stimuliran in-pakt perjanice s terenom u granicama koje dopušta model. U promatranoj su točki proračunate tako visoke koncentracije za nekoliko sati u toku godine.

Za ostale su lokacije jednosatni maksimumi unutar faktora 2, samo model COMPLEX 1 daje uglavnom malo veće koncentracije.

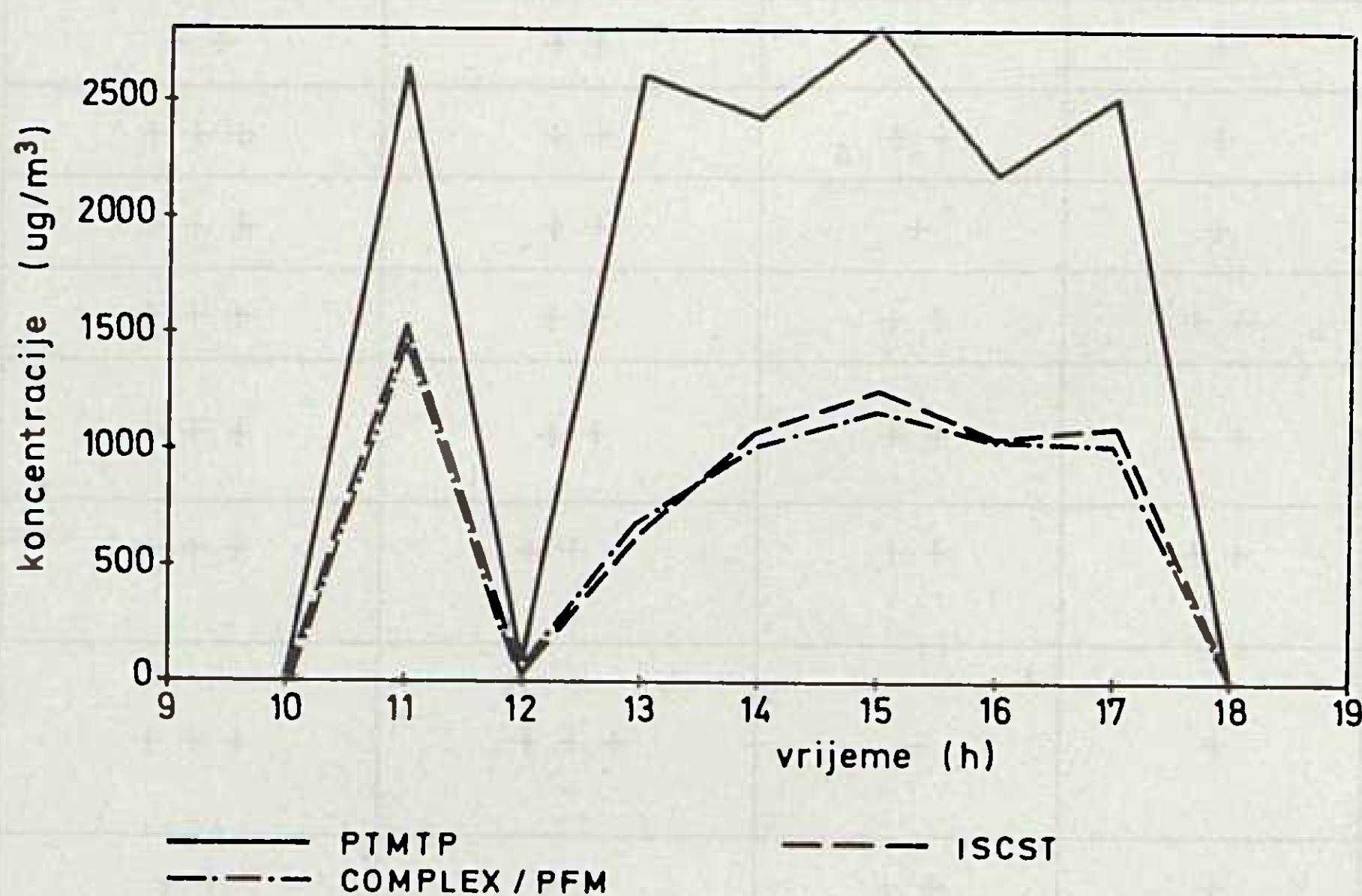


Slika 5. Deset najvećih jednosatnih koncentracija u 1981. god.

### 6.3.2. Rezultati procjena simulacijom jednodnevnog perioda

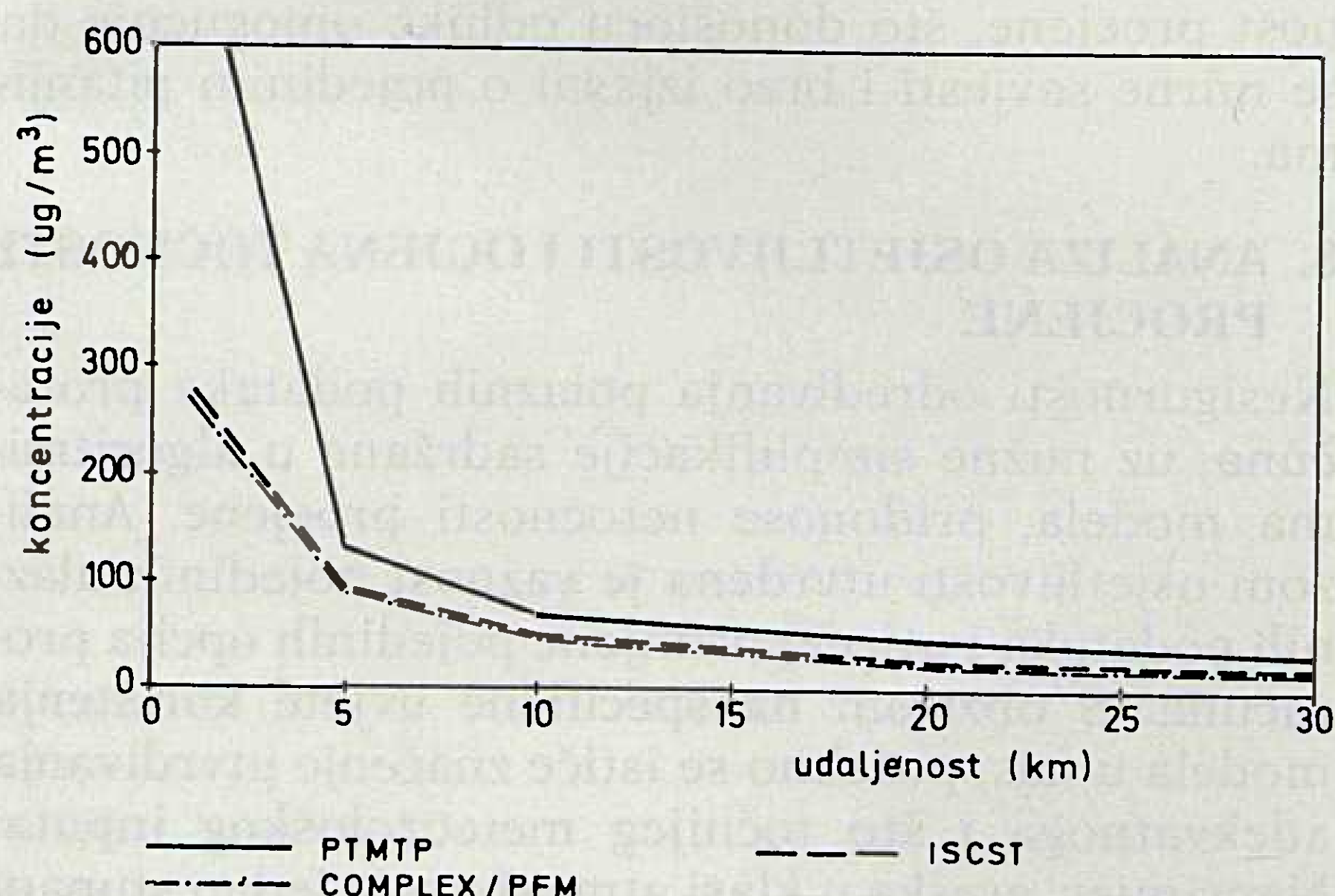
Prizemne koncentracije jednodnevnog perioda za proizvoljno odabran dan procijenjenje su modelima PTMTP, ISCST i COMPLEX/PFM.

Komparativni prikaz izračunatih jednosatnih koncentracija za točku 1 km udaljenu od izvora u smjeru WSW dan je na slici 6. Povišene se koncentracije pojavljuju u razdoblju od 10 do 18 sati, kada je stabilnost atmosfere, bila A, a visina sloja miješanja od 600 do 1200 m. Rezultati modela COMPLEX/PFM i modela ISCST gotovo se potpuno poklapaju. Model PTMTP, koji je inače namijenjen prethodnim analizama, unutar faktora 2.5 daje konzervativno veće koncentracije.



Slika 6. Jednosatne koncentracije 8. 8. 1981, smjer WSW, udaljenost 1 km

Prosječne dnevne koncentracije za smjer WSW prikazane su na slici 7. Rezultati sa slike 8. potvrđuju zaključak već formuliran u prethodnom odjeljku: modeli se najbolje podudaraju za udaljenosti od 5 do oko 20 km, s tim da su modeli ISCST i COMPLEX-/PFM podudarni i na ostalim udaljenostima.



Slika 7. 24-satne koncentracije 8. 8. 1981, smjer WSW

Nameće se zaključak da se modelima namijenjenim prethodnim analizama, s obzirom na najčešće ugrađene konzervativnosti, pri konačnim analizama ne bi trebalo koristiti. Oni daju dobru informaciju o područjima maksimalnih koncentracija i vremenu pojave maksimuma, ali je informacija o razinama kon-

centracija prema dobivenim rezultatima pouzdana unutar faktora 2, ako je riječ o ravnom terenu.

## 7. SMJERNICE ZA IZBOR MODELA

Izbor modela za proračun onečišćenja zraka ponajprije ovisi o tome za što će se koristiti rezultati proračuna. Ako je cilj proračuna samo kvalitativna spoznaja o stupnju onečišćenja određenog područja, proračun se može napraviti vrlo jednostavnim modelima. Nasuprot tome, želimo li precizno odrediti nivo zagađenja, potrebno se koristiti vrlo složenim modelima koji zahtijevaju precizne, a samim time i skupe ulazne podatke. Zbog svega toga racionalni pristup izboru modela proračuna morao bi se bazirati na odgovorima na sljedeća pitanja:

1. Tko traži informaciju o onečišćenju zraka?
2. Za koju se svrhu proračuni provode?
3. Koji zahtjev mora biti zadovoljen?

Odgovori na navedena pitanja definirat će rezoluciju izlaznih informacija te zahtjeve za točnošću rezultata. Nadalje, nužno je razmotriti sljedeće činioce:

- raspoloživost meteoroloških podataka
- raspoloživost i točnost podataka o emisiji
- karakteristike ispitivanog terena
- osobine izvora i polutanata
- karakteristike raspoloživoga elektroničkog računala
- raspoloživo vrijeme procjene.

Imajući na umu navedene faktore bitne za izbor matematičkog modela proračuna, načinjena je tablica 4, koja može pomoći pri izboru modela. Tablica, sadrži rekapitulaciju osnovnih karakteristika modela i naznake moguće aplikacije pojedinih modela. Posebno skrećemo pažnju na prve dvije kolone u tablici 4, koje kategoriziraju modele na dvije osnovne grupe: modele za prethodne analize i modele za konačne analize.

Modeli za prethodne analize po pravilu su modeli jednostavnijeg algoritma proračuna i zahtijevaju manje polaznih podataka proračuna. Ti modeli obično daju konzervativno veće vrijednosti nego složeni modeli. Prethodnim analizama određuju se razine maksimalnih koncentracija, lokacije maksimalnih koncentracija, ocjenjuje se utjecaj pojedinih polaznih parametara proračuna, definiraju lokacije receptorskih točaka za detaljne analize, ocjenjuje potencijalna mogućnost onečišćenja itd.

Modeli za konačne analize primjenjuju se s obzirom na:

- prethodne i konačne studije utjecaja na okolinu
- izbor goriva i tehnoloških rješenja energetske i drugih objekata
- izbor zaštitnih mjera i opreme
- projektiranje zaštitne opreme
- studije utvrđivanja strategije planiranja čistoće zraka
- izbor mikrolokacija i makrolokacija energetske objekata
- utvrđivanje lokacije dinamičkoga i stacionarnog monitoringa

Tablica 4. Moguće aplikacije i zahtjevi modela disperzije

Red. broj	Model	Aplikacije					Zahtjevi	
		prethodne analize	konačne analize	integralni utjecaj en. kompleksa	orografski razvijen teren	rutinske provjere utjecaja	zahtjevi za meteorološki input	zahtjevi na računalo
1	PTMAX	++	-	-	-	++	+	+
2	PTDIS	++	-	-	-	++	+	+
3	PTMTP	++	+	-	+	++	++	+
4	PTPLU	++	-	-	-	++	+	+
5	CRSTER	+	++	-	+	++	++	++
6	VALLEY	++	++	+	++	+	+	+
7	MPTER-DS	-	++	+	+	++	++	++
8	ISCLT	+	++	++	+	+	++	++
9	ISCST	-	++	++	+	++	++	+++
10	LONGZ	+	++	++	+	+	++	+++
11	SHORTZ	-	++	++	++	++	++	+++
12	COMPLEX 1 COMPLEX 2	-	++	+	++	++	++	+++
13	COMPLEX- /PFM	-	++	+	++	++	+++	+++
14	MESOPLUM MESOPUFF MESOGRID	-	++	++	+	-	+++	+++
15	CMI	-	++	-	+	++	++	++
16	IPTETS	-	++	+	++	-	++	++

Za aplikacije: - nepogodan  
+ pogodan  
++ vrlo pogodan

Zahtjevi: + maleni  
++ srednji  
+++ veliki

- simulaciju onečišćenja kao dopuna mjerenja
- studije supstitucije goriva
- studije kompleksnog rizika
- istraživačke radove.

U tablici 4, između ostalih faktora, ocjenjuje se zahtjevnost modela na elektroničko računalo. Računski programi za proračun disperzije onečišćivača atmosferom zahtijevaju od 0,05 do 1 MB centralne memorije elektroničkog računala. Oni koji se koriste satnim meteorološkim podacima i satnim podacima emisije mogu se izvoditi samo na računalima velikih vanjskih memorija. Takvi programi koriste i do 10 ulaznih/izlaznih kanala, od kojih nekoliko služi za komunikaciju s magnetskom trakom. Autori programa nerijetko daju vrlo precizne upute za računanje potrebnog vremena izvođenja programa i zauzetosti vanjskih memorija, imajući na umu mogućnost zagušenja sistema i ekonomičnost primjene programa.

Iz tablice 4. vidi se da za određenu aplikaciju može biti primijenjeno više od jednog modela. Zbog niza nepouzdanosti vezanih za polazne podatke proračuna i netočnosti kao posljedica matematičkog modeliranja, u posljednje se vrijeme u regulativi nekih zemalja preporučuje upotreba više modela. U tom se slučaju opterećenje može odrediti kao prosjek dobivenih rezultata ili, kako to preporučuju neki autori

[44], ponderiranjem sume na osnovi pondera koji su obrnuto proporcionalni prethodno utvrđenim standardnim greškama pojedinih modela. Uz to se procjenjuju intervalna odstupanja i utvrđuje pouzdanost procjene, što donosi odluku omogućuje da se mirne savjesti i brzo izjasni o pojedinim pitanjima.

## 8. ANALIZA OSJETLJIVOSTI I OCJENA TOČNOSTI PROCJENE

Nesigurnosti određivanja polaznih podataka proračuna, uz nužne simplifikacije sadržane u algoritmičkim modelima, pridonose netočnosti procjene. Analizom osjetljivosti utvrđena je važnost pojedinih ulaznih podataka i utjecaj primjene pojedinih opcija proračuna. S obzirom na specifične uvjete korištenja modela u nas, posebno se ističe značenje utvrđivanja adekvatnoga i što točnijeg meteorološkog inputa. Naprimjer, greška u klasi atmosfere za jedan stupanj može uzrokovati grešku u koncentracijama i do 120% za pojedine lokalitete.

Raspoloživi podaci s lokacije nisu omogućavali testiranje modela komparacijom izračunatih i izmjerenih koncentracija. Komentar o mogućnostima točne procjene može se, međutim, dati na osnovi literaturnih znanja relevantnih za ovdje analizirane modele [45, 46].

Koliko god bili složeni, modeli još uvijek ne daju zadovoljavajuće točne rezultate. Činjenica je da se dobrom procjenom smatra svaka unutar faktora 2, za ravan teren, a i više od 2, ako je riječ o orografski razvijenom terenu. Prostorno-vremensko koleriranje koncentracija za periode uprosječivanja manje od 24 sata, nije moguće dobiti. Modeli relativno dobro procjenjuju sezonske i prosječne godišnje koncentracije. Također su dobri za procjene gornjeg kraja krivulje kumulativnih koncentracija perioda uprosječivanja  $\leq 24$  sata (više od 90%). To je važno jer su normativi za kvalitetu zraka zasnovani na prosječnim godišnjim i graničnim 95 ili 98%-tnim koncentracijama.

## 9. ZAKLJUČAK

Provedena komparativna analiza rezultata testiranja modela disperzije točkastih izvora omogućila je, između ostaloga, donošenje sljedećih konstatacija:

- pri procjeni stanja onečišćenja, sudeći prema prosječnim godišnjim koncentracijama, ne bi se mnogo pogriješilo primjenom bilo kojeg modela kad je riječ o relativno ravnom terenu
- nijedan model nije dao sistematski veće ili manje vrijednosti u svim točkama proračuna
- pri detaljizaciji postoje znatne razlike i zato je opravdana upotreba modela za specijalnu namjenu
- modeli za orografski razvijen teren vrlo slično lociraju područja maksimalnih vrijednosti pri čemu daju i relativno male razlike u prosječnom godišnjim koncentracijama; znatnije se razlike pojavljuju pri proračunu jednosatnih koncentracija
- generalno se bolje slažu rezultati modela za udaljenosti od 5 do 20 km od elektrane, i to s obzirom na koreliranje rezultata i nivo procjene
- modeli za prethodne analize, uz svu konzervativnost, ne preporučuju se za donošenje konačnih odluka, posebno ne na orografski razvijenom terenu.

Modele treba birati imajući na umu komparativne prednosti pojedinih modela i prethodno iznesene konstatacije. Osnovu izbora modela čini svrha njegove primjene, a zatim i ostali faktori vezani za raspoloživost ulaznih podataka i tehničkih resursa za provođenje proračuna. Pri donošenju delikatnih odluka radi povećanja pouzdanosti procjene preporučuje se primjena rezultata više modela.

Promatramo li perspektive razvoja modela, možemo reći da u bliskoj budućnosti ne bi trebalo očekivati razvoj revolucionarno novih modela. Povećanja točnosti i preciznosti procjene mogu se očekivati zbog daljnjeg razvoja modela za specijalne namjene. Usavršavanje modela ograničeno je, između ostaloga, i s obzirom na danas raspoloživu rezoluciju ulaznih podataka, posebno meteoroloških. U našim uvjetima, u kojima nema mogućnosti za ekstenzivna meteorološka mjerenja, problem primjene složenih modela to je veći. Nisu manje važni ni podaci o onečišćenju zraka, koji omogućuju provjeru modela i njihovu kalibraciju na specifičnim uvjetima.

Provedena analiza dala je velik doprinos rješavanju problema procjene utjecaja energetskih postrojenja

na okolinu. Modeli su testirani na ispuštanju polutanata iz dimnjaka kao točkastog izvora onečišćenja, pri čemu nisu razmatrani ostali izvori, npr. deponiji ugljena i šljake i njihov transport. Nastavak istraživanja činit će kompletni obuhvat mogućih izvora onečišćenja i polutanata. S obzirom na to, otvara se i pitanje procjene radiološkog utjecaja iz postrojenja koja rade na ugljen i iz nuklearnih elektrana.

## LITERATURA

- [1] S. R. HANNA, G.A. BRIGGS et al.: »Handbook on Atmospheric diffusion«, Technical Information Center, U.S. Department of Energy
- [2] D.B. TURNER: »Atmospheric Dispersion Modeling«, JAPCA, 1979.
- [3] IAEA Safety Series No. 50-SG-S3: »Atmospheric Dispersion in Nuclear Power Plant Siting«, Safety Guide, Wien, 1980.
- [4] O.G. SUTTON: »A theory of eddy diffusion in the atmosphere«, Proc, Royal Soc. London, A, 135 (826), 143, 1932.
- [5] Meteorology and Atomic Energy U.S. Weather Bureau, AECU 3066, USAEC, Washington, DC, 1955, 169 pp
- [6] G.A. De MARRIS: »Workbook on Atmospheric Diffusion Calculations«, US Weather Bureau, Idaho Falls, ID (IDO — 12005). 1959.
- [7] F. PASQUIL: »The estimation of the dispersion of windborne material«, Meteorolog. Mag. 90 (1063): 33–49, 1961.
- [8] F. A. GIFFORD: »Use of routine meteorological observations for estimating atmospheric diffusions«, Nuclear Safety 2, 47, 1961.
- [9] P.M. BRYANT: »Methods of Estimation of the Dispersion of Windborne Material and Data to Assist in their Application«, United Kingdom, AERE, HL64/2719 Harwell, England, 1964.
- [10] D.B. TURNER: »Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates«, Office of Air Programs Publications, No AP-26, US Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. 1970.
- [11] I.A. SINGER and M.E. SMITH: »Relation of quietness to other meteorological parameters«, J. Meteorol. 10 (2): 121, 1953.
- [12] Department of Scientific and Industrial Research, »Atmospheric Pollution in Leicester A Scientific Survey«, London, 1945.
- [13] F. POOLER: »A prediction model of mean urban pollution for use with standard wind roses«, Int. J. Air Water Pollut, 4 (3/4): 199, 1961.
- [14] D.B. TURNER: »A diffusion model for an urban area, J. Appl. Meteorol. 3: 83, 1964.
- [15] J. F. CLARKE: »A simple diffusion model for calculating point concentrations from multiple sources«, J. Air Poll. Control Assoc. 14; 347, 1964.
- [16] M.E. MILLER, and G.C. HOLZWORTH: »An atmospheric Diffusion Model for Estimating the Effects on Air Quality of One or More Sources«, paper 68-148 presented at APCA Annual Meeting 1968.
- [17] D.O. MARTIN, and J.A. TIKVARD: »A General Atmospheric Diffusion Model for Estimating the Effects on Air Quality of One or more Sources«, Paper 68-148 presented at APCA Annual Meeting, 1968.
- [18] A.D. BUSSE and J.R. ZIMMERMAN: »User's Guide for the Climatological Dispersion Model, US Environmental Protection Agency, EPA-R4-73-024, 1973.

- [19] K.L. BRUBAKER, P. BROWN, and R.R. CIRILLO: »Addendum to User's Guide for Climatological Dispersion Model, Prepared by Argonne National Laboratory for the Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC. EPA-450/3-77-o15, 1977.
- [20] J.H. CHRISTIENSEN: »User's Guide to the Texas Episodic Model« Texas Air Control Board, Austin, Texas, 1976.
- [21] J.H. CHRISTIANSEN: »User's Guide to the Texas Episodic Model« Texas Air Control Board, Austin, Texas, 1978.
- [22] H.G. FORTAK: »Numerical Simulation of the Temporal and Spatial Distributions of Urban Air Pollution Concentration«, Proceedings of Symposium on Multiple Source Urban Diffusion Models, A.C. Stern, Ed. U.S. EPA, 1970.
- [23] K.L. CALDER: »A Climatological Model for Multiple Source Urban Air Pollution« in Proceeding of the Second Meeting of Expert Panel on Air Pollution Modeling, Jul 26, 27, Paris, 1971.
- [24] S.R. HANNA: »A Simple method of calculating dispersion from urban sources«, J. Air Poll. Control Assoc. 21, 1971.
- [25] F.A. GIFFORD: »The Simple ATDL Urban Diffusion Model«, Proceedings of the Fourth Meeting of the Expert Panel on Air Pollution Modeling, 1973, Oberursel, Germany
- [26] C.H. BOSAUQUET, W.F. CAREY, and E.M. HALTON: »Dust deposition from chimney stacks«, Proc. Institut of Mech. Eng. 162:355, 1950.
- [27] J.Z. HOLLAND: »Meteorological Survey of the Oak Ridge Area«, U.S. Atomic Energy Commis. Report ORO-99, 1953.
- [28] W.F. DAVIDSON: »The dispersion and spreading of gases and dusts from chimneys«, Trans. Conf. of Ind. Wasters A. Ind. Hyg Found. 15: 38, 1954.
- [29] G.A. BRIGGS: »Some Recent Analyses of Plume Rise Observations« In Proceedings of the Second International Clean Air Congress, Academic Press, New York, 1971.
- [30] G.A. BRIGGS: »Discussions on chimney plumes in central and Stable surroundings«, Atmos, Environ. 6:507, 1972.
- [31] G.A. BRIGGS: »Plume Rise Predictions«, Chapter 3 in Lectures on Air Pollution and Environmental Impact Analysis, A. Hugen, editor, Amer Meteorol. Soc. Boston, 1975.
- [32] Ta Luft 86: Erste Allgemeine Verwaltunsvorshrift zum Bundes — Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft — TA Luft), Bonn, 1986.
- [33] Gosudarstveni komitet sovjeta ministarstvov SSSR po delem Stroitelstvo: Ukazanja po rasčetu rasejvanja vrednih reščestv, soderžašhsa v vibrasah predprijatiji, Moskva, 1975.
- [34] UNAMAP (Version 5): »User's Network for Applied Modeling of Air Pollution, NMS, Springfield, 1986.
- [35] RAKOVEC J., PETKOVŠEK Z.: »Približno določanje visine nižih in srednje visokih dimnikov v Sloveniji, Rasprave XVIII, Društvo meteorologov Slovenije, Ljubljana, 1975.
- [36] Z. PETKOVŠEK: »Nekatere posebnosti daljinskega transporta onesnaženja zraka z SO<sub>2</sub> in sulfati v zakodno Jugoslavio, Zaštita atmosfere, Sarajevo, 1978.
- [37] JEVREMOVIĆ T., BOŽIDAREVIĆ M.: »Ekološke prednosti centralizovane proizvodnje toplotne energije u gradovima«, Stručni skup Energija i ekologija, Beograd, 1986.
- [38] M. IVANKOVIĆ: »Matematički model nestacionarne difuzije polutanata u slučaju kompleksnih terena«, Zaštita atmosfere 1, Sarajevo, 1987.
- [39] GOJNIĆ: »Ekološke analize utjecaja na okolinu supstitucije kotla II na mazut, postojeće Sisačke termoelektrane, Institut za medicinska istraživanja, Zagreb, 1985.
- [40] LULIĆ S.: »Proračun doza radioaktivnog zračenja uslijed rada TE Plomin 1 i 2«, Institut Ruder Bošković, OOUR Centar za istraživanje mora Zagreb, Zagreb, 1984.
- [41] ŠINIK N.: »Model proračuna prizemnih koncentracija«, Rasprave 16, Zagreb, 1981.
- [42] ČURKOVIĆ J., JELAVIĆ V., JURETIĆ M., POSTRUŽIN Ž., VARAŽDINEC Z.: »Procjena prizemnih koncentracija SO<sub>2</sub> u okolini« TE Plomin 1 i 2 s ciljem utvrđivanja dinamičkog monitoringa, Institut za elektroprivredu Zagreb, srpanj 1986.
- [43] ČURKOVIĆ J., JELAVIĆ V., POSTRUŽIN Ž., VARAŽDINEC Z.: »Postojeće stanje zagađenja atmosfere sumpornim dioksidom u širjoj okolini TE Plomin«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.
- [44] TRIJONIS J.: »Reconciliation of Air Quality Models for Control Strategy Decisions«, APCA Vol. 37, No. 4, april 1987.
- [45] HAYES S.R., MOORE G.E.: »Air Quality Model Performance A« Comparative Analysis fo 15 Model Evaluations Studies, Atmospheric Environment Vol. 20, No 10 pp 1897 — 1911, 1986.
- [46] HANNA S.R.: »Review of Atmospheric Diffusion Models for Regulatory Applications, Secretariat of the World Meteorological organization, Geneva, 1982.

#### A COMPARATIVE ANALYSIS OF MODELS FOR THE DISPERSION OF POLLUTANTS FROM POINT SOURCES

In the article is presented a review of existing models for dispersion, historical development as well as application of the model in our circumstances. Program package UNAMAP is comparatively analysed. Models are tested on the case of 300 MW TPP fired on coal. Results present that on case of general pollution and for relatively flat surfaces with average annual concentrations there is no model in favour. But in the particular elaboration there are significant differences and special models have to be applied.

#### VERGLEICHENDE ANALYSE DER RECHNERMODELLE DER DISPERSION DER POLUTANTE AUS PUNKTHAFTEN VERSCHMUTZUNGSQUELLEN

Im Artikel wird eine Übersicht der bestehenden Dispersionsmodelle und ihre geschichtliche Entwicklung gegeben. Behandelt wird die Anwendung des geeigneten Modells in unseren Bedingungen. Mit Hilfe der vergleichenden Analyse wurden Modelle der Dispersion der Polutante aus punkthaften Quellen des Programmpakets UNAMAP umfaßt. Die Modelle wurden am Beispiel Wärmekraftwerke (Kohle) 300 MWe getestet. Die Ergebnisse zeigen, daß im allgemeinen Zustand der Verschmutzung aufgrund der durchschnittlichen Jahreskonzentrationen wenn es um ein relativ ebenes Terrain geht, alle Modelle geeignet wären. In den Einzelheiten bestehen bedeutende Unterschiede und in diesem Fall rechtfertigen die Modelle der speziellen Anwendungsbereiche ihren Gebrauch.

#### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАЗЛОЖЕНИЯ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ИЗ ТОЧЕЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

В статье даны обзор существующих моделей разложения и их историческое развитие, а также комментируется применение полезной модели в наших условиях. Сравнительным анализом охвачены модели разложения возбудителей загрязнения среды из точечных источников программного пакета УНАМАП. Модели тестированы на примере тепловой электростанции на угле мощности ЭОУ МВт. Результаты показывают, что в общем состоянии загрязнения на основании осредненных годовых концентраций по существу не было бы ошибочно применение любой модели, когда речь идет о сравнительно равнинной территории. При уточнении возникают значительные различия, и в этом случае модели специального назначения оправдывают свое применение.

Naslov pisca:

Mr. Vladimir Jelavić, dipl. inž.  
Institut za elektroprivredu, 41000  
Zagreb, Proleterskih brigada 37,  
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:  
1988-01-08

# DOPRINOS ANALIZI UNUTRAŠNJIH PRENAPONA U REZISTANTNO UZEMLJENIM RAZDJELNIM MREŽAMA

Mr. Srđan Žutobradić, Zagreb — mr. Luciano Delbianco, Pula

UDK 621.316.91/93

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U članku je izložen matematički model za proračun unutrašnjih prenapona koji se javljaju zbog jednopolnih kvarova u razdjelnim mrežama. Izvršena je detaljna analiza unutrašnjih prenapona u 10(20) kV-tnim mrežama uzemljenim preko otpornika. Dobiveni računski rezultati uspoređeni su s rezultatima mjerenja. Predloženi su kriteriji za izbor otpornika za uzemljenje zvjezdišta.

**Ključne riječi:** unutrašnji prenaponi, rezistantno uzemljenje, razdjelne mreže.

## 1. UVOD

Uzemljenjem zvjezdišta srednjenaponskih mreža preko otpornika bitno se popravljaju prilike sa stanovišta problematike unutrašnjih prenapona. U navedenim mrežama ne postoji opasnost od pojave vrlo neugodnih intermitirajućih prenapona, jer otpornik za uzemljenje omogućuje pražnjenje nultih kapaciteta. Osim toga, u takvim je mrežama drastično smanjena mogućnost nastanka razornih dvostrukih zemljospojeva, koji obično postoje u mrežama koje rade s izoliranim zvjezdištem.

Prema tome, u rezistantno uzemljenim mrežama preostaje mogućnost pojave dviju vrsta unutrašnjih prenapona:

- prenapona pri nastanku dozemnih kvarova,
- prenapona pri isključenju dozemnih kvarova.

Prenaponi vrste b) su izuzetno rijetki kod malouljnih prekidača, uz uvjet da se oni redovito održavaju. Bitniji prenaponi nastaju zbog primjene hidromatskih prekidača, koji se, na svu sreću, više ne upotrebljavaju u našim mrežama [1]. To znači da u rezistantno uzemljenim mrežama ponajprije treba analizirati prenapone koji se javljaju zbog dozemnih kvarova.

## 2. MATEMATIČKI MODEL ZA PRORAČUN UNUTRAŠNJIH PRENAPONA

Pri dozemnim kvarovima u rezistantno uzemljenim mrežama povisuje se napon na zdravim fazama. Budući da pritome dolazi do prelazne pojave, pogodno je postaviti model u Laplaceovu području. Prema [2], naponi zdravih faza mogu se u Laplaceovu području izraziti kao:

$$\tilde{U}_B = |(\tilde{Z}_D - \tilde{Z}_O) / (2 \cdot \tilde{Z}_D + \tilde{Z}_O)| \cdot \tilde{U}_{ZA} \quad (1)$$

$$\tilde{U}_C = |(\tilde{Z}_D - \tilde{Z}_O) / (2 \cdot \tilde{Z}_D + \tilde{Z}_O)| \cdot \tilde{U}_{ZA} \quad (2)$$

gdje su:

$\tilde{Z}_D, \tilde{Z}_O$  — impedancije u direktnome, odnosno nultom sustavu;

$\tilde{U}_{ZA}$  — napon pogođene faze prije kvara.

Impedancije  $Z_D$  i  $Z_O$  mogu se odrediti na temelju shema sa slike 1. Značenja pojedinih veličina su sljedeća:

$RD1, LD1$  — radni otpor, odnosno induktivitet pojne točke; uključena je mreža višeg napona i pojni transformator (i) u direktnom sustavu;

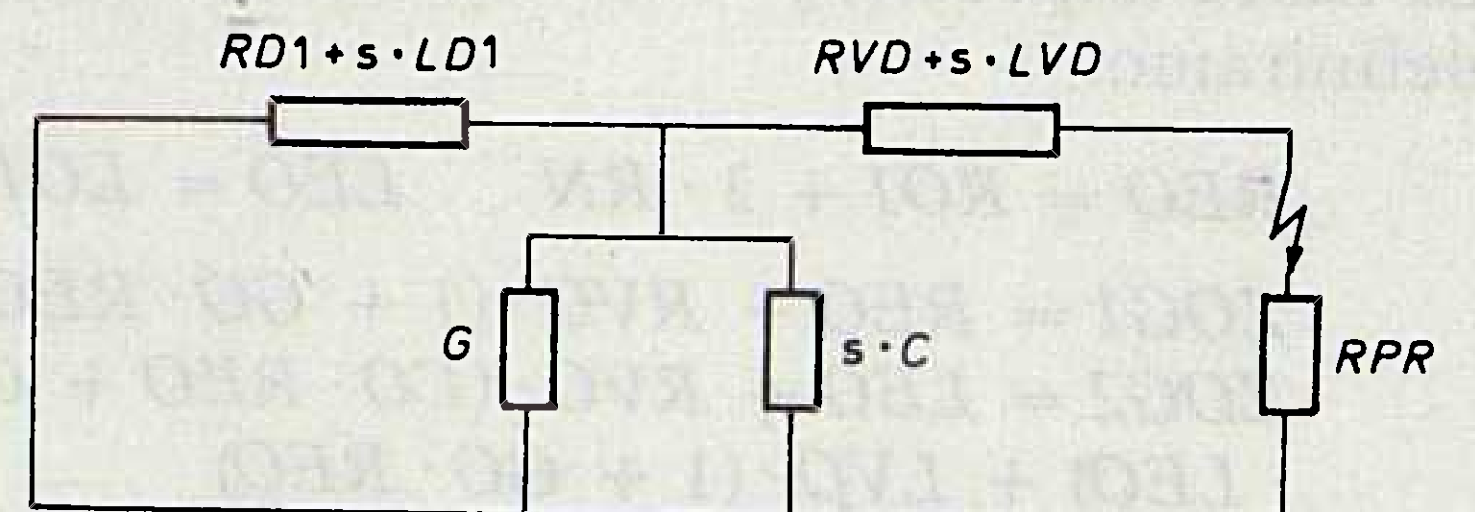
$RO1, LO1$  — isto, ali u nultom sustavu;

$G$  — poprečna vodljivost kojom obuhvaćamo opterećenje srednjenaponske mreže;

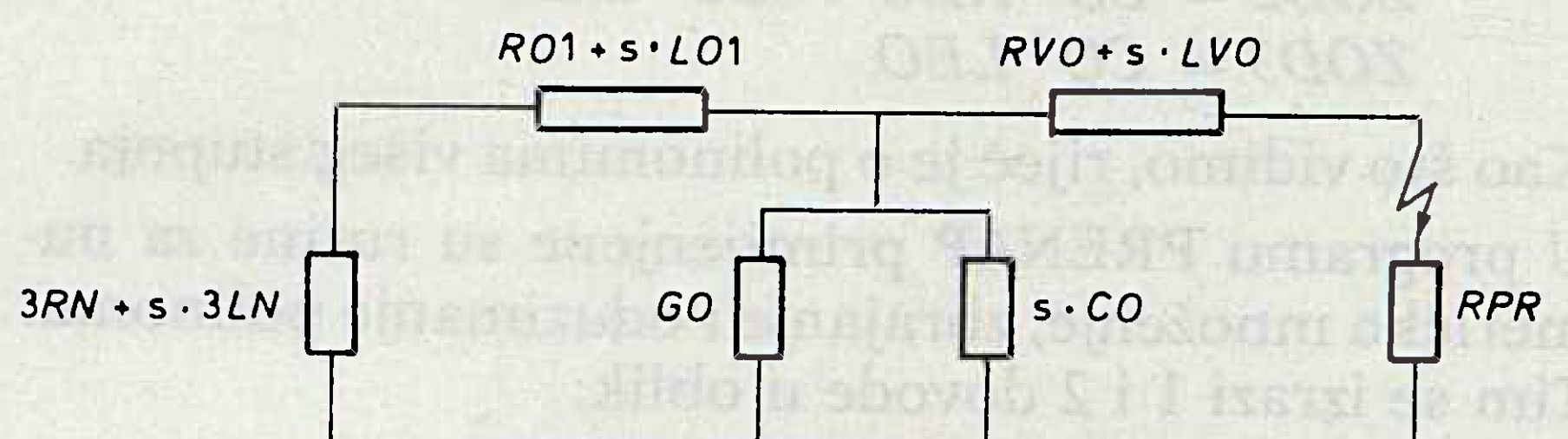
$GO$  — isto, ali u nultom sustavu;

$C$  — kapacitivnost srednjenaponske mreže u direktnom sustavu;

Direktni sustav



Nulti sustav



Slika 1. Ekvivalentne sheme

- $CO$  — isto, ali u nultom sustavu;  
 $RVD, LVD$  — radni otpor, odnosno induktivitet voda između pojne stanice i mjesta kvara;  
 $RVO, LVO$  — isto, ali u nultom sustavu;  
 $RPR$  — prijelazni otpor na mjestu kvara;  
 $s$  — Laplaceov operator.

Naponi zdravih faza u vremenskom području dobivaju se na temelju izraza (1) i (2) kao:

$$U_B(t) = U_{ZB} + L^{-1}(\tilde{U}_B) \quad (3)$$

$$U_C(t) = U_{ZC} + L^{-1}(\tilde{U}_C) \quad (4)$$

gdje su:

$U_{ZB}, U_{ZC}$  — naponi faza »b« i »c« u stanju bez kvara;

$L^{-1}$  — oznaka inverzne Laplaceove transformacije.

Dakako, glavni problem koji se pritom javlja jest određivanje inverzne Laplaceove transformacije (izraza 1–2). Taj je problem riješen numeričkim putem, pomoću elektroničkog računala na kojemu je razvijen program PRENAP. Impedancije  $Z_D$  i  $Z_O$  mogu se napisati kao:

$$Z_D = ZDG/ZDD \quad Z_O = ZOG/ZOD \quad (5)$$

$$ZDG(s) = ZDG1 + ZDG2 \cdot s + ZDG3 \cdot s^2 + ZDG4 \cdot s^3$$

$$ZDD(s) = ZDD1 + ZDD2 \cdot s + ZDD3 \cdot s^2$$

$$ZOG(s) = ZOG1 + ZOG2 \cdot s + ZOG3 \cdot s^2 + ZOG4 \cdot s^3$$

$$ZOD(s) = ZOD1 + ZOD2 \cdot s + ZOD3 \cdot s^2$$

$$ZDG1 = RD1 + RVD \cdot (1 + G \cdot RD1)$$

$$ZDG2 = LD1 + RVD \cdot (C \cdot RD1 + G \cdot LD1) + LVD \cdot (1 + G \cdot RD1)$$

$$ZDG3 = RVD \cdot C \cdot LD1 + LVD \cdot (C \cdot RD1 + G \cdot LD1)$$

$$ZDG4 = LVD \cdot C \cdot LD1$$

$$ZDD1 = 1 + G \cdot RD1$$

$$ZDD2 = C \cdot RD1 + G \cdot LD1$$

$$ZDD3 = C \cdot LD1.$$

Za nultu impedanciju dobivaju se slični izrazi, samo definiramo:

$$REO = RO1 + 3 \cdot RN \quad LEO = LO1 + 3 \cdot LN$$

$$ZOG1 = REO + RVO \cdot (1 + GO \cdot REO)$$

$$ZOG2 = LEO + RVO \cdot (CO \cdot REO + GO \cdot LEO) + LVO \cdot (1 + GO \cdot REO)$$

$$ZOG3 = RVO \cdot CO \cdot LEO + LVO \cdot (CO \cdot REO + GO \cdot LEO)$$

$$ZOG4 = LVO \cdot CO \cdot LEO$$

$$ZOD1 = 1 + GO \cdot REO$$

$$ZOD2 = CO \cdot REO + GO \cdot LEO$$

$$ZOD3 = CO \cdot LEO.$$

Kao što vidimo, riječ je o polinomima višeg stupnja.

U programu PRENAP primijenjene su rutine za numeričko množenje, zbrajanje i oduzimanje polinoma. Tim se izrazi 1 i 2 dovode u oblik:

$$\tilde{U}_B = \frac{P1(s)}{Q1(s)}; \quad \tilde{U}_C = \frac{P2(s)}{Q2(s)} \quad (6)$$

Dakako, izrazi  $P(s)$  i  $Q(s)$  su polinomi. Inverzna Laplaceova transformacija provodi se na uobičajeni način, tako da se najprije odrede korijeni nazivnika —  $Q(s)$ . Realni korijeni u vremenskom području daju funkciju

$$U(t) = UM \cdot \text{EXP}(-\alpha \cdot t). \quad (7)$$

Konjugirani kompleksni korijeni u vremenskom području rezultiraju funkcijom

$$U(t) = UM \cdot \text{EXP}(-\alpha \cdot t) - \text{SIN}(\omega_r \cdot t + \varphi). \quad (8)$$

Funkcija (7) označava istosmjernu komponentu, a funkcija (8) je oscilirajuća komponenta prenapona. Obje se funkcije s vremenom prigušuju jer sadrže eksponencijalne članove. Prema tome, navedene funkcije postoje samo u području prijelazne pojave. Pošto se prijelazne komponente priguše, preostaje samo stacionarni prenapon frekvencije 50 Hz.

Intenzitet prijelazne pojave ovisi o konkretnim parametrima mreže. Kao posebno važan pokazatelj uvodimo **faktor prenapona** definiran izrazom

$$k = \max(U_{BM}, U_{CM}) / U_{NF}, \quad (9)$$

gdje su:

$U_{BM}, U_{CM}$  — amplitude napona zdravih faza nakon nastanka kvara na fazi »a«;

$U_{NF}$  — amplituda nazivnoga faznog napona.

Faktore prenapona dobivene proračunom ili mjerenjima treba usporediti s vrijednostima iz standarda JUS N. BO. 030. Prema tom standardu, nova oprema mora podnijeti jednodominutne napone prema zemlji (industrijske frekvencije) u iznosu od:

$$U_p = 28 \text{ kV (10 kV-tna oprema)}$$

$$U_p = 50 \text{ kV (20 kV-tna oprema)}$$

Podnosivi naponi rezultiraju faktorima prenapona:

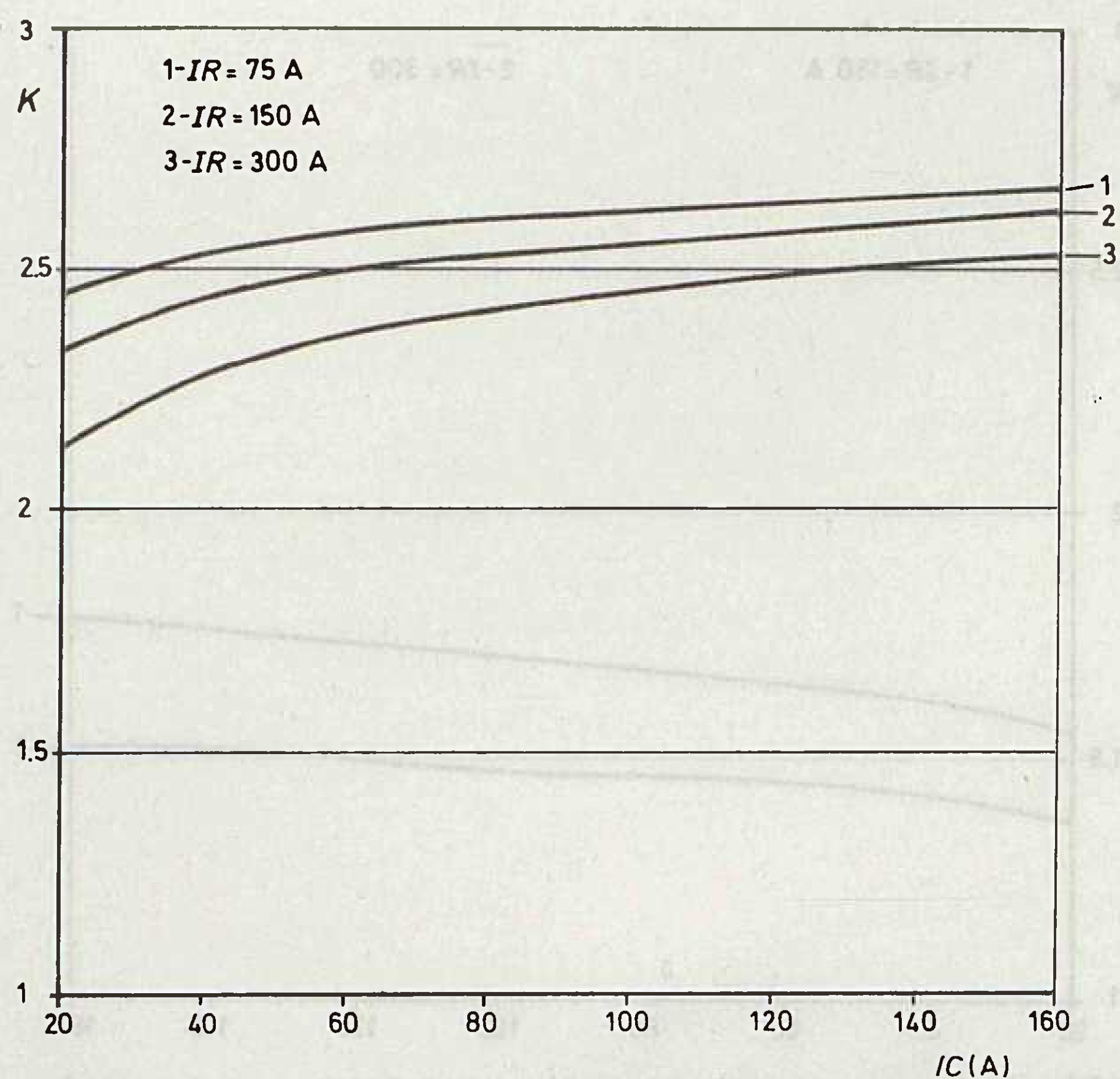
10 kV-tna oprema	20 kV-tna oprema
$k = 4,85$	$k = 4,34$
$k = 4,04$	$k = 3,61$

Veće vrijednosti izračunate su u odnosu prema nazivnom naponu mreže, a manje su vrijednosti određene prema maksimalnim pogonskim naponima.

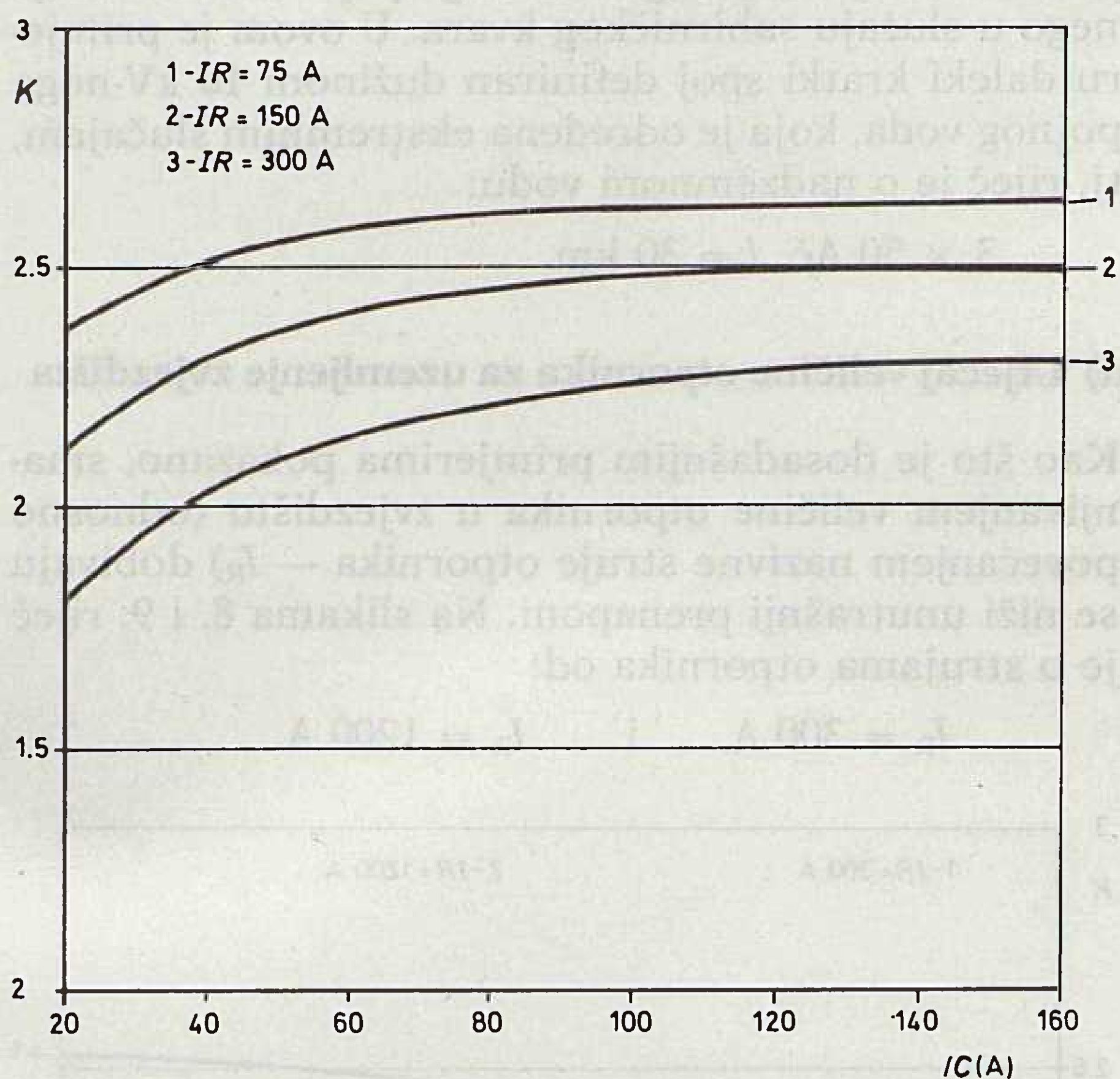
Dielektrička čvrstoća izolacije starije opreme slabi, što rezultira nižim podnosivim prenaponima od izloženih vrijednosti.

### 3. ANALIZA UNUTRAŠNJIH PRENAPONA U TIPIČNIM 10(20) KV-TNIM MREŽAMA

Primjenom programa PRENAP obavljen je niz proračuna unutrašnjih prenapona u 10(20) kV-tnim mrežama uzemljenim preko otpornika. Rezultati su pokazani na slikama 2. — 10. U daljnjem tekstu komentirat ćemo dobivene rezultate.



Slika 2. Sabirnički kvar, opterećenje 0 MVA, pojni transformator 1 x 40 MVA



Slika 3. Sabirnički kvar, opterećenja 0 MVA, pojni transformator 1 x 40 MVA

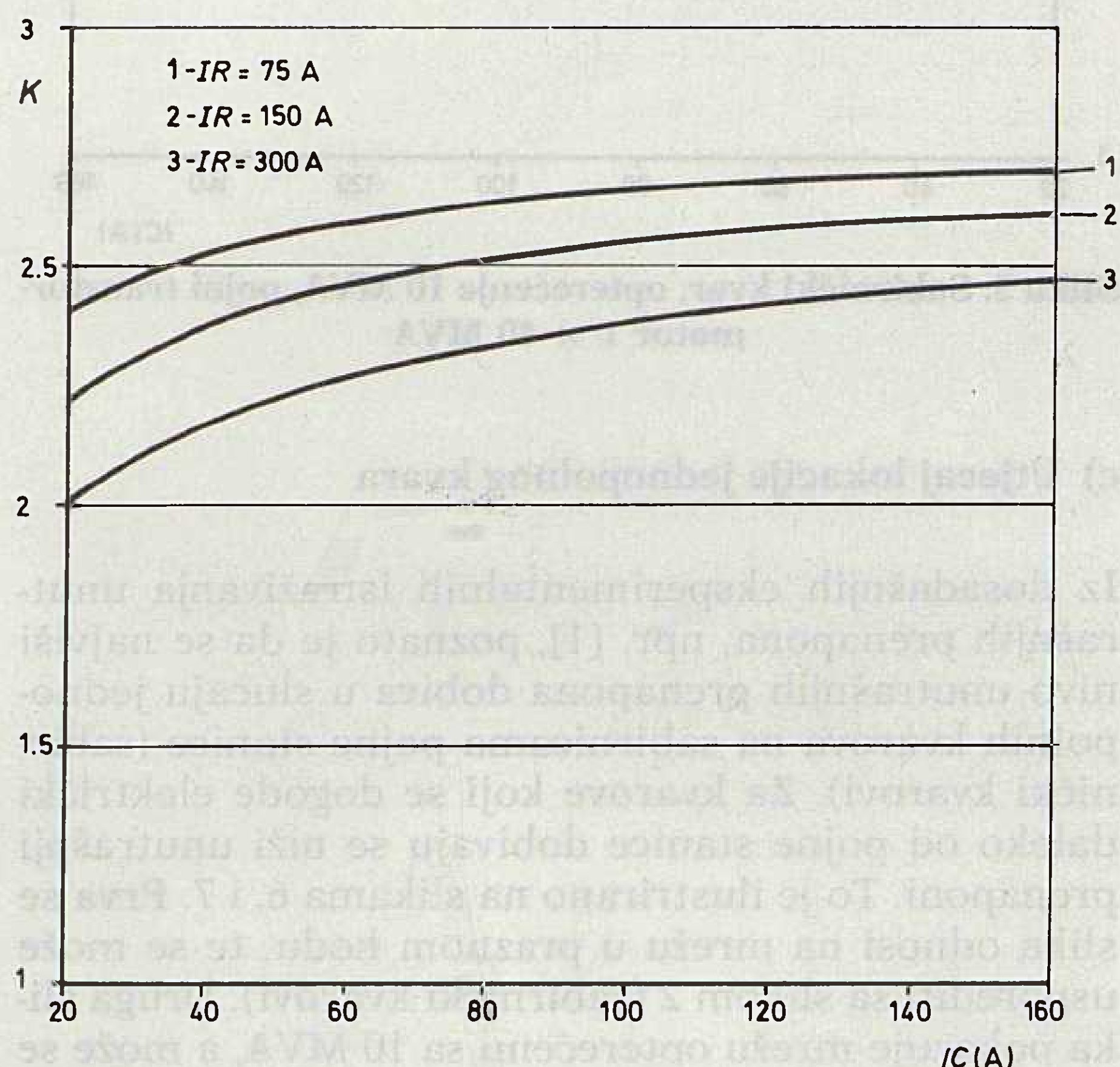
#### a) Utjecaj induktiviteta pojne točke

Na slikama 2. i 3. prikazana je ovisnost **faktora unutrašnjih prenapona** o veličini otpornika za uzemljenje zvjezdišta (tj. nazivnoj struji otpornika  $I_R$ ), te o kapacitivnosti mreže (tj. kapacitivnoj struji zemljospoja  $I_C$ ). To su dobro poznate funkcionalne ovisnosti:

- faktori prenapona rastu sa smanjivanjem nazivne struje otpornika u zvjezdištu;
- faktori prenapona rastu porastom kapacitivne struje zemljospoja 10 kV-tne mreže.

Manje je poznat utjecaj induktiviteta pojne točke (tj. TS 110/10(20) kV, odnosno TS 35/10 kV). Uspored-

bom slike 2. i 3. vidimo da porast induktiviteta pojne točke uz iste ostale parametre rezultira malo manjim faktorima prenapona. To znači da će faktori prenapona u mrežama napajanim iz TS 35/10(20) kV s instaliranim transformatorima male snage biti malo manji nego u mrežama napajanim iz TS 110/10(20) kV. Pritome je važno da transformatori TS 35/10 kV imaju dostupno zvjezdište na 10 kV-tnoj strani, što često nije slučaj. Ako je npr. transformator, konstruiran u spoju Yd5, provedba uzemljenja uvjetovana je ugradnjom tzv. umjetnog zvjezdišta niske nulte reaktancije. Na slici 4. prikazani su rezultati proračuna faktora prenapona za takvu situaciju. Pretpostavljeno je da se napajanje provodi preko jednog transformatora snage 4 MVA (kao na sl. 3), uz građeno um-

Slika 4. Sabirnički kvar, opterećenje 0 MVA, uzemljenje preko umjetnog zvjezdišta ( $X_0 = 9$  ohm)

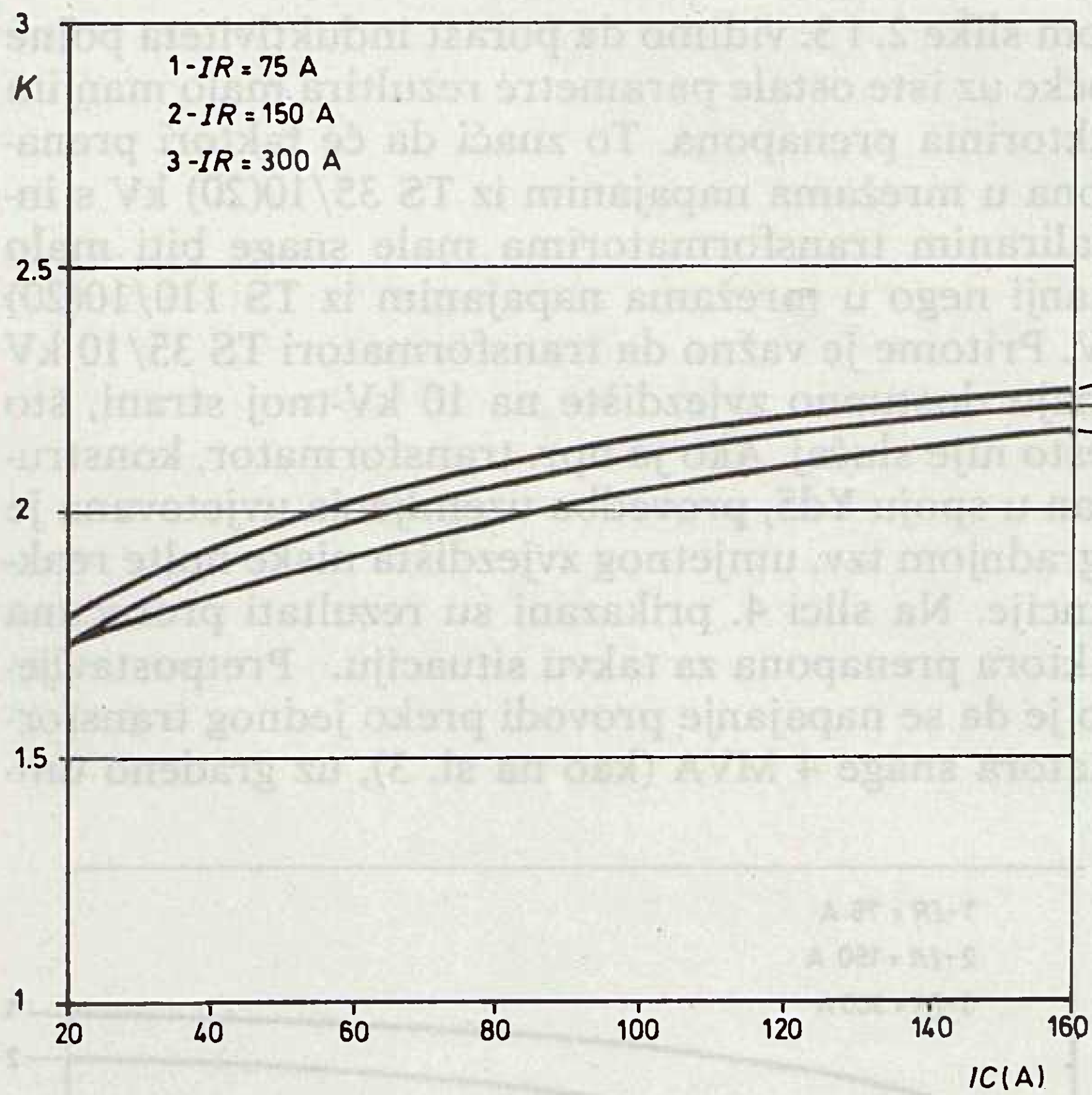
jetno zvjezdište nulte reaktancije  $9 \Omega$ /fazi. Dobiveni su rezultati vrlo slični onima za TS 110/10 kV, 1 x 40 MVA, koje imaju višestruko niži induktivitet. Ugradnja umjetnog zvjezdišta znatno povisuje faktore prenapona uz upotrebu otpornika nazivne struje  $I_R = 300$  A. To je razumljivo jer je riječ o otporniku manjega nazivnog otpora.

#### b) Utjecaj opterećenja 10(20) kV-tne mreže

Utjecaj opterećenja 10(20) kV-tne mreže na visinu unutrašnjih prenapona relativno je slabo obrađen u našoj stručnoj literaturi.

Na slici 5. dani su dijagrami analogni onima sa slike 2 (napajanje mreže iz TS 110/10(20) kV, 1 x 40 MVA), ali uz opterećenje od 10 MVA. Možemo uočiti bitno smanjenje faktora prenapona. Osim toga, razlika između krivulja 1 ( $I_R = 75$  A) i 3 ( $I_R = 300$  A) postaje minimalna. Prema tome, porast opterećenja 10(20) kV mreže veoma povoljno djeluje na smanjivanje nivoa unutrašnjih prenapona.

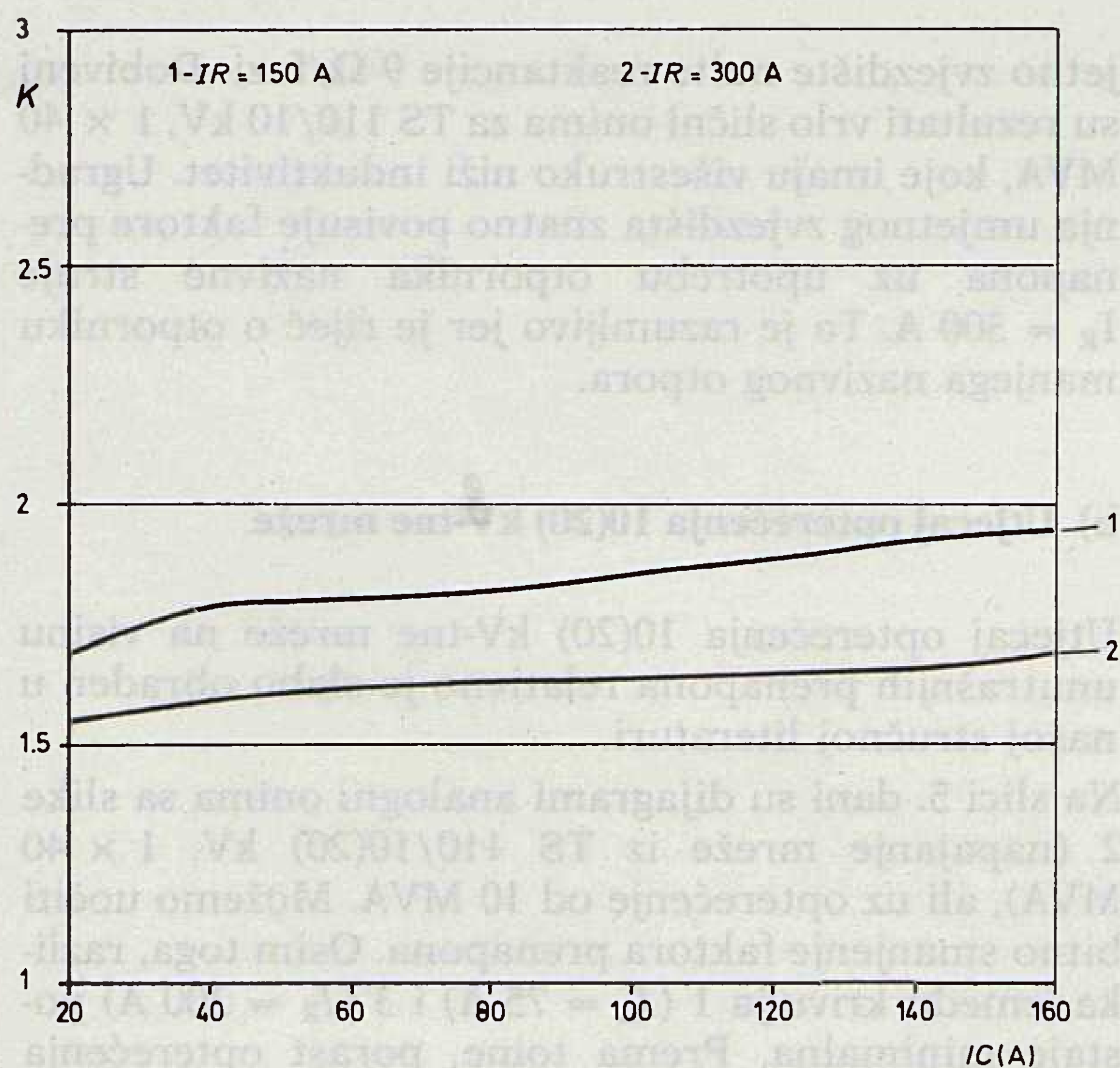




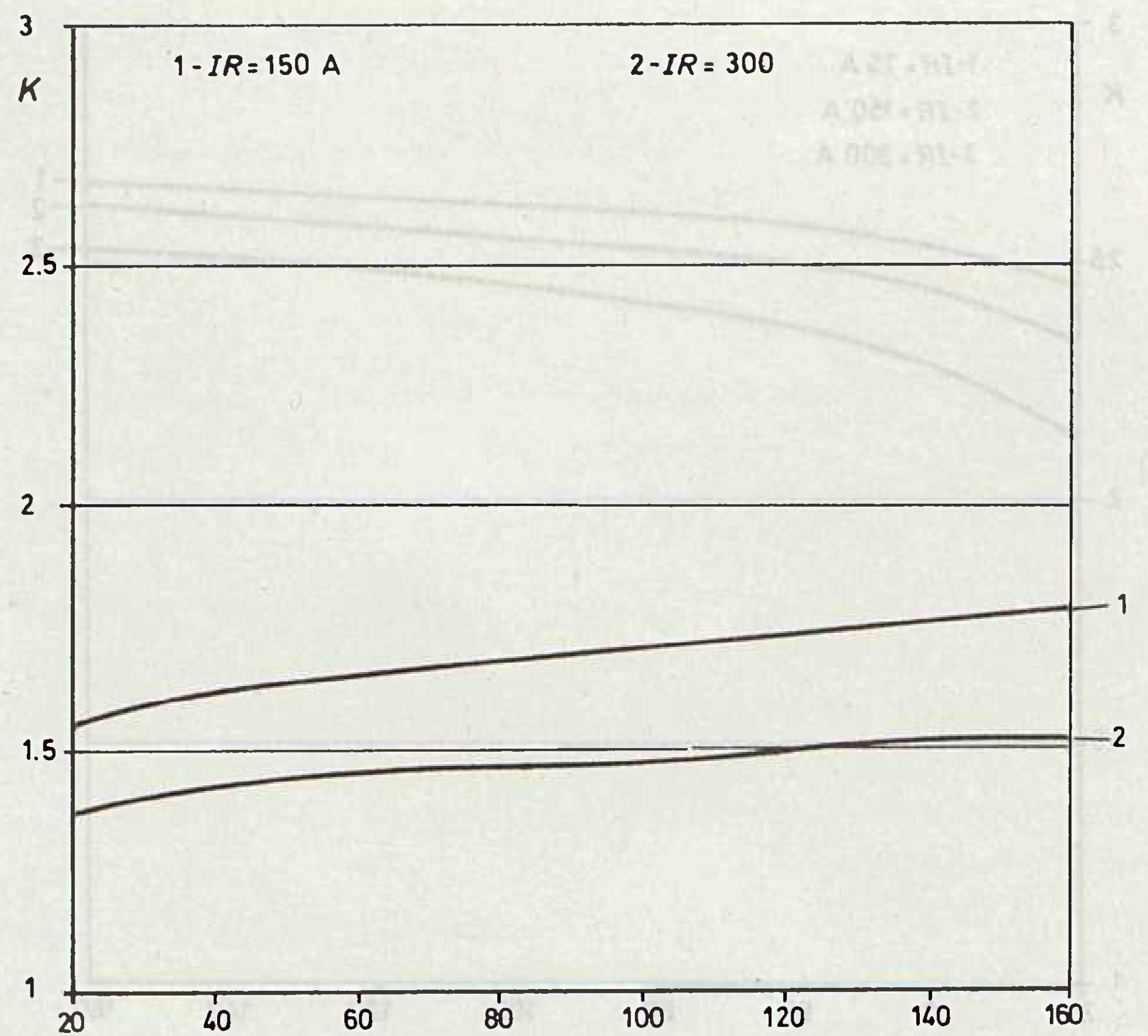
Slika 5. Sabirnički kvar, opterećenje 10 MVA, pojni transformator  $1 \times 40$  MVA

### c) Utjecaj lokacije jednopolnog kvara

Iz dosadašnjih eksperimentalnih istraživanja unutrašnjih prenapona, npr. [1], poznato je da se najviši nivo unutrašnjih prenapona dobiva u slučaju jednopolnih kvarova na sabirnicama pojne stanice (sabirnički kvarovi). Za kvarove koji se dogode električki daleko od pojne stanice dobivaju se niži unutrašnji prenaponi. To je ilustrirano na slikama 6. i 7. Prva se slika odnosi na mrežu u praznom hodu, te se može usporediti sa slikom 2 (sabirnički kvarovi). Druga slika pokazuje mrežu opterećenu sa 10 MVA, a može se usporediti sa slikom 5 (sabirnički kvarovi). Usporedbom navedenih slika vidimo da su unutrašnji prena-



Slika 6. Kvar u mreži, opterećenje 0 MVA, pojni transformator  $1 \times 40$  MVA



Slika 7. Kvar u mreži, opterećenje 10 MVA, pojni transformator  $1 \times 40$  MVA

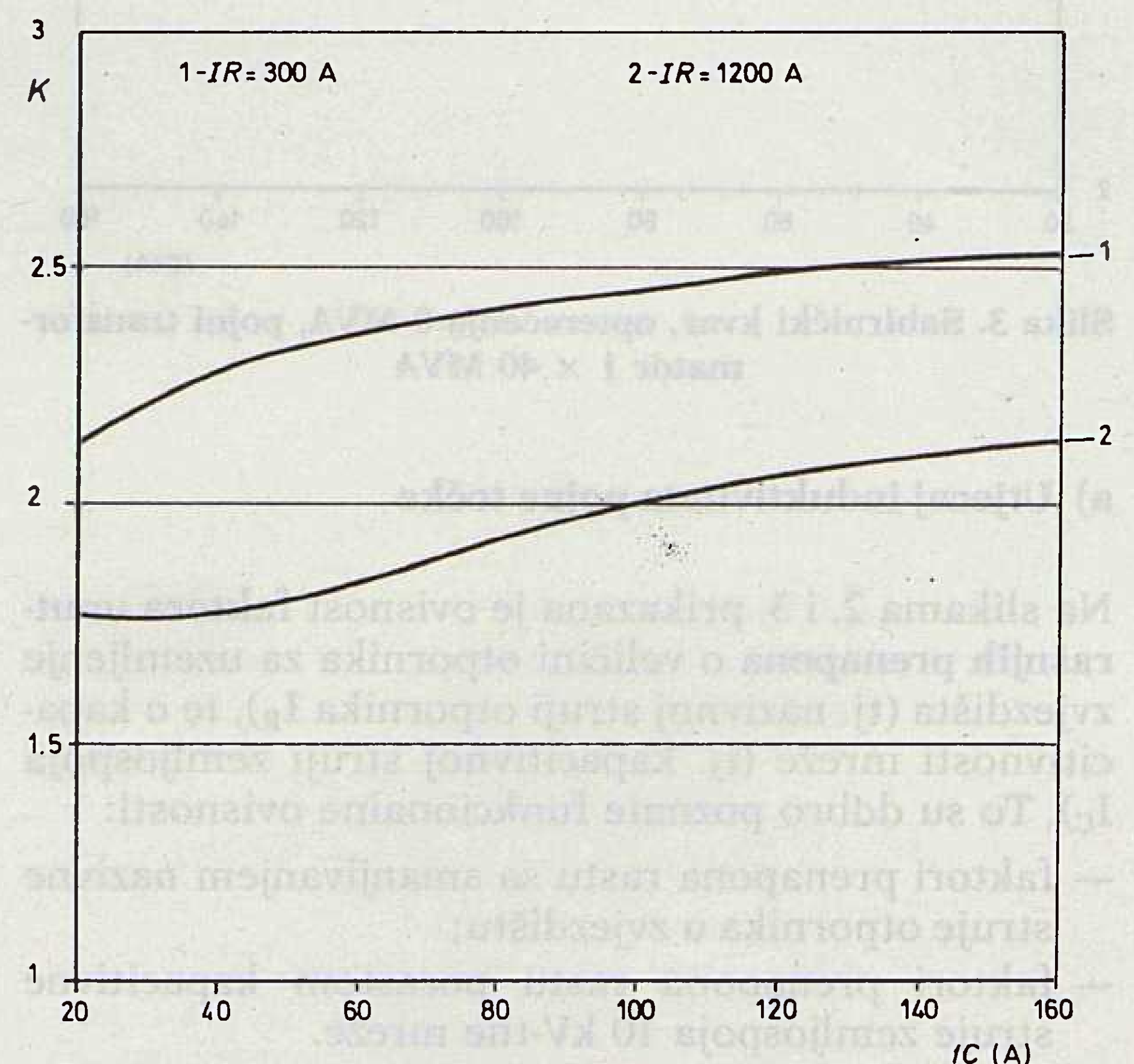
poni u slučaju dalekoga kratkog spoja znatno manji nego u slučaju sabirničkog kvara. U ovom je primjeru daleki kratki spoj definiran dužinom 10 kV-noga pojnog voda, koja je određena ekstremnim slučajem, tj. riječ je o nadzemnom vodu:

$$3 \times 50 \text{ Ač}, l = 30 \text{ km.}$$

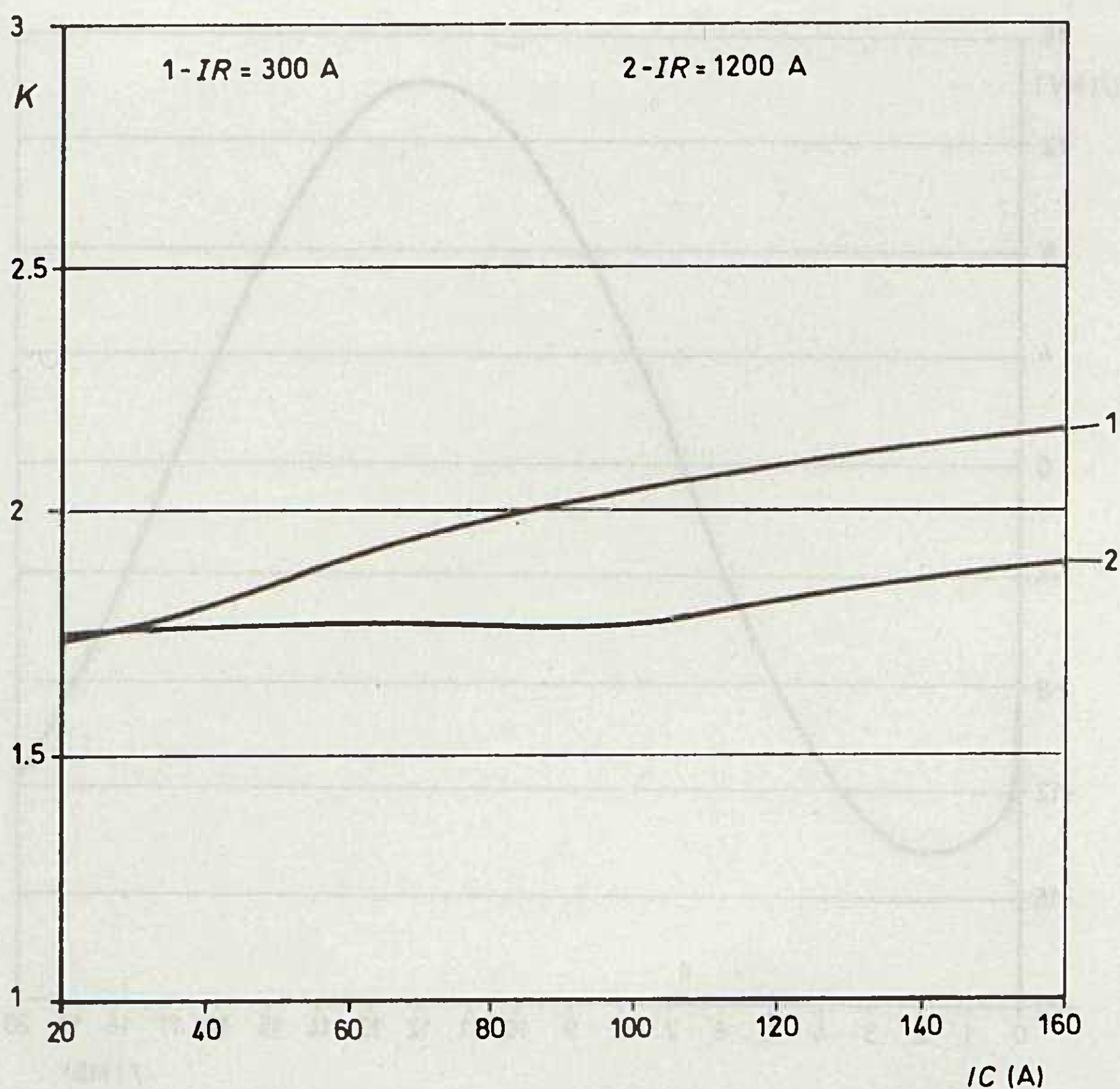
### d) Utjecaj veličine otpornika za uzemljenje zvjezdista

Kao što je dosadašnjim primjerima pokazano, smanjivanjem veličine otpornika u zvjezdistu (odnosno povećanjem nazivne struje otpornika —  $I_R$ ) dobivaju se niži unutrašnji prenaponi. Na slikama 8. i 9. riječ je o strujama otpornika od:

$$I_R = 300 \text{ A} \quad \text{i} \quad I_R = 1200 \text{ A.}$$



Slika 8. Sabirnički kvar, opterećenje 0 MVA, pojni transformator  $1 \times 40$  MVA

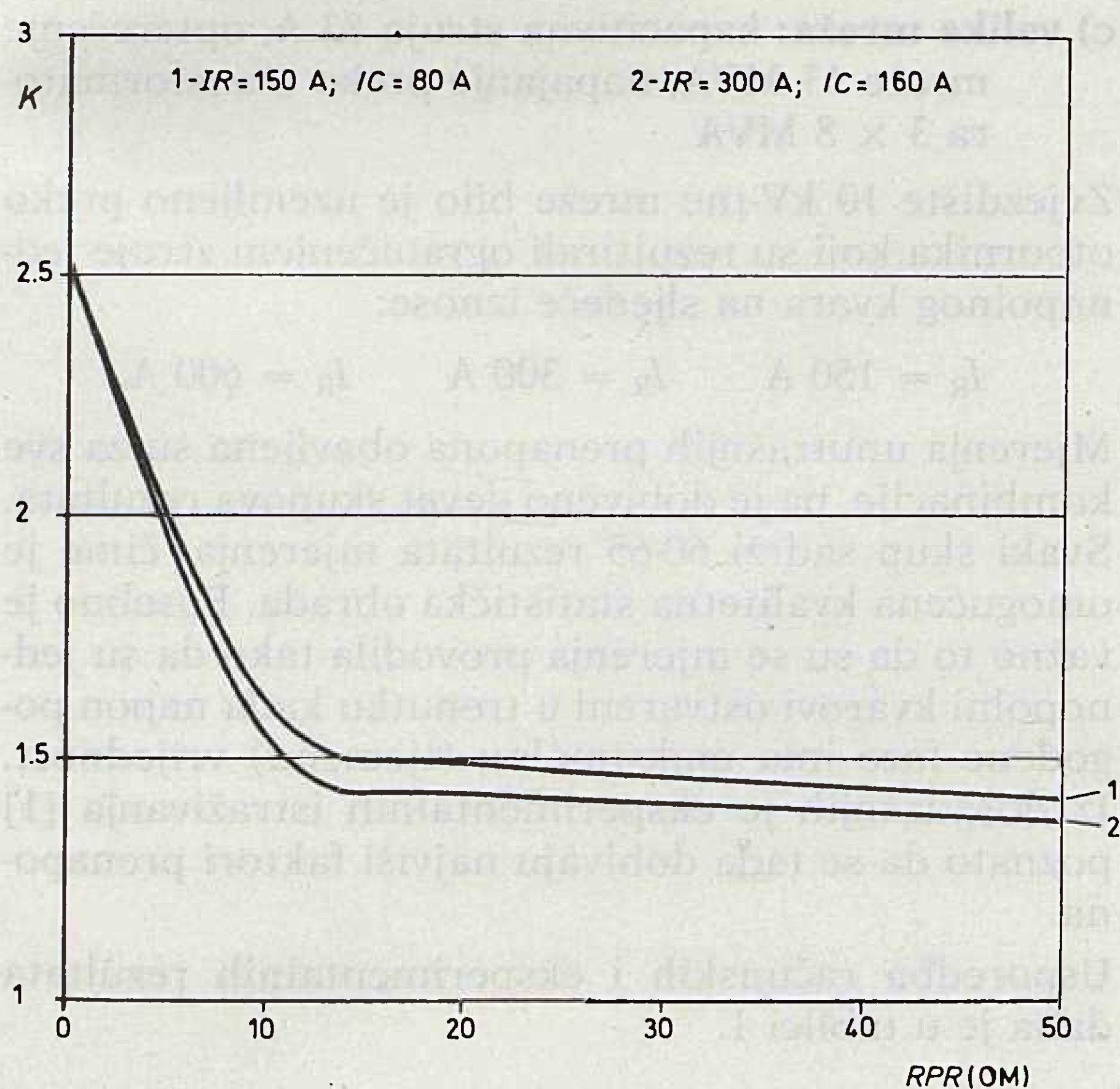


Slika 9. Sabirnički kvar, opterećenje 10 MVA, pojni transformator 1 × 40 MVA

Taj je primjer posebno zanimljiv jer se u našoj stručnoj javnosti vodi dosta diskusija o opravdanosti uzemljenja zvjezdišta preko otpornika viših (ili manjih) nazivnih struja. Analizom slike 8. vidimo da se uzemljenjem zvjezdišta preko otpornika nazivne struje  $I_R = 1200$  A, uz neopterećenu mrežu, bitno smanjuju faktori prenapona u odnosu prema mreži uzemljenoj preko otpornika nazivne struje  $I_R = 300$  A. Međutim, slika 9. pokazuje da će u opterećenim mrežama ta razlika biti znatno manja!

#### e) Utjecaj prijelaznog otpora na mjestu kvara

Na slici 10. prikazana je ovisnost faktora unutrašnjih prenapona o prijelaznom otporu na mjestu kvara.



Slika 10. Sabirnički kvar, opterećenje 0 MVA, pojni transformator 1 × 40 MVA

Uočljivo je izrazito veliko prigušenje prenapona s porastom prijelaznog otpora. Već uz prijelazni otpor od  $10 \Omega$  faktori prenapona padaju na vrijednost:

$$k = 1,5$$

Pritome je riječ o nepovoljnim ostalim parametrima: visokoj kapacitivnoj struji zemljospoja, sabirničko-kome kratkom spoju i mreži u praznom hodu.

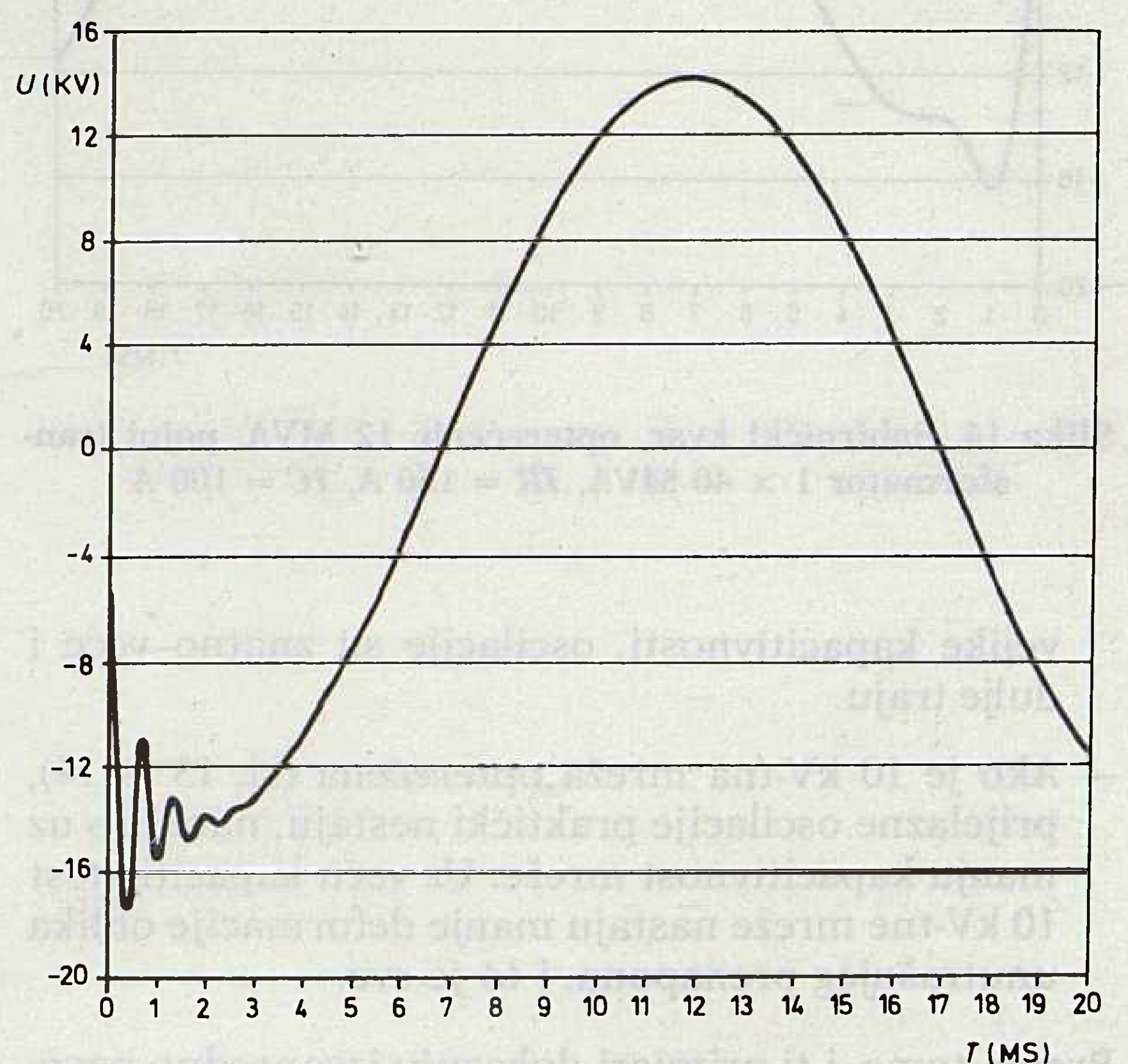
Utjecaj prelaznog otpora na visinu unutrašnjih prenapona donekle je zbunjujući, ali samo u prvi mah. Naime, porast prijelaznog otpora kvara smanjuje struju kvara, isto kao i porast otpora u zvjezdištu. No, fizikalno gledano, to su dva različita efekta:

- kada bi prijelazni otpor na mjestu kvara postao beskonačan, ne bi ni bilo dozemnog kvara;
- kada bi otpor u zvjezdištu postao beskonačan, mreža bi prešla u izolirani režim rada, a jednopolni bi kvar postao zemljospoj sa svim svojim posljedicama.

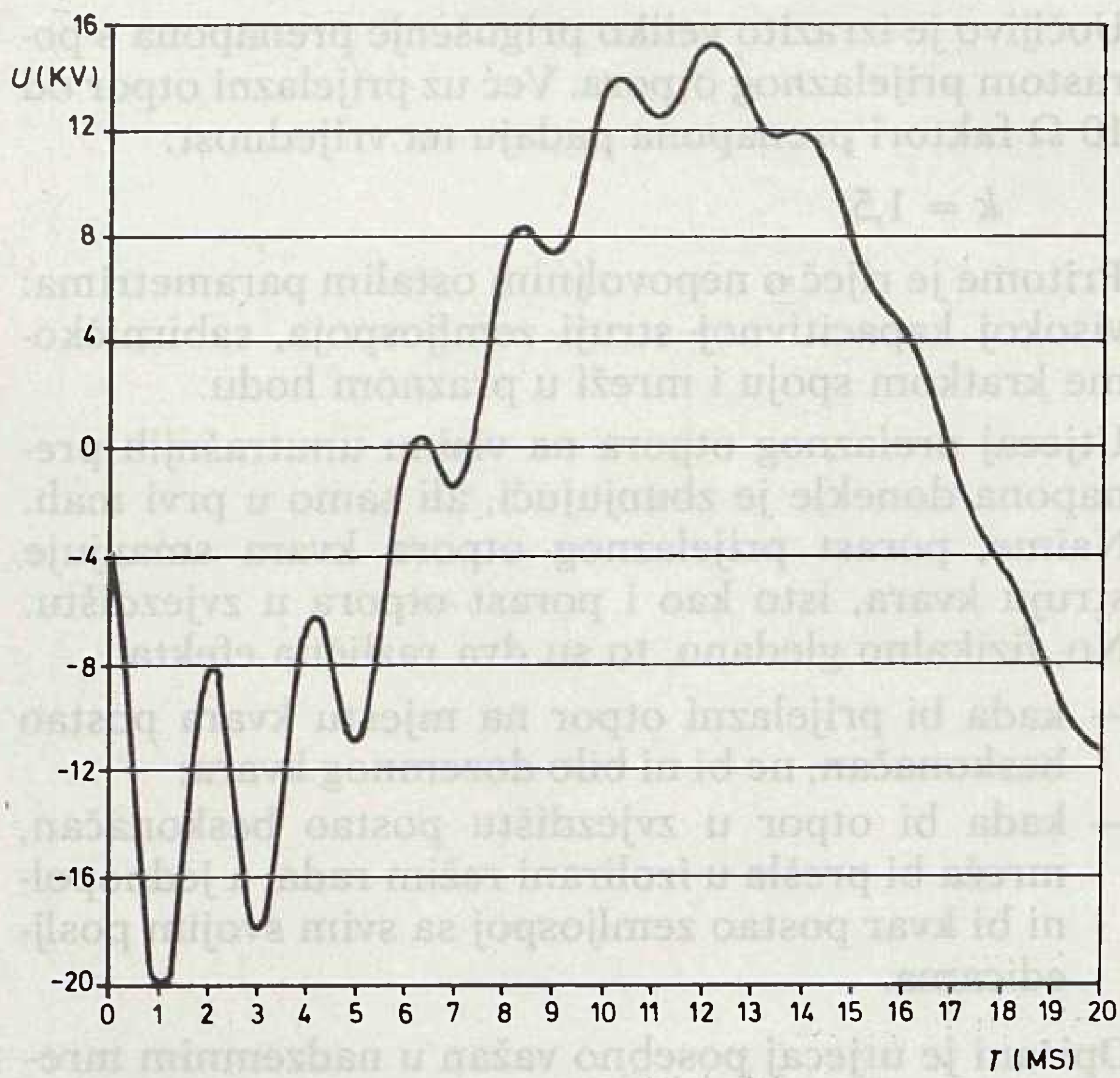
Opisani je utjecaj posebno važan u nadzemnim mrežama, u kojima su dozemni kvarovi vrlo česti, ali se zato svi oni po pravilu ostvaruju preko prijelaznih otpora.

Na kraju ovog izlaganja zanimljivo je razmotriti vremenski oblik unutrašnjih prenapona koji nastaju zbog jednopolnih kratkih spojeva. Na slikama 11–14. prikazane su vremenske funkcije unutrašnjih prenapona za slučaj dozemnih kvarova na sabirnicama (S. KV) TS 110/10 kV, 1 × 40 MVA (ili 2 × 20 MVA). Vremenske se funkcije dane za prvih 20 ms (tj. za jednu periodu 50 Hz napona). Dobivene ćemo rezultate ukratko komentirati.

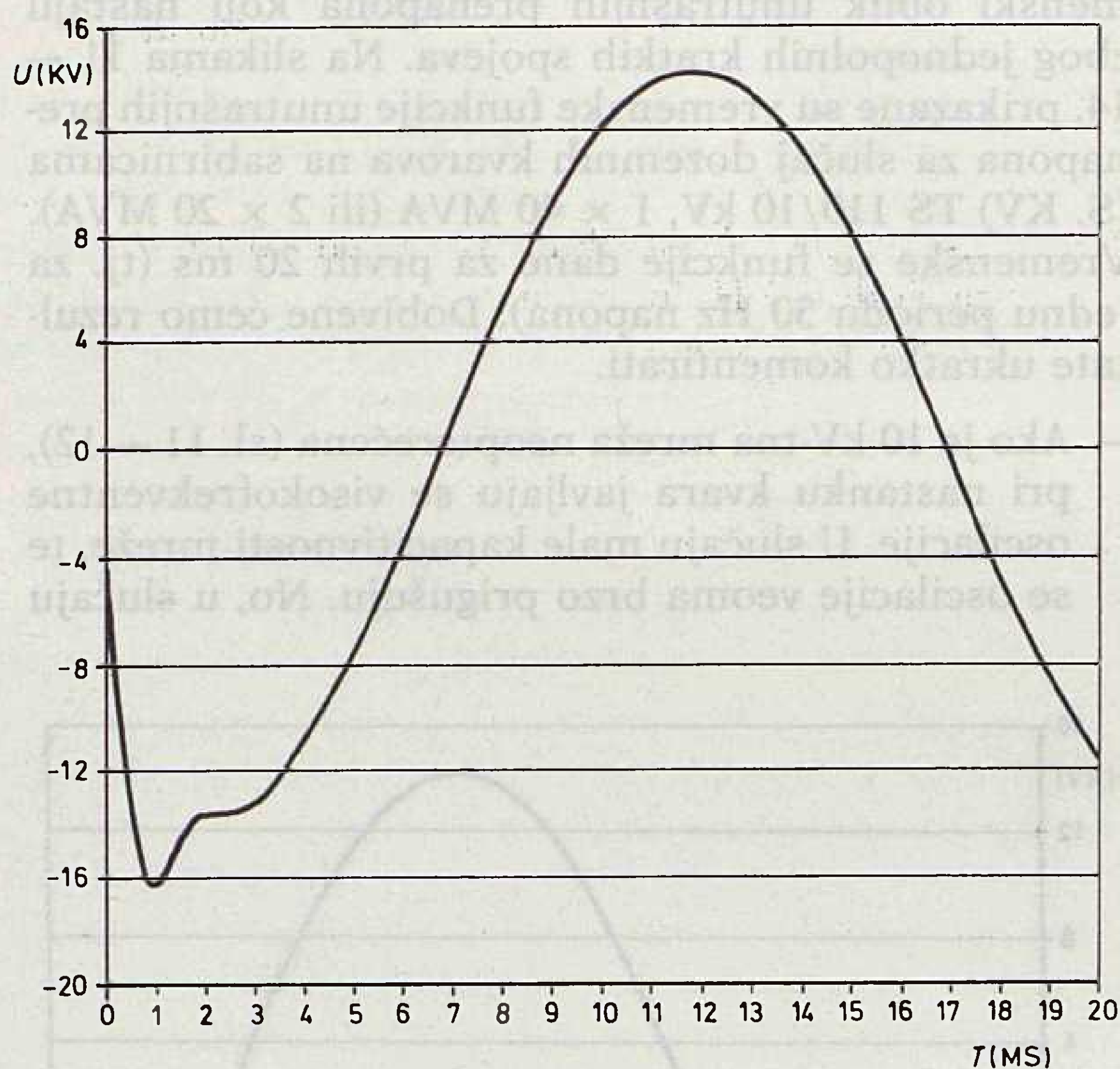
- Ako je 10 kV-tna mreža neopterećena (sl. 11–12), pri nastanku kvara javljaju se visokofrekventne oscilacije. U slučaju male kapacitivnosti mreže, te se oscilacije veoma brzo prigušuju. No, u slučaju



Slika 11. Sabirnički kvar, opterećenje 0 MVA, pojni transformator 1 × 40 MVA,  $I_R = 150$  A,  $I_C = 10$  A



Slika 12. Sabirnički kvar, opterećenje 0 MVA, pojni transformator  $1 \times 40$  MVA,  $I_R = 150$  A,  $I_C = 100$  A

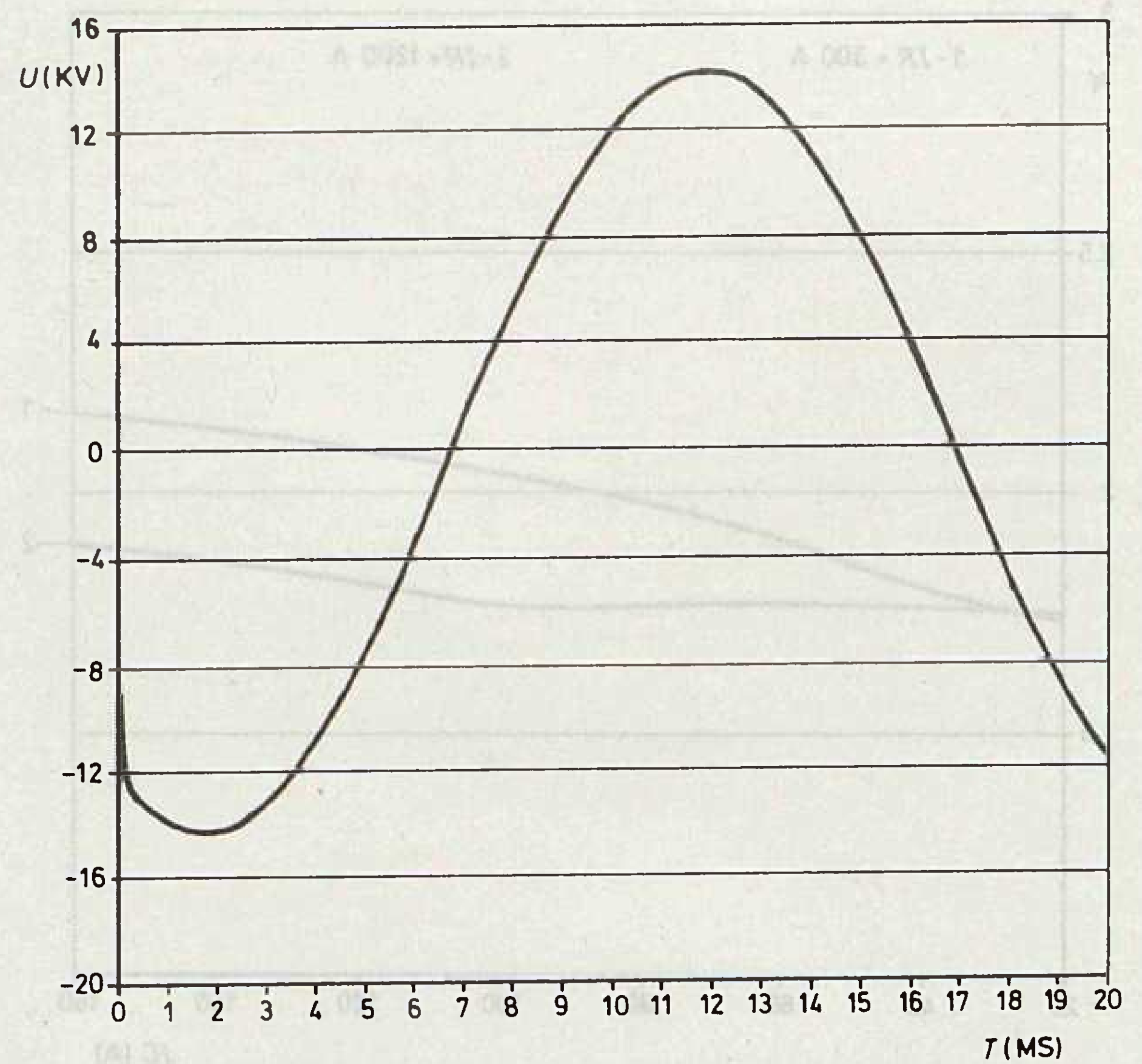


Slika 14. Sabirnički kvar, opterećenje 12 MVA, pojni transformator  $1 \times 40$  MVA,  $I_R = 150$  A,  $I_C = 100$  A

velike kapacitivnosti, oscilacije su znatno veće i dulje traju.

- Ako je 10 kV-tna mreža opterećena (sl. 13 — 14), prijelazne oscilacije praktički nestaju, naročito uz manju kapacitivnost mreže. Uz veću kapacitivnost 10 kV-tna mreže nastaju manje deformacije oblika unutrašnjeg prenapona, i to je sve.

Prema tome, i ti primjeri dokazuju izvanredno povoljan utjecaj opterećenja distributivne mreže na prigušenje unutrašnjih prenapona.



Slika 13. Sabirnički kvar, opterećenje 12 MVA, pojni transformator  $1 \times 40$  MVA,  $I_R = 150$  A,  $I_C = 10$  A

#### 4. USPOREDBA RAČUNSKIH I MJERENIH VRIJEDNOSTI

Rezultati dobiveni pomoću programa PRENAP verificirani su mjerenjima unutrašnjih prenapona u 10 kV-tnoj mreži Pule, napajanoj iz TS 35/10 kV »Centar«. Mjerenjima su obuhvaćeni različiti uvjeti:

- mala mreža:** kapacitivna struja 8 A, opterećenje mreže 1, 2 MVA, napajanje preko transformatora  $1 \times 8$  MVA,
- srednja mreža:** kapacitivna struja 35 A, opterećenje mreže 7 MVA, napajanje preko transformatora  $2 \times 8$  MVA,
- velika mreža:** kapacitivna struja 83 A, opterećenje mreže 13 MVA, napajanje preko transformatora  $3 \times 8$  MVA

Zvezdište 10 kV-tna mreže bilo je uzemljeno preko otpornika koji su rezultirali ograničenjem struje jed-nopolnog kvara na sljedeće iznose:

$$I_R = 150 \text{ A} \quad I_R = 300 \text{ A} \quad I_R = 600 \text{ A.}$$

Mjerenja unutrašnjih prenapona obavljena su za sve kombinacije, pa je dobiveno devet skupova rezultata. Svaki skup sadrži 60-65 rezultata mjerenja, čime je omogućena kvalitetna statistička obrada. Posebno je važno to da su se mjerenja provodila tako da su jed-nopolni kvarovi ostvareni u trenutku kada napon po-gođene faze ima maksimalnu (tjemenu) vrijednost. Iz dosadašnjih je eksperimentalnih istraživanja [1] poznato da se tada dobivaju najviši faktori prenapo-na.

Usporedba računskih i eksperimentalnih rezultata dana je u tablici 1.

Analizom tablice 1. možemo utvrditi izvanredno sla-ganje teorijskih i eksperimentalnih rezultata u svih

devet slučajeva. Najveća su odstupanja dobivena u velikoj mreži, uz ograničenje struje jednopolnog kvara na 150 A. No, ni tada ona nisu veća od 10%. Osim toga, proračunom je za taj slučaj dobivena veća vrijednost faktora prenapona, što znači da taj rezultat potvrđuje sigurnost.

Izložena je usporedba izuzetno važna, jer pokazuje da se u budućim analizama unutrašnjih prenapona u razdjelnim mrežama možemo potpuno osloniti na rezultate proračuna pomoću programa PRENAP.

Tablica 1. Usporedba faktora prenapona

Mreža	$I_R$ (A)	$k_R$	$k_{98}$	$k_{90}$	$f_1$	$f_2$
mala	150	1,82	1,81	1,80	1,01	1,01
	300	1,75	1,81	1,78	0,97	0,98
	600	1,75	1,77	1,76	0,99	0,99
srednja	150	1,89	1,86	1,81	1,02	1,04
	300	1,78	1,83	1,78	0,97	1,00
	600	1,75	1,82	1,76	0,96	0,99
velika	150	1,97	1,81	1,79	1,09	1,10
	300	1,90	1,81	1,79	1,05	1,06
	600	1,79	1,76	1,75	1,02	1,02

Značenja pojedinih veličina iz tablice 1. jesu sljedeća:

- $I_R$  — nazivna struja otpornika
- $k_R$  — računski faktor prenapona
- $k_{98}$  — 98% kvantil dobiven statističkom analizom
- $k_{90}$  — 90% kvantil dobiven statističkom analizom
- $f_1$  — omjer  $k_R/k_{98}$
- $f_2$  — omjer  $k_R/k_{90}$ .

## 5. ZAKLJUČAK O UNUTRAŠNJIM PRENAPONIMA U 10(20) KV-TNIM REZISTANTNO UZEMLJENIM MREŽAMA

Na temelju dosadašnjih teorijskih i eksperimentalnih istraživanja mogu se formulirati sljedeći opći zaključci:

- a) smanjenje veličine otpornika za ograničenje struje jednopolnog kvara (odnosno porast nazivne struje otpornika) uvjetuje smanjenje unutrašnjih prenapona;
- b) porast ukupnoga dozemnog kapaciteta 10(20) kV-tne mreže (tj. porast kapacitivne struje zemljospoja) uvjetuje porast unutrašnjih prenapona;
- c) porast opterećenja 10(20) kV-tne mreže smanjuje unutrašnje prenapone;
- d) prijelazni otpor na mjestu kvara smanjuje visinu unutrašnjih prenapona;
- e) s električnim udaljavanjem od pojne stanice smanjuju se unutrašnji prenaponi;
- f) najveći unutrašnji prenaponi dobivaju se kada napon pogođene faze u trenutku kvara ima maksimalnu vrijednost (amplituda).

Valja napomenuti da su svi proračuni u poglavlju 4. provedeni uz pretpostavku da napon pogođene faze

u trenutku kvara ima maksimalnu vrijednost, jer je to dosta realna pretpostavka. Svi ostali parametri (a-e) kvantificirani su u poglavlju 4.

Na temelju izloženih rezultata iz prethodnih poglavlja mogu se utvrditi kriteriji za izbor nazivne struje otpornika za uzemljenje zvjezdišta, i to sa stanovišta unutrašnjih prenapona. Pritome je poželjno ograničiti visinu unutrašnjih prenapona tako da faktori prenapona budu u granicama:

$$k \leq 2,0. \quad (10)$$

Takav stav podržava i Komitet CIGRE za prenapone i koordinaciju izolacije.

Najstroži bi se kriterij dobio kada bi se mjerodavnim smatrao metalni sabirnički kratki spoj u neopterećenoj mreži (sl. 2 – 4). Međutim, takva je situacija izuzetno rijetka (kao sabirnički kvarovi, tako i neopterećena mreža). U stvarnim okolnostima dominiraju kvarovi u opterećenim mrežama (a ne na sabirnicama pojne stanice). Osim toga, mnogi se kvarovi ostvaruju preko prijelaznih otpora. To znači da će rezultirajući unutrašnji prenaponi biti jako prigušeni. Na temelju analize svih utjecajnih faktora (pogl. 2), formuliran je kriterij za izbor otpornika za uzemljenje zvjezdišta:

$$I_R \geq 3 \cdot I_C, \quad (11)$$

gdje je:

- $I_R$  — nazivna strujna otpornika (A)
- $I_C$  — kapacitivna struja zemljospoja (A).

Ispunjenjem gornjeg uvjeta osigurava se rezistantno uzemljenje zvjezdišta; struja jednopolnog kvara ima **pretežno radni karakter**, što se i želi postići.

Ako su uvjeti uzemljenja vrlo teški (npr. na kraškim terenima), formula (11) može rezultirati previsokim strujama jednopolnog kvara. Tada se može odstupiti od isključivo rezistantnog uzemljenja zvjezdišta i ući u područje tzv. visokoomskog uzemljenja zvjezdišta, koje je definirano Petersenovim kriterijem:

$$I_R \geq I_C. \quad (12)$$

Da bi se ipak ubuduće osigurao pretežno rezistantni karakter uzemljenja zvjezdišta i uzeo u obzir porast kapacitivne struje zemljospoja, preporučujemo malo stroži kriterij:

$$I_R \geq 1,5 \cdot I_C. \quad (13)$$

Ispunjenjem tog uvjeta faktori prenapona najčešće će se održati ispod granice:

$$k = 2,0.$$

Dakako, u nepovoljnim okolnostima mogu doseći granicu:

$$k = 2,5.$$

No, to će se dogoditi relativno rijetko pa, prema tome, nema presudnu važnost.

Potrebno je upozoriti na jednu vrlo povoljno korelaciju:

- porast kapacitivne struje zemljospoja (koji izaziva porast unutrašnjih prenapona) po pravilu je pra-

ćen i porastom opterećenja mreže (koje vode smanjivanju unutrašnjih prenapona). Prema tome, riječ je o svojevrsnoj kompenzaciji.

Na kraju valja upozoriti da su kriteriji 11, a naročito 13, donje granice za izbor otpornika u zvjezdištu. Ako prilike to dozvoljavaju, mogu se odabrati otpornici viših nazivnih struja.

**LITERATURA**

- [1] I. HRS: »Istraživanje utjecaja uzemljenja zvjezdišta razdjelnih mreža preko djelatnog otpora na nivo unutrašnjih prenapona«, studija IE, Zagreb, 1977.
- [2] J. NAHMAN: »Uzemljenje neutralne točke distributivnih mreža«, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
- [3] JUS standard N. B. O. 030/78.
- [4] S. ŽUTOBRADIĆ, B. FILIPOVIĆ: »Izbor načina uzemljenja neutralne točke u mrežama srednjeg napona«, studija IE, Zagreb, 1987.

**A ANALYSIS OF INTERNAL OVERVOLTAGES IN NETS GROUNDED BY RESISTOR**

In the article is presented a model for calculation of internal overvoltages that occur in one line failures. Internal overvoltages are analysed in 10(20) kV nets grounded by resistor. Calculated results are compared to measured values, and some criteria for choice of Y connection grounding resistors are suggested.

**BEITRAG ZUR ANALYSE DER INNEREN ÜBERSpanNUNGEN IN RESISTENT GEERDETEN VERTEILUNGSNETZEN**

Im Artikel spricht man über das mathematische Modell der inneren Überspannungen die wegen einpoliger Schäden vorkommen. Man durchführte eine genaue Analyse der inneren Überspannungen in 10(20) kV Netzen die über Widerstandskörper geerdet wurden. Die gewonnenen mathematischen Resultate wurden mit den Resultaten der Messungen verglichen. Es wurden Kriterien für die Wahl der Widerstandskörper für die Erdung des Sternpunktes vorgeschlagen.

**ВКЛАД АНАЛИЗУ ВНУТРЕННИХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В РЕЗИСТИВНО ЗАЕМЛЕННЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ**

В статье излагается математическая модель для вычисления внутреннего перенапряжения, возникающего вследствие одноплосных повреждений в распределительных сетях. Произведен подробный анализ внутреннего перенапряжения сетей 10(20) кВ, заземленных через сопротивление. Полученные расчетные результаты сравниваются с результатами измерений. Предлагаются критерии для выбора заземления нейтральной точки.

1.01	1.01	1.00	1.01	1.00	1.00
0.98	0.97	1.78	1.81	1.75	1.75
0.99	0.99	1.75	1.75	1.75	1.75
1.04	1.02	1.81	1.81	1.81	1.81
1.00	0.97	1.78	1.78	1.78	1.78
0.99	0.99	1.75	1.75	1.75	1.75
1.10	1.09	1.78	1.78	1.78	1.78
1.06	1.05	1.75	1.75	1.75	1.75
1.02	1.02	1.75	1.75	1.75	1.75

Naslov pisaca:  
**Mr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu, 41000**  
**Zagreb, Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**  
**Mr. Luciano Delbianco, dipl. inž.**  
**Elektroistra, 52000 Pula,**  
**Vergerijeva 10, Jugoslavija**  
 Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-01-18

# OSVRT NA POVIJEST RAZVOJA I PRIMJENE VISOKONAPONSKIH PNEUMATSKIH PREKIDAČA

Doc. dr. Rusmir Mahmutćehajić, Osijek — Silvio Hajdin, Belišće

UDK 621.316.54

STRUČNI RAD

Članak daje podatke o rastanku i razvoju pneumatskih prekidača, njihovim osnovnim tehničkim karakteristikama te osvrt na neke domaće izvedbe usporednim karakteristikama s drugim tipovima prekidača te pokušava uočiti perspektive primjene tog tipa prekidača.

**Ključne riječi:** sklopni aparati, pneumatski prekidači, perspektive primjene.

## 1. UVOD

Pneumatski prekidači\* eksperimentalno su razvijeni 1926. godine u sklopu aktivnosti Udruženja za elektrotehnička istraživanja Velike Britanije. Njihova je komercijalna proizvodnja počela u Njemačkoj (Biermanns, 1929) i Švicarskoj (Walty, 1935) [1]. U toku njihova razvojnog vijeka ta je vrsta prekidača pokazala da ispunjava sve zahtjeve naponskih nivoa i prilagodljivosti uvjetima djelovanja. Međutim, suvremeni zahtjevi elektromagnetskih mreža i napredak koji je postignut u razvoju tehnika prekidanja s upotrebom drugih medija uzrokovali su pojavu drukčijih tipova prekidača koji jednako dobro ili bolje od pneumatskih obavljaju zadane funkcije. Time počinje proces postupnog povlačenja pneumatskih prekidača iz upotrebe u elektroenergetskim postrojenjima najviših napona, u kojima su oni danas najčešća vrsta prekidača. To, kao i kratki pregled razvoja pneumatskih prekidača, pokazuje da suštinski zahtjevi njihove izvedbe ne leže toliko u općepoznatim tehničkim mogućnostima već u razvoju tehnički pogodnih konstrukcija čiji su ukupni troškovi za korisnika jednaki ili manji od onih pri upotrebi bilo kojega drugog medija. Stoga parametri tehničke izvedbe ne bi trebali biti razmatrani u uvjetima specifičnih električnih i mehaničkih karakteristika ili sposobnosti komprimiranog zraka kao medija za gašenje luka i izoliranje, već u uvjetima njihova općeg značenja u ukupnom razvoju, proizvodnji, montaži i tekućim troškovima eksploatacije prekidača i ostalih komponenata postrojenja.

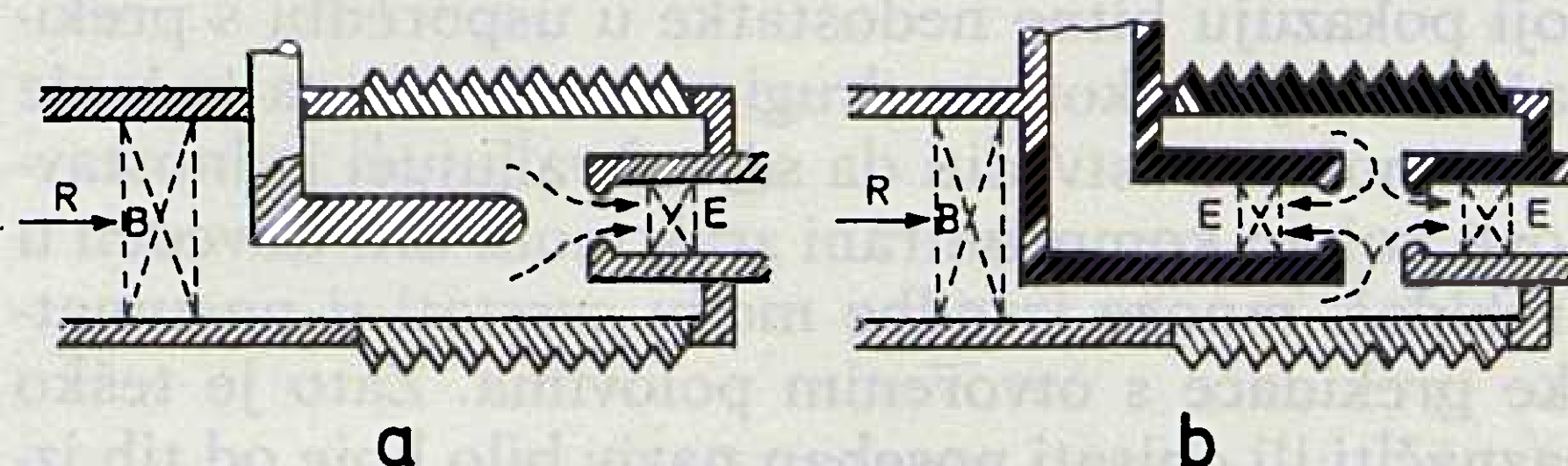
## 2. OSNOVNE TEHNIČKE KARAKTERISTIKE SUVREMENIH PNEUMATSKIH PREKIDAČA

### 2.1. Tipovi prekidnih sistema

Pneumatski su prekidači realizacija mehaničkoga sklopnog aparata u kojega se gašenje električnog luka i izoliranje postiže komprimiranim zrakom, čije se osobine što direktno utječu na izvedbu mogu najbolje ispitati u vezi s dvije funkcije koje se moraju obuhvatiti izvedbom pneumatskog prekidača — električnom i mehaničkom [1].

Postoje samo dva temeljna načina na koje struja komprimiranog zraka djeluje na električni luk: poprečno (transverzalno) ili uzdužno (aksijalno). Iako se poprečno strujanje navodi kao verzija izvedbe prekidnog sistema, njegova nemogućnost da izazove potrebni tlak i brzinu u zoni električnog luka čini ga nepogodnim za primjene pri visokim naponima i velikim snagama. Prema tome, svi moderni pneumatski prekidači koriste se principom uzdužnog strujanja prisiljavajući luk da gori u osi sapnice.

Danas se primjenjuju dva osnovna sistema uzdužnog strujanja: jednomlazni (jednostruko strujanje po prekidaču) i dvomlazni (dvostruko strujanje po prekidaču), pri kojemu se zrak dijeli u prilazu dvjema sapnicama jednake veličine i, struajući u suprotnim smjerovima, podvrgava luk djelovanju dvaju zapuha



Slika 1. Kontrola komprimiranog zraka u pneumatskim prekidačima: a) jednomlazni sistem, b) dvomlazni (djelomično dvomlazni) sistem; R — dobava komprimiranog zraka, E — ispušni ventil, B — tlačni ventil

\* Pneumatski prekidač (engl. *air-blast circuit-breaker*; njem. *Druckluft* (-leistungs-) *schalter*; franc. *disjoncteur à air comprimé*; rus. *viključatelj s vozdušnim dutijem*): prekidač s komprimiranim plinom kod koga je plin zrak. (JUS N. AO. 441, termin 2, točka 4.32.)

po prekidaču. Varijanta drugog sistema, u kojoj je jedno područje strujanja načinjeno manjim, također je često i obično se naziva »djelomično dvomlaznim sistemom«.

Mjesto postavljanja i broj tlačnih/ispušnih ventila određuju hoće li prekidač biti pod tlakom (a) samo u toku prekidanja, (b) u toku prekidanja i u otvorenom položaju ili (c) konstantno.

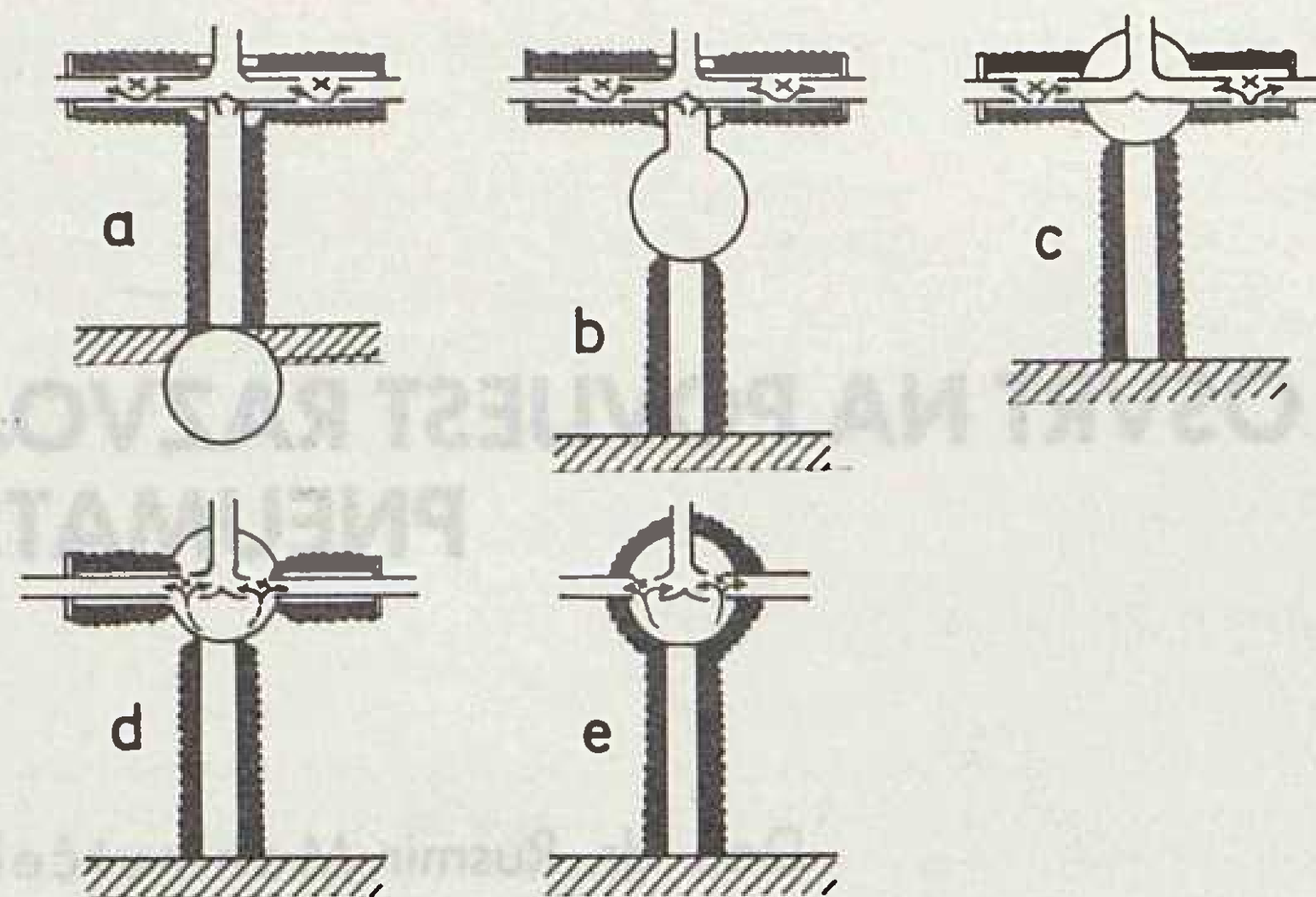
Treba napomenuti da se u opisima i klasifikacijama pneumatskih prekidača ponekad upotrebljavaju i termini aksijalno i radijalno strujanje. Termin radijalno strujanje odnosi se na konstrukcije u kojima najveći dio medija teži centripetalnom prilazu sapnica, npr. između elektroda u dvomlaznom sistemu, slika 1. (b), ili kod elektroda jednomlaznom sistemu smještenih u centru zračnog spremnika. Termin radijalno strujanje ne osporava princip uzdužnoga (aksijalnog) strujanja.

## 2.2. Izvedbe pneumatskih prekidača

Vjerojatno je najveća promjena bila napuštanje visokonaponskih izvedbi u kojima je prije početka operacija otvaranja tlak zraka u prekidnim komorama bio jednak atmosferskome. Komprimirani je zrak stizao u kontaktni sistem samo u toku operacije otvaranja, a nakon završetka prekidanja opet je vladao atmosferski tlak. U mnogim je izvedbama operacija kretanja kontakata iz zatvorenog u otvoreni položaj ovisila o djelovanju tlačnog ventila smještenog na zračnom spremniku u osnovi prekidača. Poslije prekidanja tlačni bi se ventil zatvarao i zrak bi se u prekidnim komorama i dovodu vraćao na atmosferski tlak, zbog čega bi se kontakti ponovno zatvorili. Zato je postalo potrebno ugraditi rastavni nož koji je morao biti podešen tako da se otvori prije nego što se kontakti prekidača ponovno zatvore. Na višim naponima takvi su rastavni noževi stvarali mnogo problema, a na najvišim su naponima praktički bili neizvodivi, uzrok čega je relativno mala probojna čvrstoća zraka.

Suvremeno izvedeni pneumatski prekidači isključivo se koriste sistemom pod stalnim pritiskom jer se tako izbjegavaju teškoće u vezi s kašnjenjem, gubicima tlaka i potrebama za vanjskim rastavnim izolatorima [2].

Ograničimo li razmatranja osnovnih tehničkih karakteristika suvremenih pneumatskih prekidača na izvedbe s otvorenim polovima kao relevantnije u odnosu prema metalom oklopljeno izvedenih prekidača koji pokazuju bitne nedostatke u usporedbi s prekidačima koji se koriste drugim medijama za gašanje luka, može se ustvrditi da se, zahvaljujući jednostavnosti kojom komprimirani zrak može biti doveden u prekidač, mnoge izvedbe mogu svrstati u pneumatske prekidače s otvorenim polovima. Zato je teško naznačiti ili opisati poseban naziv bilo koje od tih izvedbi, osim na način pokazan na slici 2, na kojoj su, zbog jednostavnosti, prekidači prikazani u paru, bez ventila, izolatora i ostalih radnih dijelova koji postoje u praksi [1].



Slika 2. Moguće izvedbe prekidača s otvorenim polovima – raspored spremnika i prekidnih komora: (a) metalni spremnik na potencijalu zemlje, (2) metalni spremnik blizu prekidnih komora, (c) metalni spremnik s djelomično ugrađenim prekidnim komorama, (d) metalni spremnik s potpuno ugrađenim prekidnim komorama, (e) izolacijski spremnik s potpuno ugrađenim prekidnim komorama

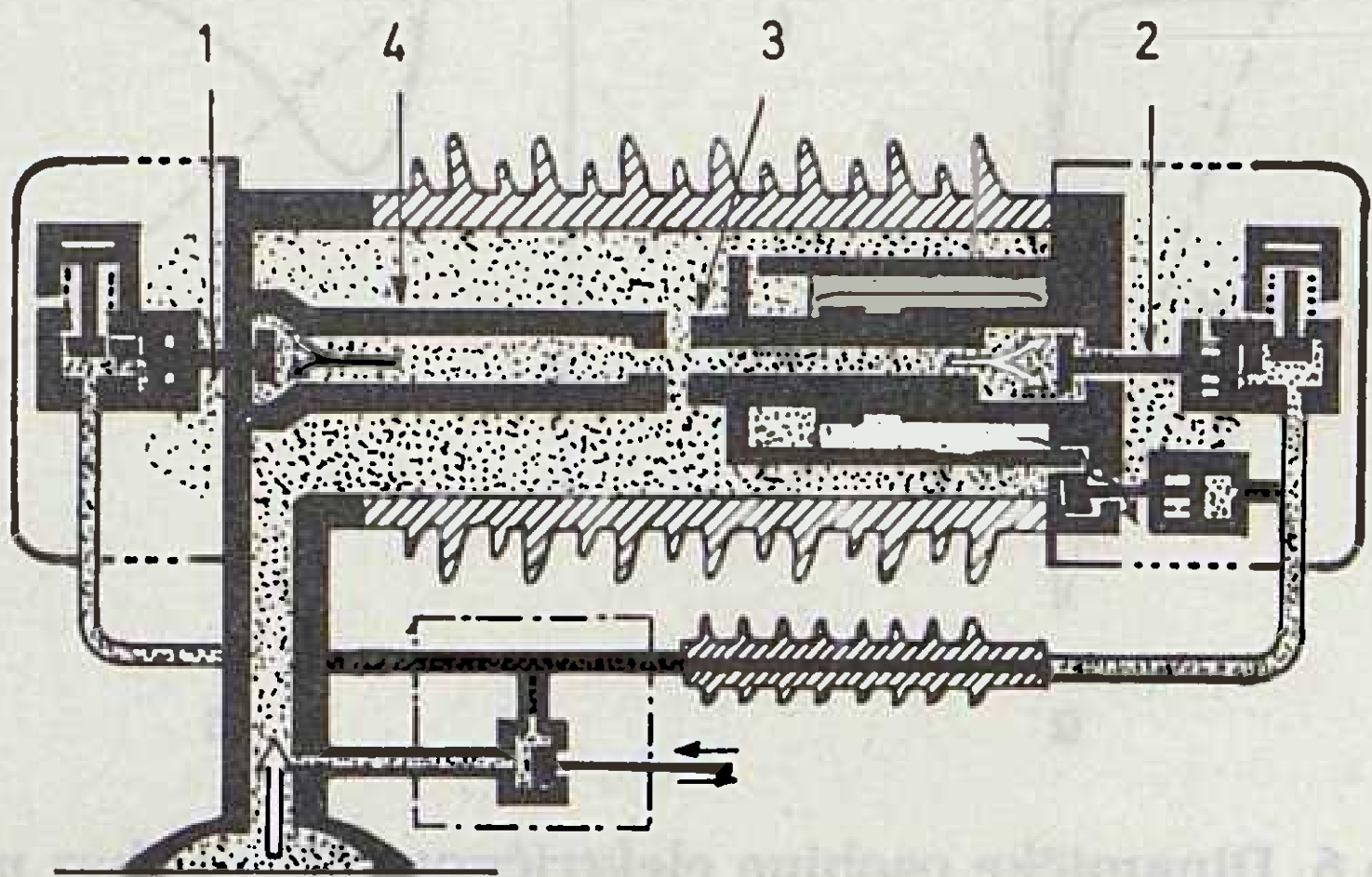
Treba imati na umu da se može koristiti samo jednom prekidnom komorom umjesto dvjema i da prikazane izvedbe mogu imati jednomlazni ili dvomlazni sistem. Za suvremenu su primjenu usvojene simetrične izvedbe da bi se osigurala jednolikost dopreme zraka za svako prekidanje, i u smislu pritiska, i u smislu vremena. Te izvedbe imaju različite oblike, temeljene na upotrebi jednakog broja prekidnih komora (dvije, četiri, šest itd.). Najčešće upotrebljavani oblik bazira se na dvije prekidne komore postavljene na jednostrukome potpornom izolatoru u obliku slova T. Alternativna izvedba ima četiri prekidne komore povezane u dva bloka, a svaki se nalazi na jednoj strani potpornog izolatora u obliku slova Y. Općenito su prihvaćeni ovi principi gradnje prekidača: svaka faza sadrži jedan ili više stupova, ovisno o zahtjevima naponskog nivoa; višestruko prekidanje izvedeno je serijski; svi stupovi koji čine jednu fazu prekidača smješteni su na zajedničku osnovu koja može biti lokalni zračni spremnik [2].

Uspoređujući karakteristike izvedbi prekidača s otvorenim polovima, možemo ustvrditi da u izvedbi s metalnim spremnikom na potencijalu zemlje, slika 2. (a), fizička razdvojenost prekidnih komora i zračnog spremnika umanjuje prikladnost te izvedbe za primjenu na visokim naponima zbog vremenskih kašnjenja i pojava padanja tlaka.

U izvedbi s metalnim spremnikom blizu prekidnih komora, slika 2. (b), zbog višeg položaja zračnog spremnika, u prekidnim se komorama postižu bolji uvjeti opstrujavanja, ali su im nedostatak povećane dimenzije i težina prekidača. Slika 3. pokazuje princip djelovanja jedna prekidne komore tog tipa.

Komprimirani zrak za rad tog prekidača smješten je u jediničnim zračnim spremnicima koji se nalaze blizu prekidnih komora, pa u komorama do ispušnih ventila (1) i (2) vlada odgovarajući tlak. U ovim je prekidnim komorama s konstantnim tlakom kontaktni sistem dvomlazan, a otvaranje glavnoga pomičnog kontakta (3) kontrolirano je vanjskim ispušnim ventilom (2). Drugi kontakt (4) može biti nepomičan ili,

uz dodatak odgovarajućih kontrolnih dijelova, načinjen tako da se nakon prekidanja pokrene kako bi se povećao međukontakti razmak u izvedbama koje zahtijevaju više izolacijske nivoe po prekidnoj jedinici. Svakako moramo spomenuti da je princip izrade pneumatskih prekidača sa zračnim spremnikom blizu prekidnih komora, kao svojedobno najviši doseg visokonaponskoga sklopnog uređaja, usvojio i domaći proizvođač »Rade Končar«. Rezultat toga bio je prestanak proizvodnje pneumatskog prekidača 2Pv koji je »Rade Končar« počeo proizvoditi 1953 [3], te početak proizvodnje prekidača 3P, čija je isporuka i ugradnja započela 1963. godine [4]. Većinu podataka o potrebi »smjene generacija« pneumatskih prekidača u proizvodnom programu »Rade Končar« čitalac može naći u radu V. Narančića [3].

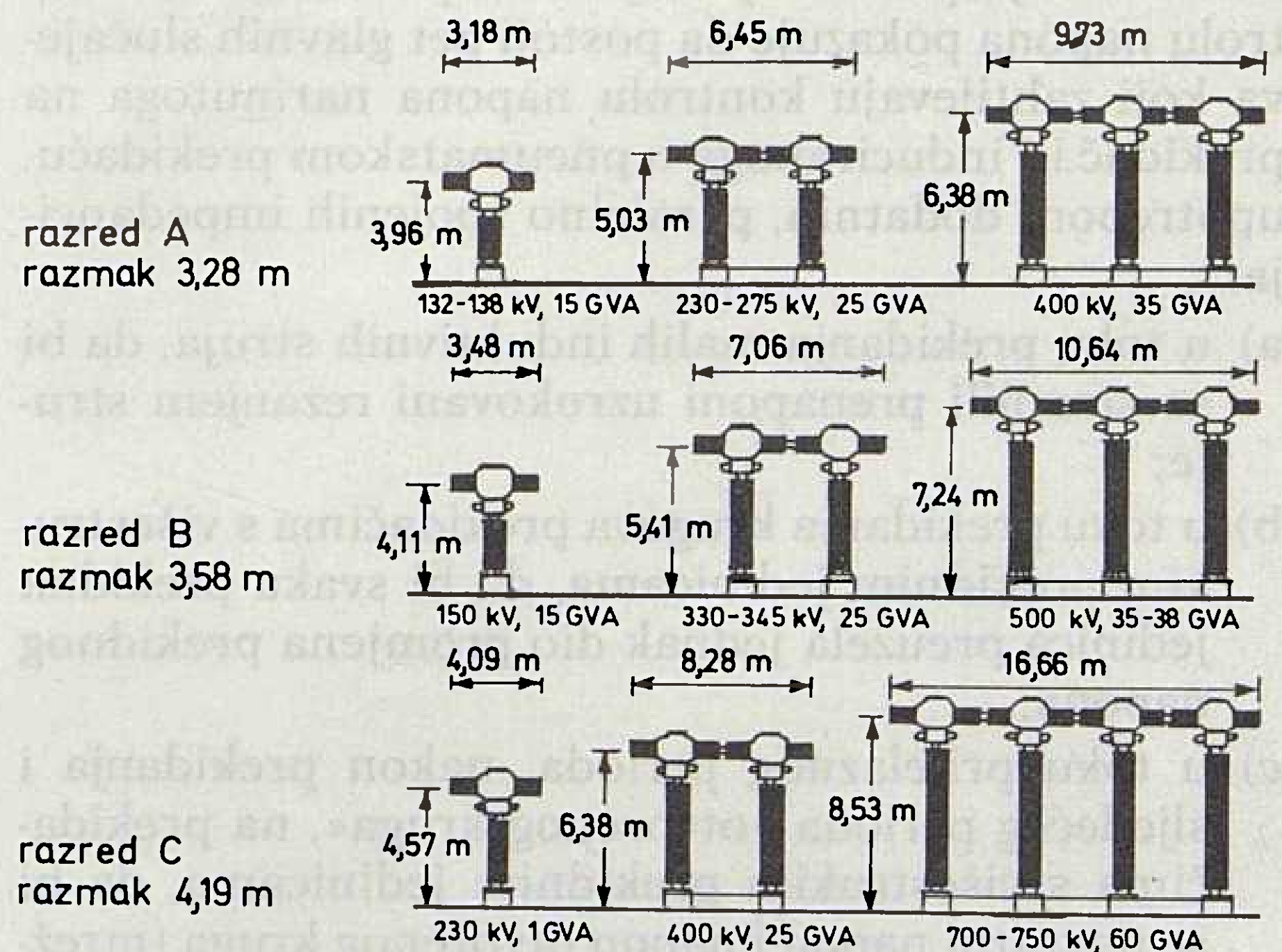


Slika 3. Prekidna komora PP-tipa pneumatskog prekidača (Merlin Gerin Co., France)

U izvedbama metalnim spremnikom u koji su djelomično ugrađene prekidne komore, slika 2. (c) zračni je spremnik pomaknut još dalje prema prekidnim komorama i obuhvaća neke njihove radne dijelove. Nedostaci takve izvedbe uočavaju se pri intermitirnom pritisku, ali su prednost tih prekidača gotovo idealni uvjeti tlaka i strujanja.

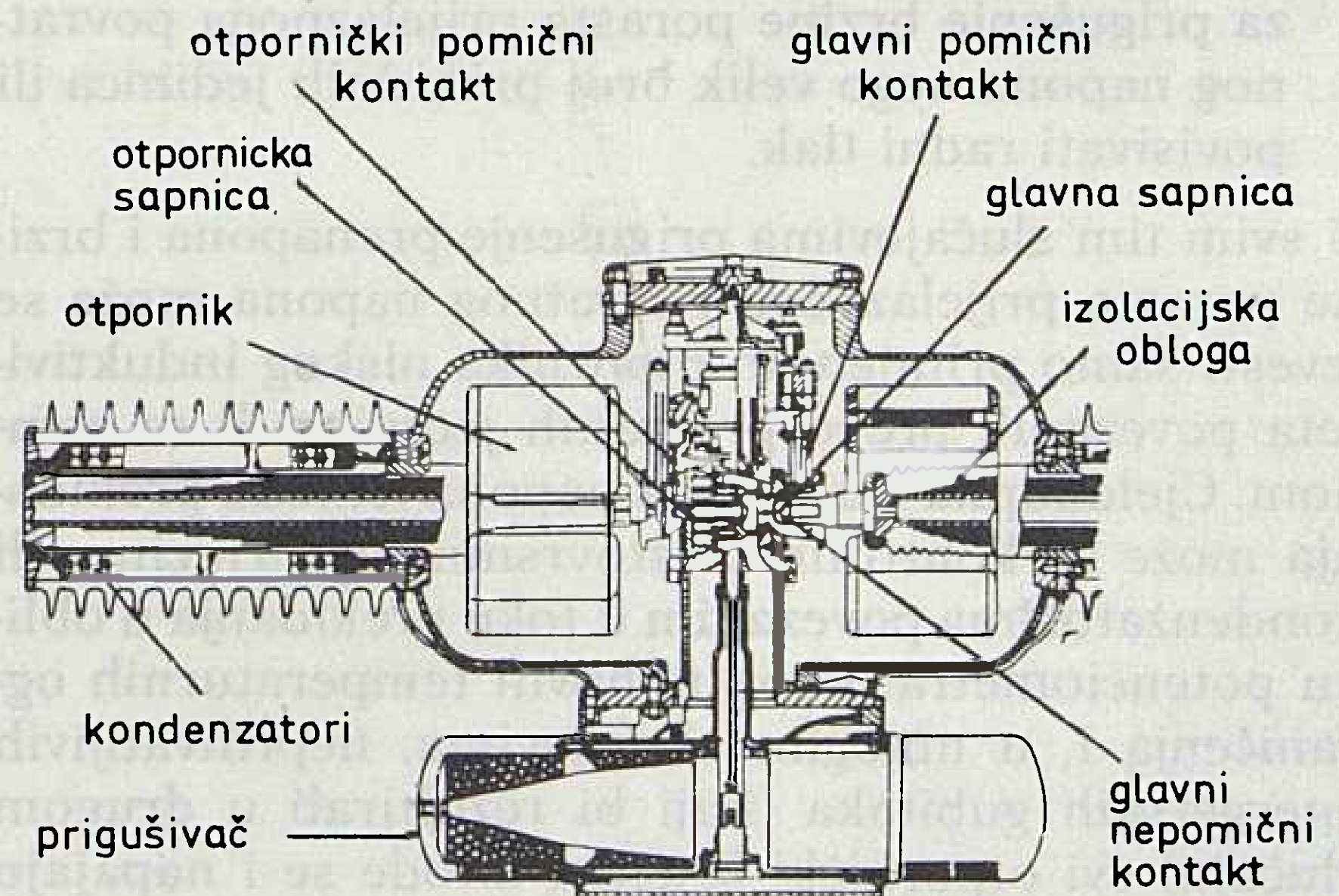
Prekidači s metalnim spremnikom u koji su potpuno ugrađene prekidne komore, slika 2. (d), općenito su slični spomenutoj izvedbi, ali su vanjski provodni izolatori zamijenjeni izolacijskim oblogama, a spremnik zatvara najveći dio radnih dijelova prekidne jedinice. Uvjeti tlaka i strujanja najpovoljniji su od svih koji se mogu postići u praktičnim izvedbama prekidača s otvorenim polovima. Osobito dobra strana takve izvedbe jest ekonomski vrlo prihvatljiv jedinično konstruiran element (modul) koji dopušta mogućnost primjene jednoga osnovnog tipa prekidne jedinice preko širokog opsega radnih napona održavanjem nivoa napona »po jedinici« približno konstantnim. Jednako je prihvatljiva i činjenica da se takvom konstrukcijom sposobnom za priključivanje i mijenjanje vrijednosti otpornika za kontrolu prenapona i brzine porasta prijelaznoga povratnog napona da bi se povisio nivo kratkospojne podnosive struje prekidača ili smanjili prenaponi pri zatvaranju ili otvaranju. U tom je smislu važno spomenuti niz visokoučinskih prekidača Reyrolle. Prekidne jedinice u tom nizu služe kao lokalni zračni spremnici, prekidni su otpornici zatvoreni u prekidnoj glavi, čime se olakšava održavanje; prigušivači su ugrađeni kao integralni elementi. Niz koji pokriva napone od 132 do 750 kV i

struje normalnog pogona do 4 000 A, osniva se na tri razreda prekidača, mehanički istovrsnih, ali s različitim nivoima struje normalnog pogona i napona, što je postignuto upotrebom različitih izolacijskih obloga. Moguće su izvedbe pokazane na slici 4, na kojoj se vidi da svaka faza sadrži određen broj dvostrukih prekidnih jedinica postavljenih na potporne izolatore u T – formaciji.



Slika 4. Niz visokoučinskih modularnih prekidača Reyrolle

Poprečni presjek prekidne jedinice Reyrolle niza, koja se u klasifikacijama tipova pneumatskih prekidača sreće kao OHBR-tip pneumatskog prekidača, pokazan je na slici 5.



Slika 5. Visokoučinski prekidni modul pneumatskih prekidača Reyrolle (tip OHBR)

Osvrt na ispunjenje izolacijskih zahtjeva u pneumatskom prekidaču pokazuje da je, zbog povećane naponske čvrstoće između elektroda u prekidnoj komori, obično moguće postići rastavni razmak za izoliranje držeći elektrode pod tlakom zraka u njihovu normalnom položaju za gašanje luka. Takva građa dopušta uključivanje izolacijskih i prekidnih funkcija u izvedbu prekidne komore, naravno, uz uvjet da se tlak između elektroda održava posredovanjem odgovarajućega ispušnog ventila. Dodavanje lučnih međudijelova i odvojene površine kontakata za prenošenje normalne struje dopuštaju zatvaranje kruga bez neželjenoga preranog stvaranja luka ili erozije, ako je brzina zatvaranja dovoljno velika.



### 2.3. Impedancije za kontrolu napona na pneumatskim prekidačima

Specifičnosti gorenja i gašenja luka u komprimiranom zraku obavezno zahtijevaju primjenu impedancija paralelno vezanih prekidnim komorama, po čemu su pneumatski prekidači karakteristični.

Razmatranje potrebe primjene impedancija za kontrolu napona pokazuje da postoji pet glavnih slučajeva koji zahtijevaju kontrolu napona narinutoga na prekidač ili inducirano u pneumatskom prekidaču, upotrebom dodatnih, paralelno spojenih impedancija:

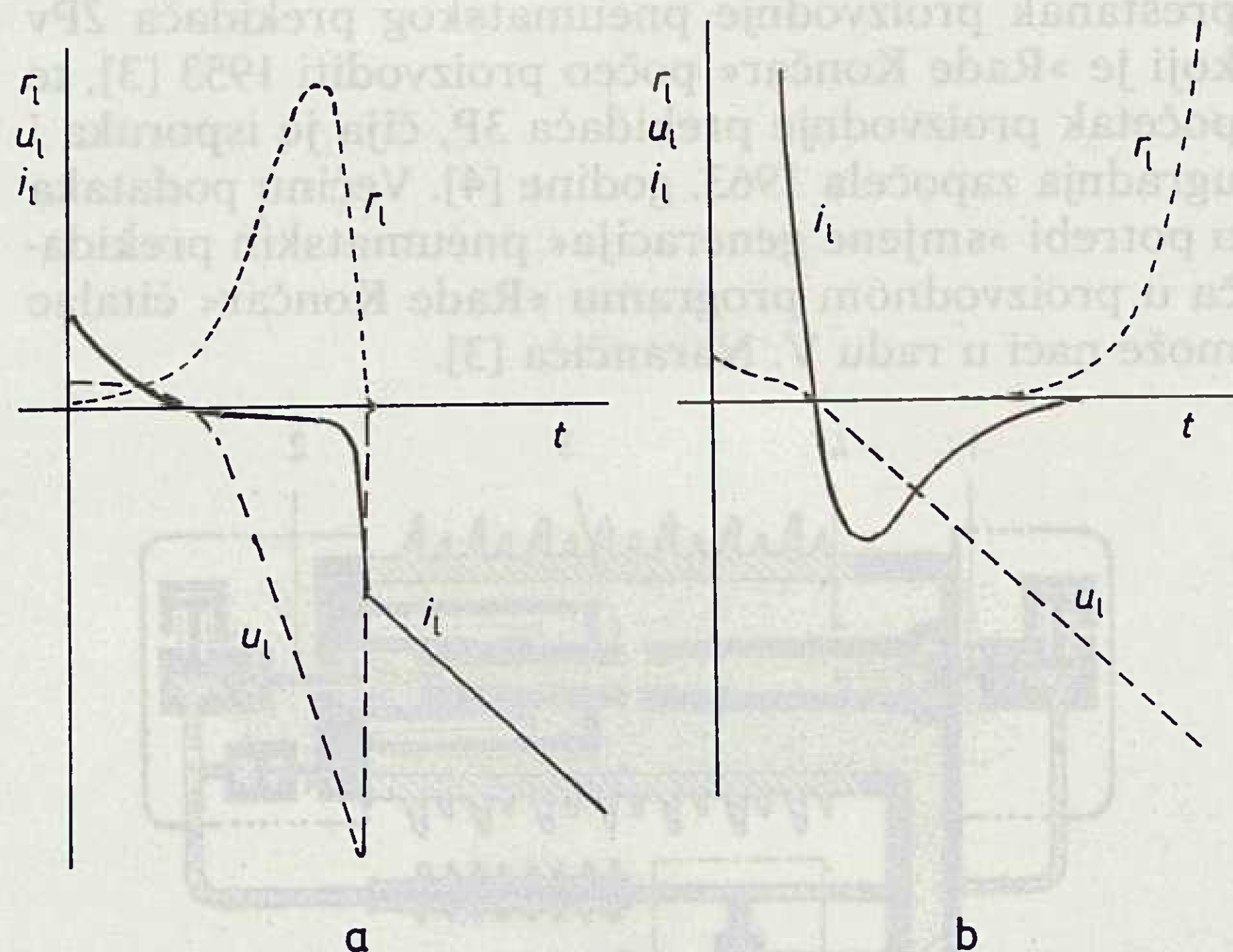
- u toku prekidanja malih induktivnih struja, da bi se smanjili prenaponi uzrokovani rezanjem struje;
- u toku prekidanja krugova prekidačima s višestrukim prekidnim jedinicama, da bi svaka prekidna jedinica preuzela jednak dio promjena prekidnog napona,
- u toku prijelaznog perioda, nakon prekidanja i sljedećeg perioda »otvorenog kruga«, na prekidačima s višestrukim prekidnim jedinicama, da bi se povratni napon i napon otvorenog kruga (mrežna frekvencija) na svakome rastavnom elementu ravnomjerno rasporedili,
- u toku zatvaranja u vezi s prijenosnim linijama otvorenog kruga, da bi se smanjili prenaponi pri zatvaranju,
- svuda gdje je ekonomičnije upotrijebiti otpornike za prigušenje brzine porasta prijelaznoga povratnog napona nego velik broj prekidnih jedinica ili povisivati radni tlak.

U svim tim slučajevima prigušenje prenapona i brzine porasta prijelaznoga povratnog napona može se izvesti samo primjenom otpornika niskog induktiviteta povezanih preko prekidnih jedinica ili sa zemljom. Cjelokupna raspodjela napona između prekidanja može se kontrolirati istovrsnim otpornicima ili kondenzatorima povezanim u toku prekidanja u obliku potenciometra. Zbog njihovih temperaturnih ograničenja i, u mnogim slučajevima, neprihvatljivih energetske gubitaka (koji bi rezultirali u drugom slučaju) svi otpornički krugovi izvode se i napajaju samo intermitirano. Zato neka sredstva za njihovo uklapanje i isklapanje iz kruga moraju biti izvedena u obliku otporničkih strujnih prekidača ili na odgovarajući način prerađenih izolatora.

Postoje mnoge formule, jednadžbe i računarski programi za izračunavanje učinka tih otpornika ili kondenzatora na strujni krug ili na prekidač u idealnim uvjetima, kojima se pretpostavljaju konstantni induktiviteti, kapaciteti i radni otpori; prekidač se ponaša kao idealna sklopka, a sami su krugovi vrlo pojednostavljeni. Stoga se samo mali broj takvih proračuna može direktno primijeniti na izvedbu bez ustupaka za određene nelinearnosti nekih »konstanti« kruga, obostrana međudjelovanja kruga i prekidača i, ako su poznati, za određene utjecaje bilo kakvih sekundarnih krugova izostavljenih iz jednadžbi. Stoga je prihvaćena praksa po kojoj rezultati takvih, idea-

liziranih proračuna služe kao osnova, češće nego praktična ispitivanja ponašanja prekidača [1].

Usporedba dinamičkih karakteristika električnog luka, slika 6, dobivenih na osnovi računarskog programa za studij interakcije dinamičkog luka i mreže [5] za slučajeve bez primjene paralelnog otpora (a) i uz primjenu takvog otpora (b) vezanog za prekidnu komoru, očito potvrđuje posljednju varijantu.



Slika 6. Dinamičke osobine električnog luka: a) bez primjene paralelnog otpora, b) uz primjenu paralelnog otpora;  $r_l$  — otpor luka,  $i_l$  — struja luka,  $u_l$  — napon luka

Razmatranje karakteristike sa slike 6. a) pokazuje da je u prekidnoj komori bez paralelnog otpora nastalo ponovno paljenje luka, a karakteristika sa slike 6. b) pokazuje da se u komori premoštenoj paralelnim otporom definitivno ugasio luk. Dodavanjem otpornika ujedno se smanjila brzina rasta prijelaznoga povratnog napona.

Kako je poznato, u visokonaponskim je prekidačima otpor električnog luka zanemarivo malen ako se prekidaju struje normalnog opterećenja ili velike struje kratkog spoja. Pri prekidanju malih induktivnih struja otpor električnog luka je veći radi padanja karakteristike luka te može biti važan pri odluci je li prekidanje uspješno ili nije. Odmah poslije prekidanja struje preko kontakata se uspostavlja prijelazni povratni napon koji može uzrokovati ponovno paljenje električnog luka ako on premašuje dielektričku čvrstoću koja se ponovno uspostavlja pošto se raspoređuje među kontaktima deionizira.

Valja napomenuti da do danas ne postoji model električnog luka ugrađen u BPA EMTP [6]. Statički modeli luka nisu sasvim zadovoljavajući te se umjesto njih moraju koristiti diferencijalne jednadžbe koje opisuju električni luk. Većina se stručnjaka koji rade na zadacima prekidanja struje koristi modificiranom jednadžbom koju je prvi predložio Mayr, a koja ima sljedeći oblik:

$$\frac{dg}{dt} = \frac{1}{\tau(g)} \left( \frac{i^2}{P(g)} - 1 \right),$$

gdje su:

- $g$  — vodljivost električnog luka,  
 $i$  — struja luka,  
 $\tau(g)$  — vremenska konstanta ovisnosti vodljivosti,  
 $P(g)$  — rasipanje topline ovisno o vodljivosti.

Parametri  $\tau(g)$  i  $P(g)$  ovise o karakteristikama određenog prekidača.

Ako se u luku prije prekidanja razviju visokofrekventne oscilacije, a to se događa pri prekidanju malih induktivnih struja ili u drugim situacijama s rezanjem struje, ponovno se paljenje može pojaviti u 1/4 ciklusa poslije prekidanja struje. Za određivanje toga hoće li nastati ponovno paljenje, ne može se koristiti navedena jednadžba. Umjesto toga, prijelazni se povratni napon uspoređuje s dielektričkom čvrstoćom koja raste kao funkcija vremena; ako taj napon postane viši od nje, pojavi se ponovno paljenje. Za sam proboj može poslužiti Toeplerova jednadžba [7]:

$$g = \frac{1}{ks} \int_0^t i(u) du,$$

gdje su:

- $k$  — konstanta,  
 $s$  — razmak među kontaktima,  
 $i$  — struja u razmaku među kontaktima (koja počinje od krajnje male vrijednosti)

Ovih nekoliko napomena o lučnim pojavama u prekidačima strujnih krugova dali smo da bismo upozorili na činjenicu da je proces konstrukcije zadovoljavajućeg modela luka koji bi se koristio u simuliranju prijelaznih elektromagnetskih pojava u elektroenergetskom sistemu još uvijek u toku. To najjasnije pokazuje uzajamnost promjena u znanju o luku s promjenama u konstrukciji prekidača. Uglavnom se oslanjamo na empiričko znanje, iskustvo i ispitivanja, na osnovi čega dolazimo do konačne konstrukcije. Prema tome, jasno je zašto nije moguće dati konačne brojne podatke o fizikalnoj slici prekidanja luka. Stoga je razumljivo zašto je Radna grupa CIGRÉ 13.01 poduzela opsežno istraživanje o korisnosti različitih jednadžbi električnog luka s obzirom na mogućnost njihove praktične primjene.

Medij u kojemu se zbiva gorenje i gašenje luka u opisivanim pneumatskim prekidačima jest zrak. Kompozitna svojstva zraka u odnosu prema ostalim medijima koji se koriste u raznim vrstama prekidača određuju fizikalne karakteristike električnog luka a one utječu na mehanizam gašenja odnosno mehanizam prekidanja struje, što je pak povezano s pratećim pojavama rezanja struje i nastajanja prenapona pri radu prekidača.

U dosadašnjim izvedbama pneumatskih prekidača te su prateće pojave uglavnom riješene primjenom odgovarajućih konstrukcijskih rješenja, pa im se one ne bi mogle smatrati slabom stranom u odnosu prema drugim tipovima prekidača.

Čitalac kojega zanima više pojedinosti o fizici električnog luka u strujnim prekidačima većinu važnijih obavijesti može naći u sintetičkom radu M.P. Reece [8].

### 3. USPOREDBA SVOJSTAVA PNEUMATSKIH PREKIDAČA U ODNOSU PREMA DRUGIM TIPOVIMA PREKIDAČA

Ravnoteža prednosti i nedostataka komprimiranog zraka kao medija za gašenje električnog luka i izoliranje pokazuje da pneumatski prekidači, principijelno, trebaju djelovati u području visokih napona, gdje su potrebne velike brzine djelovanja i strogo utvrđene prenaponske granice te, također, u području nižih napona, pri vrlo visokim vrijednostima normalnih struja i struja kratkog spoja. Takva široka primjenjivost, uz velik opseg radnih napona, donedavno je osiguravala dominantan položaj tog tipa prekidača u odnosu prema drugim tipovima prekidača.

Ipak, prilikom razmatranja svojstava pneumatskog prekidača treba imati na umu da uljni i malouljni prekidači te prekidači bez posebnog medija za gašenje luka, npr. vakuumski prekidači, ne zahtijevaju vanjsku pomoć za prekidanje struje, a za pneumatske je prekidače potrebno stalno imati zalihu čistoga, suhog zraka određenog tlaka i određenog volumena. Stoga je potrebno imati uređaj za komprimiranje zraka, često s dvostrukim kompresorima radi sigurnosti, zračne spremnike, mrežu cjevovoda, ventila i sigurnosnih uređaja. Za ilustraciju se može navesti da u području između 33 i 66 kV u Velikoj Britaniji prednost imaju nove izvedbe malouljnih prekidača, koji, ako su srednjih snaga, koštaju znatno manje [2]. Osim toga, evropske su zemlje na ovom području zadržale pneumatske izvedbe i razvile ih za potrebe prekidanja vrlo velikih struja. Za napone od 100 i više kV te, posebno, za visoke snage kratkog spoja, pneumatski prekidač ima dominantan položaj koji će zadržati još određeno vrijeme, do šire primjene prekidača SF<sub>6</sub>. Prekidač SF<sub>6</sub>, između ostalih, ima i prednost da je pogodan za izvođenje u obliku visokonaponskih kompaktnih, metalom oklopljenih prekidnih jedinica koje sasvim uspješno rješavaju problem unutrašnjeg smještaja visokonaponske prekidne opreme kada okolni uvjeti onemogućuju upotrebu otvorenih prekidača za vanjsku montažu.

Treba napomenuti da pneumatski prekidači imaju jaku sklonost višestrukom rezanju struje i stoga izazivaju velike prenapone, zbog čega je nužna upotreba otpornika za kontrolu prenapona. U ostalim tipovima prekidača ta pojava ne izaziva veće teškoće. Rezanje struje pratilo je i prve generacije vakuumskih prekidača, ali je odgovarajućim izborom legura za kontakte vrlo uspješno otklonjeno [9].

### 4. PERSPEKTIVE PRIMJENE PNEUMATSKIH SKLOPNIH APARATA

#### 4.1. Uzroci postupnog povlačenja pneumatskih prekidača iz upotrebe

Stalni rast znanja o aktualnim zahtjevima elektroenergetskih sistema i, povremeno, brz napredak u tehnikama prekidanja drugim medijima stvarao je okolnosti koje su pokazale da jedan ili više drukčijih tipo-

va prekidača ( $\text{SF}_6$ , vakuumski) mogu jednako ili čak bolje udovoljiti traženim zahtjevima rasklopnih postrojenja. Ranih 1970-tih godina pojavila su se dva bitna faktora u razvoju prekidača za elektroenergetska postrojenja. Prvi je bila pojava potisnog tipa  $\text{SF}_6$  prekidača, kojim su prevladane zamršenosti relativno slabe karakteristike brzine rasta prijelaznog povratnog napona ranijih dvotlačnih tipova. Time je  $\text{SF}_6$  postao ravnopravan s pneumatskim prekidačem u primjeni na svim naponskim nivoima. Drugi je faktor bila izrazito povećana potreba za visokonaponskim, metalom oklopljenim postrojenjima. Javila se zbog uvjeta okoline i trenda lakšeg održavanja instalacija. Takve su potrebe zahtijevale izvedbu prekidača potpuno ukomponiranu u metalno kućište, što je postalo ostvarivo primjenom postrojenja sa  $\text{SF}_6$  plinom kao izolacijskim sredstvom.

Prema tome, prvi je navedeni faktor izazvao pojavu dostojnog protivnika pneumatskog prekidača u njegovoj principijelnoj izvedbi s otvorenim polovima, a drugi je faktor nametnuo nekoliko ograničenja veličine i oblika metalom oklopljenih izvedbi pneumatskih prekidača, kojima se bolje mogu prilagoditi metalom oklopljena postrojenja sa  $\text{SF}_6$  plinom. U skladu s tim, kombinacija tih dvaju faktora uvjetovala je povlačenje pneumatskih prekidača s vodećih pozicija, ali se, prvi put za njihova postojanja, čini da njihov oporavak nije vjerojatan kao u dosadašnjim razdobljima.

#### 4.2. Primjena pneumatskih prekidača kao generatorskih prekidača

Usprkos povlačenju pneumatskih prekidača iz rasklopnih postrojenja, oni se u kategoriji generatorskih prekidača mogu održati i u konkurenciji sa  $\text{SF}_6$  prekidačima jer ispunjavaju posebne zahtjeve za prekidanje struja kratkog spoja pri kratkim spojevima blizu generatora.

Naime, pri pojavi tropskog kratkog spoja blizu generatora, u određenim uvjetima opterećenja generatora prije nastanka kratkog spoja, mogu se javiti trofazne asimetrične struje kratkog spoja, koje u toku nekoliko perioda neće prolaziti kroz nulu, čime je prekidač izložen naprezanju koje može ugroziti njegovu djelotvornost.

Postupci za smanjenje naprezanja prekidača u takvim slučajevima (kašnjenje otvaranja ili uključivanje uređaja za dopunsko prigušivanje posredovanjem pomoćnog prekidača) ne mogu se smatrati prihvatljivim za prekidače najviših napona zbog zahtijevanih kratkih vremena isklapanja (stabilnost sistema, selektivnost, ograničenja termičkih i električnih efekata kratkog spoja, mehanička naprezanja turbine i generatora), ili zbog ekonomske računice pri razmatranju primjene dopunskog prigušenja [10].

Prema tome, rješenje tog problema valja tražiti u primjeni prekidača koji svojim prekidnim sistemom i upotrijebljenim medijem može prekinuti asimetrične struje kratkog spoja bez prolaska tih struja kroz nulu. Deionizacijsko djelovanje medija za gašenje lu-

ka u svih tipova prekidača traje ograničeno kratko vrijeme i ako se luk ne ugasi u vremenu trajanja deionizacijskog djelovanja, postoji opasnost od eksplozije prekidača [10].

Pneumatski prekidači s dvomlaznim prekidnim sistemom, prikazanim na slici 1. (b), mogu udovoljiti zahtjevima za prekidanjem asimetričnih struja kratkog spoja bez prolaska tih struja kroz nulu jer se u njima pri razdvajanju kontakata, rasteže luk i intenzivno pritječe svježi zrak. Time se ostvaruje veliki pad napona udzduž luka, odnosno porast otpora luka. To praktički znači da se nakon razdvajanja kontakata priključuje novi serijski otpor, ovisan o konstrukciji prekidnog sistema i karakteristikama primijenjenog medija, o kojem pak donekle ovisi trajanje luka i uspješnost prekidanja. Za ilustraciju prihvatljivih osobina pneumatskog prekidača u raspravljanoj primjeni ponovno može poslužiti slika 6. b), koja pokazuje ovisnost između otpora luka  $r_1$ , napona luka  $u_1$  i struje luka  $i_1$  dobivenu na osnovi matematičkog modela [5] s ulaznim podacima za pneumatske prekidače proizvođača »Rade Končara«.

Povećanje otpora u strujnom krugu zbog otpora luka uvjetuje brz prolaz asimetrične struje kroz nulu, a time i brz prekid luka u promatranoj fazi [10].

Ovaj kratki osvrt na ponašanje pneumatskog prekidača u prekidanju asimetričnih struja kratkog spoja bez prolaska tih struja kroz nulu govori u prilog njihove upotrebe u kategoriji generatorskih prekidača.

#### 5. ZAKLJUČAK

Evidentno je da zbog svojih karakteristika vakuumski prekidači dominiraju područjem nižih napona. Isti položaj u području visokih i najviših napona imaju  $\text{SF}_6$ -prekidači. S obzirom na dosadašnju široku primjenu pneumatskih prekidača na svim naponskim nivoima, dug period eksploatacije i rast aktualnih zahtjeva elektroenergetskih mreža, sasvim je opravdana i poželjna zamjena pneumatskih prekidača spomenutim modernijim tipovima prekidača, to više što nisu vjerojatna nova velika otkrića u tehnici prekidanja struje komprimiranim zrakom.

Neovisno o daljnjoj sudbini pneumatskih prekidača, dobra svojstva u prekidanju asimetričnih struja kratkog spoja bez prolaska tih struja kroz nulu mogu održati njihovu proizvodnju i ugradnju u kategoriji generatorskih prekidača.

#### LITERATURA

- [1] C. H. FLURSCHEIM, »Power circuit breaker — theory and design«, Peter Peregrinus Ltd., London, 1982.
- [2] R. T. LYTHALL, »Switchgear book«, Butterworths, London 1986.
- [3] V. NARANČIĆ, »Nove tendencije u gradnji pneumatskih prekidača za najviše napone«, referat 13–7 na VII. savjetovanju JNK CIGRE, 1964.
- [4] I. NAUMOVSKI, »Osvrt na rješavanje nekih prilika koje mogu ugroziti pouzdanost prekidača visokog napo-

na«, »Rade Končar – Elektrouređaji«, dokument omeđene distribucije

- [5] B. BELIN, »Studij interakcije dinamičkog luka i mreže na digitalnom računalu«, »Elektrotehnika« br. 5, 1973, str. 245 – 261;
- [6] Electromagnetic Transients Program Rule Book, Bonneville Power Administration, Portland, Oregon, 1982.
- [7] H. W. DOMMEL, »Digital computer solution of electromagnetic transients in single and multiphase networks«, IEEE Trans. Power App.Syst., vol. PAS-88, s.368 – 399, 1969; vidi diskusiju F. Heilbronnera na navedeni članak.
- [8] M. P. REECE, »Physics of circuit-breaker arcs«, drugo poglavlje, s. 20 – 60, knjige navedene pod 1.
- [9] R. MAHMUTĆEHAJIĆ »Vakuumski prekidač«, Sveučilište u Osijeku, Studij elektrotehnike, Osijek, 1986.
- [10] I. NAUMOVSKI, »O nekim specifičnostima prekidanja struja kratkog spoja u blizini velikih sinhronih generatora«, referat 13-01 na XV. savjetovanju elektroenergetičara Jugoslavije, JUGO CIGRÉ, Beograd, 1981.

#### RÜCKBLICK AUF DIE ENTWICKLUNGSGESCHICHTE UND ANWENDUNG DER PNEUMATISCHEN HOCHSPANNUNGSSCHALTER

Im Artikel spricht man über die Entstehung und Entwicklung der pneumatischen Schalter sowie ihre technischen Charakteristiken. Er gibt einen Rückblick auf einige jugoslawische Erzeugnisse durch vergleichende Charakteristiken mit anderen Schaltertypen. Man versucht die Anwendungsperspektiven dieses Schaltertyps zu erfassen.

#### БЕГЛЫЙ ВЗГЛЯД НА ИСТОРИЮ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

В статье приводятся сведения о возникновении и развитии пневматических выключателей, их основных технических характеристиках, а также обзор некоторых отечественного изготовления со сравнительными характеристиками с другими типами выключателей. Делается попытка выявить перспективы этого типа выключателей.

#### A REVIEW OF DEVELOPMENT AND APPLICATION OF HV PNEUMATICAL BREAKERS

In the article is described a development of HV pneumatic breakers with base technical characteristics as well as review of domestic production. There are also presented prospects for application of that breaker.

Naslov pisaca:

**Doc. dr. Rusmir Mahmutćehajić,**  
**dipl. inž.**

**Studij elektrotehnike, 54000**  
**Osijek, Istarska 3, Jugoslavija**  
**Silvio Hajdin, inž.**

**Kombinat Belišće, 54551 Belišće,**  
**Titov trg 1, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1987-11-22

# TPK

INDUSTRIJA TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA,  
PROCESNE OPREME I KOTLOVA s n. sol. o. OOUR-a,  
ZAGREB



Telefon: (041) 216-666 \* Telegram: TEPEKA — Zagreb \* Telex: 21-319 YU TPK ZG

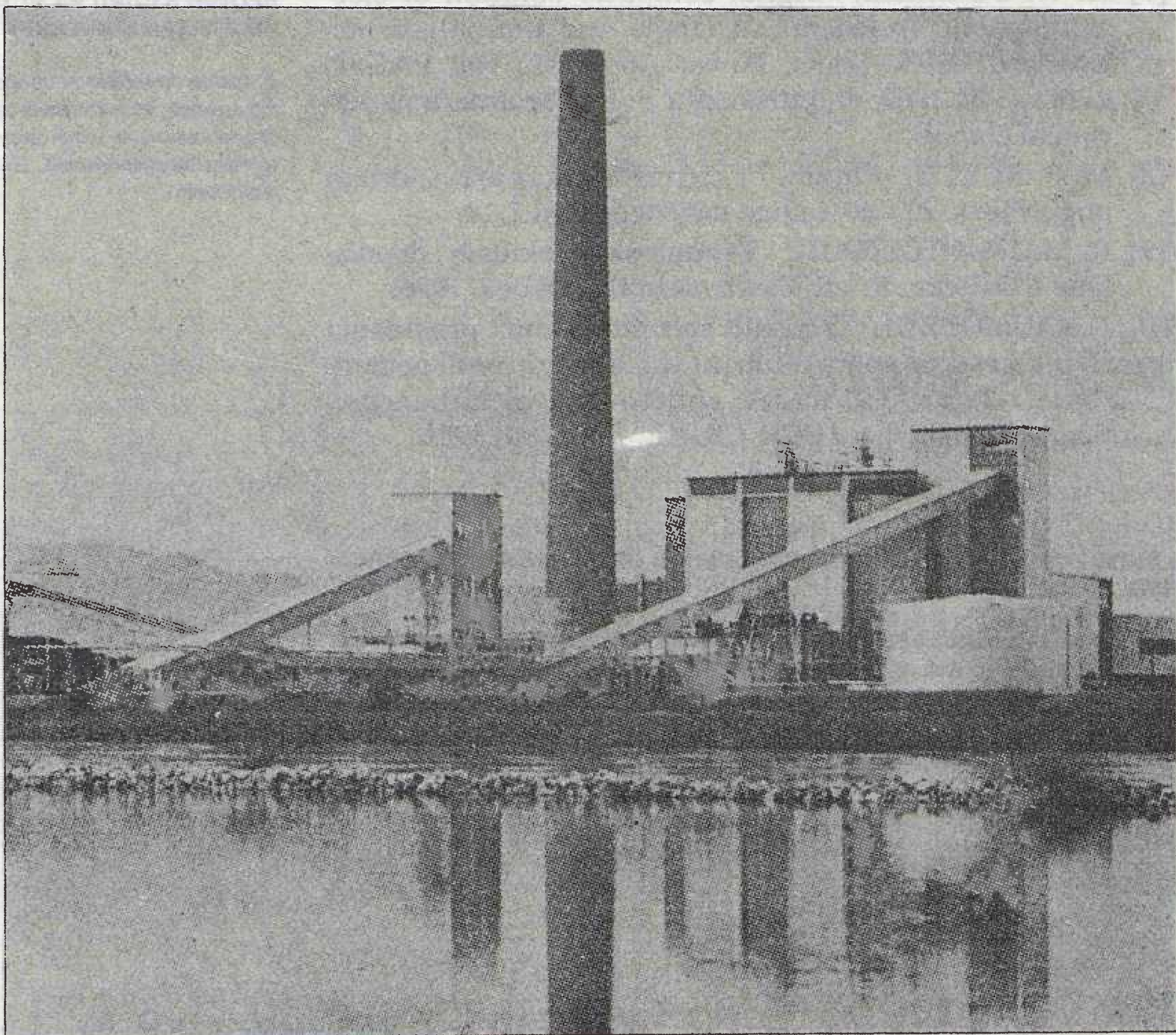
## Projektira

## Proizvodi

## Konstruira

## Montira

## Izvodi



### STACIONARNE KOTLOVE

po vlastitoj dokumentaciji i u suradnji do najvećih učina, tlakova i temperatura pare ili vode: za centralna grijanja • za daljinska grijanja • za tehnološke procese • za pogon parostrojeva • za baznu energetiku

### BRODSKE KOTLOVE

po vlastitoj dokumentaciji i po licenci: glavne: • pomoćne: na naftu, na ispušne plinove, kompozitne itd.

### ELEMENTE KOTLOVA

bubnjeve • cijevne sisteme • zagrijače vode • zagrijače zraka • pregrijače pare • čelične konstrukcije itd.

### OPREMU KOTLOVNICA

uređaje za kemijsku pripremu vode • uređaje za toplinsku pripremu vode • cjevovode • hladnjake pare • spremnike goriva • razne posude pod tlakom • prečistače dimnih plinova • limene dimnjake • uređaje za transport goriva itd.

### UREĐAJE ZA LOŽENJE

nepokretne roštilje • pokretne roštilje • mlinska ložišta • plinska ložišta • pneumatska ložišta • ložišta za drvenu piljevinu i otpatke • ložišta za ulja • ložišta za plin • drobilice i izbacivače šljake itd.

### OPREMU ZA PROCESNU INDUSTRIJU

za petrokemijsku industriju • za farmaceutsku industriju • za prehrambenu industriju • za industriju građevinskog materijala • za metalurgiju itd.

### BRODSKU OPREMU

spremnike • bojlere • hidrofore • rashladnike • zagrijače itd.

### ARMATURE

ventile ravne, kose i kutne: zaporne, zapornoodbojne, odbojne, regulacione, sigurnosne • hvatala nečistoće • glave za napajanje • termodinamička odvajala kondenzata • kondezne lonce • vodokaze • regulatore vodostaja • ispusne pipce • slavine • priрубnice za navarivanje itd.

### ELEMENTE ENERGETSKIH UREĐAJA

posude pod tlakom • izmjenjivače topline • razne spremnike • podnice itd.

### OPREMU ZA TEHNOLOŠKE PROCESSE

za zagrijavanje i toplinske obrade • za transport limova, profila i cijevi • pomoćnu za zavarivanje • za uvaljavanje cijevi itd.

### PRIBORE

za pogonska ispitivanja vode • za utvrđivanje kvalitete radiograma • za toplinska mjerenja itd.

### SERVISIRANJE ENERGETSKIH POSTROJENJA REKONSTRUKCIJE ENERGETSKIH POSTROJENJA LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

defektoskopska • kemijska • metalografska • mehanička itd.

### ATESTACIJU ZAVARIVAČA

### RAZVOJNA ZNANSTVENA ISTRAŽIVANJA

# NEKI ASPEKTI PRIJENOSNE MREŽE MAĐARSKE I ČEHOSLOVAČKE U VEZI S TIPIZACIJOM DALEKOVODA 110 kV

Marijan Kalea, Osijek

UDK 621.311(437:439)

STRUČNI RAD

U članku se iznose osnovni podaci o elektroprivredama Mađarske i Čehoslovačke, uz detaljno navođenje mnogih tehničkih parametara. Posebno je opisana i TS 750/400 kV Albertirša.

**Ključne riječi:** elektroprivreda Mađarske i Čehoslovačke, SEV, dalekovodi, TS 750/400 kV Albertirša.

»Dalekovod« Zagreb, organizacija za projektiranje, gradnju, montažu i proizvodnju, organizirao je stručnu ekskurziju u Mađarsku i Čehoslovačku u sklopu projekta tipizacije 110 kV-tnog dalekovoda.

Stručna ekskurzija objavljena je u razdoblju od 20. do 26. rujna 1987. godine. U ekskurziji su sudjelovala 22 radnika elektroprivrednih organizacija iz SR Hrvatske i SR Slovenije, republičkih komiteta za energetiku i građevinarstvo SR Hrvatske te »Dalekovoda« Zagreb.

Cilj organizatora i sudionika ekskurzije bilo je upoznavanje iskustava, stanja i tendencija u području projektiranja, građenja i korištenja 110 kV-tnog dalekovoda (i općenito visokonaponskih nadzemnih vodova) u Mađarskoj i ČSSR, s naglaskom na pitanja koja su se otvorila u nas prilikom razrade studije — projekta o tipizaciji 110 kV-tnog dalekovoda.

Obavljeni su razgovori sa stručnjacima mađarske elektroprivrede u Budimpešti, razgledan je elektroenergetski institut VEIKI u Budimpešti i posjećena TS 750/400 kV Albertirša. U ČSSR razgovori su vođeni sa stručnjacima poduzeća »Energovod« u Pragu i razgledan je razvojni institut za energetiku u Bjehovicama.

Iznijet ćemo opće podatke o elektroprivredama i elektroenergetskim mrežama u tim zemljama. Slijedi sažeti opis stručnih razgovora o problematici dalekovoda u Mađarskoj i Čehoslovačkoj. U nastavku — izvan glavne teme — opisana je TS 750/400 kV Albertirša.

## 1. ELEKTROPRIVREDA NR MAĐARSKE I NJEZINA ELEKTROENERGETSKA MREŽA

Mađarska elektroprivreda, Magyar Villamos Művek Tröszt — MVMT, organizacijski obuhvaća poduzeća triju djelatnosti: 1. proizvodnje električne energije i topline, 2. mreža i raspodjele električne energije te 3. investicija, građenja i montaže elektrana. U 1986. godini stanje je bilo ovakvo:

- proizvodnja električne energije i topline obavlja se u 12 organizacijskih jedinica: devet termoelektrana, jednoj nuklearnoj elektrani, jednoj hidroelektrani i jednom poduzeću za remont elektrana;
- mreže i raspodjela električne energije ima sedam organizacijskih jedinica: OVIT — za eksploataciju visokonaponske mreže i postrojenja na cijelom teritoriju Mađarske (obuhvaća naponske razine 750, 400 i 220 kV i magistralne poteze 120 kV) i šest regionalnih poduzeća za opskrbu električnom energijom (razdjelna mreža 120 kV do niskog napona);
- u trećoj je grupi po jedno poduzeće za gradnju elektrana, za remont elektroenergetskih objekata te za projektiranje i montažu elektrana.

Ministarstvu privrede neposredno su potčinjeni elektroprivredni institut EGI, naučnoistraživački institut za elektroenergetiku VEIKI, institut za projektiranje elektrana i mreža ERÖTERV te ustanova za gospodarski nadzor AEEF.

U 1986. godini elektroenergetski je sistem sadržavao:

- elektrane instalirane snage 6680 MW (zajedno s nuklearnom elektranom Pakš, 1320 MW);
- visokonaponsku prijenosnu mrežu ukupne duljine dalekovoda 5253 kilometara (750 kV-268 km, 400-1252, 220-1250, magistralni vodovi 120 kV-2483 km);
- razdjelnu 120 kV-tnu mrežu ukupne duljine dalekovoda 2960 kilometara.

Vrijednosti ostvarenih elektroenergetskih veličina bile su:

- netoproizvodnja 25,7 TWh;
- saldo uvoz — izvoz 10,5 TWh;
- ukupno, prijenosna mreža 36,2 TWh (86/85 = +2,1 %)
- vršno opterećenje 6240 MW (86/85 = +2,4 %).

Praktično se trećina električne energije uvozila. U trenutku vršnog opterećenja mađarske su elektrane davale oko 4700 MW.

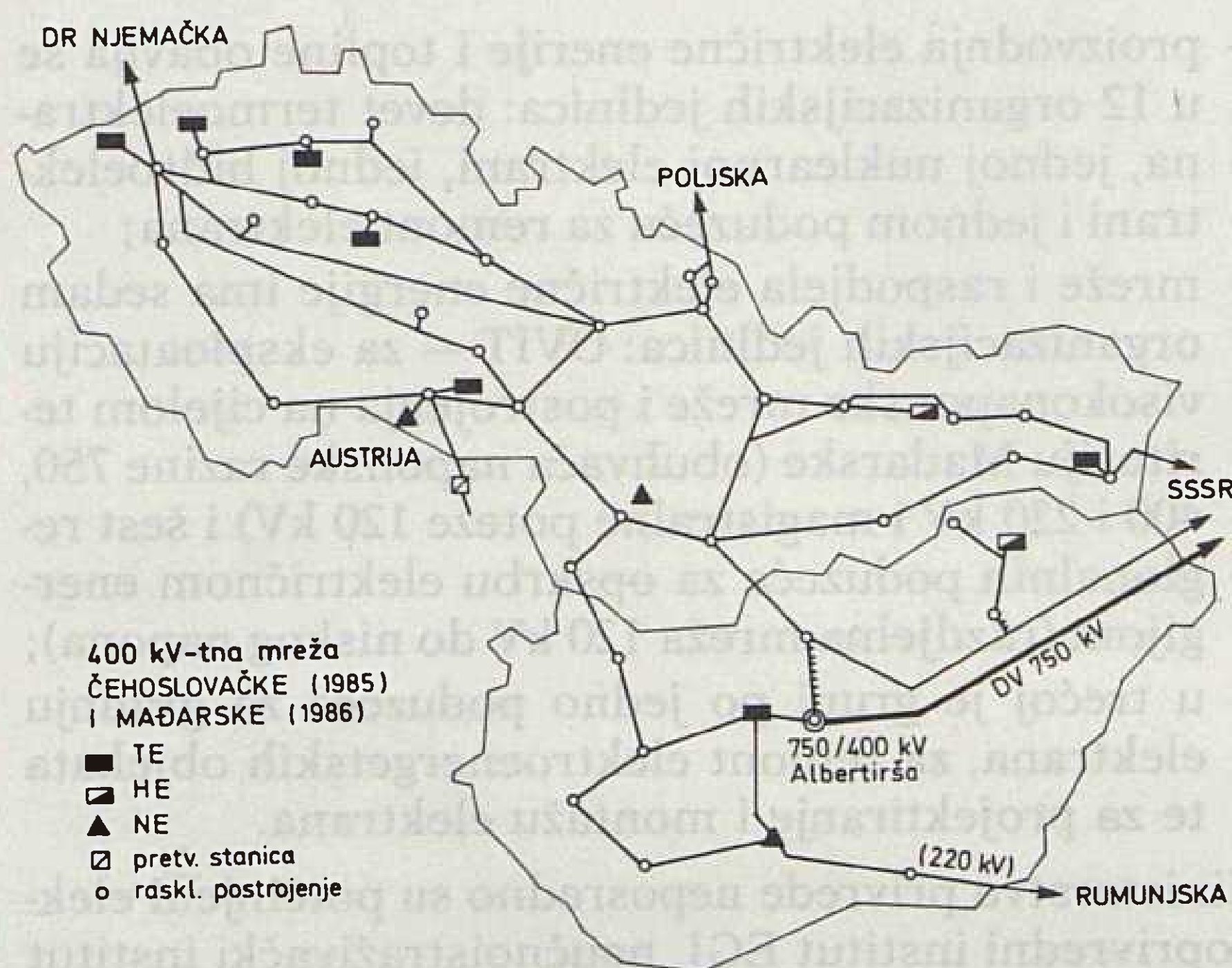
U 1986. godini predano je i 59 PJ toplinske energije iz objekata elektroprivrede.

Naponske razine u mreži čiji se razvoj prema sadašnjim shvaćanjima preferira jesu: 400 — 120 — 20 (nadmerna mreža), 10 (kabelska mreža) — 0,4 kV. Priključak na mrežu zapadnog dijela SSSR-a izveden je radijalnim 750 kV-tnim vodom i transformacijom 750/400 kV u Albertirši. (Tako je priključena i mreža Poljske, a predviđa se isti način povezivanja ČSSR i Bugarske.)

Mađari planiraju da će 1992. godine raditi pretvaračka stanica za povezivanje s Austrijom instalirane snage 500 MW u prvoj etapi, s mogućnošću proširenja na 1500 MW.

Mrežu 220 kV ne namjeravaju dalje razvijati, osim koliko bude potrebno za povezivanje sa susjedima.

Visokonaponska mreža je u zamkastom pogonu, djelomično sekcionirana radi ograničenja struja kratkog spoja u 120 kV-tnoj mreži. Srednjonaponska i niskonaponska mreža u radijalnom su pogonu.



Slika 1.

## 2. ELEKTROPRIVREDA ČEŠKE SR I NJEZINA ELEKTROENERGETSKA MREŽA

Elektroprivreda ČSSR podijeljena je na elektroprivredu Češke SR i Slovačke SR.

Elektroprivreda Češke, Českè energetiskè závody — ČEZ, na koju će se uglavnom odnositi izlaganje u nastavku, slično je organizirana kao i elektroprivreda Slovačke. ČEZ obuhvaća 62% površine i oko 67% stanovništva Čehoslovačke.

Konzern ČEZ organizacijski obuhvaća četiri djelatnosti: 1. proizvodnju energije, 2. područna poduzeća za raspodjelu energije, 3. strojogradnju i 4. ostale pogone. U 1986. godini stanje organizacijskih jedinica bilo je ovakvo:

- proizvodnja energije, u 12 elektrana;
- raspodjela energije, u osam područnih poduzeća koja obuhvaćaju sve naponske razine na svom području;

- strojogradnja, u 3 poduzeća: baza za reparaturu energetskih postrojenja, pogon za energetsku strojogradnju i »Energostroj«;
- ostali pogoni, u 3 poduzeća: »Energovod« Prag, »Energotehnika« Prag i organizacija za racionalizaciju energetskih pogona.

ČEZ je ukupno imao više od 53 000 radnika.

U 1986. godini elektroenergetski sistem ČEZ-a imao je:

- elektrane instalirane snage 10177 MW (od toga je nuklearna elektrana Dukovany imala 1320 MW);
- visokonaponsku mrežu ukupne duljine dalekovoda 16 638 kilometara (400 kV-2577 km, 220-2066, 110-11995).

Elektroenergetske veličine ČEZ-a ostvarene u 1985. godini imale su vrijednosti:

— bruto-proizvodnja	51,3 TWh
— uvoz	3,6 TWh
— izvoz i isporuke SSSR-u	4,2 TWh
— potrošnja vlastitih elektrana	3,8 TWh
— ukupno, prijenosna mreža	46,9 TWh.

Praktično, elektroenergetski sistem ČEZ-a bio je izbalansiran. U termoelektranama s oduzimanjem topline i toplanama proizvodna je i odgovarajuća količina toplinske energije. Sada proizvode oko 25% energije iz nuklearnih elektrana, a do 1990. godine očekuju 50%.

Sistem cijele Čehoslovačke imao je u siječnju 1985. instaliranu snagu 19 771 MW (od toga NE 1736 MW) i vršno opterećenje od oko 12 700 MW. Proizvodnja je bila oko 80 TWh.

U sadašnjem sastavu visokonaponske mreže ČSSR prevladavaju 400 kV-tni vodovi, uz visoki udio i 220 kV-tnih vodova. Dalji razvoj planira se isključivo na 400 kV-tnom naponu. Pripremaju stup za DV 3 × 400 kV, s mogućnošću konačnog opremanja sa 4 × 400 kV.

U konfiguraciji mreže ističu se uzdužni potezi duž teritorija Češke (5 400 kV-tnih linija) i poprečni potezi na području Slovačke (dva prstena 400 kV). Veza sa susjedima ostvarene su 400 kV-tnim vodovima i pretvaračkom stanicom Dürnrrohr u Austriji, snage 550 MW (pomoću koje se električna energija iz Poljske izvozi u Austriju).

Srednji napon je 22 kV, ponegdje 35 kV. Niski napon je 0,4 kV, ali u Pragu ima dijelova grada s nazivnim faznim naponom 120 V.

## 3. SAŽETAK RAZGOVORA U MVMT, BUDIMPEŠTA

U mađarskoj elektroprivredi, MVMT, primili su nas rukovodioci i stručnjaci za prijenos, razvoj, planiranje i izgradnju dalekovoda.

- Iz općih informacija koje smo saznali izdvajamo:
- opredjeljenje za dvostruke vodove jednakog napona zbog sve većih teškoća s trasama;
  - ne grade višesistemske dalekovode različitih napona;

- primjenjuju rjeđe nekonvencionalna rješenja, i to na srednjem naponu (npr. glava stupa od izolacijskog materijala);
- u 120 kV-tnoj mreži primjenjuju uljne kabele švedske i njemačke proizvodnje.

U nastavku iznosimo zapažanja po užim područjima.

#### a) Utjecaji okoline na dalekovod

Na području Mađarske u sastavu deset hidrometeoroloških stanica mjere se meteorološke veličine potrebne za projektiranje dalekovoda: vjetar, led i onečišćenja. Elektroprivreda dobiva potrebne podatke uz naknadu. Nije uspostavljena pogonska veza između elektroprivrede i hidrometeoroloških stanica.

S obzirom na onečišćenja, teritorij Mađarske podijeljen je u tri kategorije. Mjera za razvrstavanje je koncentracija soli (NaCl).

Relativne odnose pokazuje sljedeća tablica.

Kategorija onečišćenja	Koncentracija NaCl	Udio u teritoriju NRM	Strujna staza
slabo onečišćeno	10	40%	1,8 cm/kV
onečišćeno	40	45%	2,4 cm/kV
vrlo onečišćeno	160	15%	3,5 cm/kV

Ovisno o traženoj duljini strujne staze, izabire se broj izolatorskih štapova ili članaka u lancu.

#### b) Stupovi

Na 400 kV-tnim vodovima primjenjuje se čelično-rešetkasti portal, toranj i Dunav (za dvostruke vodove), na 120 kV-tnim vodovima »jela« i »bačva« (za dvostruke vodove), a na srenjem naponu profilirani betonski pravokutni stupovi.

Glava 120 kV-tnog stupa može biti varena, u segmentima koji svojom veličinom omogućuju pocinčavanje. Antikorozivna zaštita je uobičajeno pocinčavanje bez naknadnog bojenja, osim, eventualno, zbog signalnih razloga, za zrakoplovstvo. Ako je već prije izvedena zaštita ličenjem, ciklus onvavljanja iznosi 8 do 10 godina.

Odvrtanje vijaka sprečavaju opružnim prstenom i »kirnovanjem«. Za tu svrhu ispitivali su i specijalni premaz, ali je on skup, opasan za rad i uvozi se, pa ga nisu prihvatili.

#### c) Izolatori

Obično se primjenjuju štapni porculanski izolatori mađarske proizvodnje. Iznimno se na područjima većeg onečišćenja primjenjuju stakleni kapasti izolatori sovjetske proizvodnje. Tada se duljina lanca prilagođava uvjetima onečišćenja, izborom odgovarajućeg broja članaka, što se ne može ostvariti štapnim izolatorima.

Na pojedinim stupovima istog voda ne primjenjuje se pojačana izolacija. Također se ne primjenjuju izolatori za maglu.

#### d) Vodiči i zaštitna užad

Materijal i presjeci vodiča i zaštitne užadi tipizirani su prema naponskim razinama:

Napon	Fazni vodič	Zaštitno uže
400 kV	2 × 500/65 Al/Č ili 3 × 500/65 Al/Č	95/55 Al/Č (jedno ili dva)
220 kV	1 × 350/50 Al/Č ili 2 × 350/50 Al/Č	95/55 Al/Č (jedno ili dva)
120 kV	250/40 Al/Č	95/55 Al/Č (već 10 do 15 godina!)

Smatraju da su oštećenja od vibracija prikladno izbjegli tako da su za srednje godišnje naprezanje izabrali 80 N/mm<sup>2</sup> (prije je bilo 95 i 90 N/mm<sup>2</sup>). To je dovelo, dakako, do nešto viših i bližih stupova. Ugrađuju prigušivače.

Galopiranje izbjegavaju rasporedom vodiča u snopu:

- za dva vodiča: jedan je malo viši od drugoga, obično u horizontalnom rasporedu;
- za tri vodiča: u gornjem su redu dva vodiča, a u simetrali ispod njih treći vodič.

#### e) Uzemljenje

Za uzemljivač zahtijevaju da minimalni presjek čelika bude 240 mm<sup>2</sup>. To je u raskoraku s dimenzijama pocinčane trake za koju kažu da je primjenjuju (40 × 5 mm). Primjenjuje se i pocinčani okrugli čelik 20 mm Ø, čiji je presjek znatno veći od minimalnoga. Na kamenitim i pjeskovitim terenima upotrebljavaju bentonit, no iskustva im nisu naročito dobra.

#### f) Organizacija izgradnje

Potrebe izgradnje i lokaciju dalekovoda utvrđuje elektroprivreda. Općine daju dozvolu za korištenje prostora, neovisno o naponu dalekovoda. Korisnici i vlasnici prostora daju suglasnosti. Ako ne dobije dozvole i suglasnosti, elektroprivreda se obraća višem organu — sve do državnog nivoa. Zakonom su uređene naknade i štete; pri ministarstvu privrede radi posebna komisija za provođenje tog zakona.

Rastu poteškoće osiguranja trasa za gradnju dalekovoda; sudske odluke u korist postojećih korisnika i vlasnika (pa i privatnih) razlog su sve češćih uskraćivanja suglasnosti.

#### g) Održavanje

Radovi se izvode pod naponom, francuskom tehnologijom, na visokom naponu metodom »na potencija-



lu«, a na srednjem naponu metodom »na razmaku«, Radove na 750 i 400 kV-tnom naponu izvodi OVIT. Za svaki zahvat precizno je razrađena tehnologija radnih postupaka i upotrebe pomagala i alata, npr.: zamjena izolatora u lancu, popravak rastojnika ili skidanje stranog tijela s vodiča.

Radnici se posebno školuju; položeni ispit vrijedi do određenog roka, nakon toga se mora ponoviti. Provodi se periodična stroga zdravstvena kontrola radnika. Osobni su dohoci malo veći, ali ne bitno.

Regulativa se još dograđuje iskustvom iz primjene. Uglavnom nema nesreća s teškim posljedicama.

Konstrukcija dalekovoda nije prilagođavana radu pod naponom, jer je izabrana takva tehnologija da ju je moguće primijeniti na zatečenim dalekovodima. Ipak, pri konstrukciji novih dalekovoda i to se ima na umu.

Za premaz izolatora u onečišćenoj atmosferi primjenjuju silikonsku mast mađarske proizvodnje. Ciklus obnavljanja je 1,5 godine. Na sjeveru Mađarske ne pokazuje se dovoljno čestim.

#### 4. SAŽETAK RAZGOVORA U »ENERGOVODU«, PRAG

Razgovori u Pragu vođeni su u poduzeću »Energovod«, koje je organizacijski u sastavu češke elektroprivrede, ČEZ-a. »Energovod« je poduzeće za projektiranje i građenje dalekovoda i rasklopnih postrojenja visokog napona (napona 110 KV i više), te elektromontažu u elektranama na cijelom području Češke SR. Ima oko 2 500 radika, od toga u odjelu izgradnje dalekovoda oko 300, a u odjelu za projektiranje dalekovoda oko 60 radnika. Primili su nas stručnjaci za gradnju visokonaponskih vodova i oni iz međunarodnog odjeljenja.

Sadašnja orijentacija pri projektiranju i izgradnji 110 kV-tnih vodova je, uobičajeno, dvostruki vod (trebalo — ne trebalo!). Radili su već i DV 4 × 110 kV. Pripremaju i DV 4 × 400 kV. Uglavnom ne primjenjuju miješane napone na istom stupu. Ne predviđaju DV 2 × 400 kV za mogućnost prelaska na DV 750 kV, ali razmatraju mogućnost pregradnje nekih postojećih DV 220 kV na DV 400 kV.

Ilustrirajući rast teškoća pri izboru trasa, iznijeli su podatak da je nekadašnji omjer nosivih i zateznih stupova bio 10:1, a sada je 4:1.

Šume prolaze koridorima, ali su — iznimno — pribjegavali i nadvisivanju. U blizini aerodroma imaju razvijene niske (i široke) stupove. Nemaju razrađena provizorna rješenja stupova; nakon havarija konačno ih saniraju.

Stupnjevi mehaničke sigurnosti koje moraju imati pojedini elementi dalekovoda:

- izolatori 3
- armatura 2,5
- stupovi 1,3
- vodič, normalne sigurnosti 35% prekidne čvrstoće
- vodič, pojačane sigurnosti 20% prekidne čvrstoće.

U nastavku iznosimo sažete prikaze po užim područjima.

#### a) Utjecaji okoline na dalekovod

Teritorij ČSSR se, s obzirom na zaleđivanje, dijeli na četiri područja (prema masi dodatnog tereta):

- blagog tereta 1 kg/m
- srednjeg tereta 2 kg/m
- teškog tereta 3 kg/m
- kritičnog tereta više od 3 kg/m.

Propisana motka koja se izlaže zaleđivanju i na kojoj se mjeri masa leda po dužnom metru ima promjer 30 mm. Institut u Brnu prati zaleđivanje i podatke o tome daje elektroprivredi. Ima područja sa 10 do 15 kg/m leda.

Na cijelom se teritoriju ČSSR za dimenzioniranje dalekovoda uzima jednaka brzina vjetra (120 km/h).

Računska kontrola dalekovoda obavlja se u sljedećim propisanim okolnostima:

- (1) – 5°C + led
- (2) + 40°C
- (3) – 5°C + vjetar maksimalne brzine
- (4) – 5°C + led + vjetar polovice maksimalne brzine
- (5) – 30°C

Ne zahtijeva se kontrola na potres.

#### b) Stupovi

Stupovi za jednostruke DV 400 kV tipa su »ipsilon«, sa V-zavješanjem srednje faze. U ČSSR upotrebljavaju pet tipova stupova sa skokovima visine po 6 metara. Fazni razmak je 11 m za nosive i 14 m za zatezne stupove. Za lom trase na nosivom stupu do 170° upotrebljava se tipizirani produžetak konzole vanjske faze standardnoga nosivog stupa, a ovjesišta V-zavješanja u rašljama pomaknuta su prema van u odnosu prema vertikalnoj simetrali stupa.

Stupovi dvostrukih 110 kV-tnih vodova su tipa »bačva« (četverostrukih: dvostruka bačva!).

Često se primjenjuje čelik ATMOFIX. Mehanički odgovara Če 52 i 25% je skuplji od Če 37. U atmosferskim prilikama prevlači se slojem stabilne korozije koja ne napreduje. Pocinčavanje poskupljuje čelik za 30%, pa im se isplati ATMOFIX koji se proizvodi u ČSSR.

Osiguranje vijaka od odvrtnja provodi se opružnim prstenom.

#### c) Temelji

Temelji za stupove 110 kV-tnih vodova izvode se raščlanjeno, sa četiri noge, po dvije blokom povezane ispod nivoa tla radi zauzimanja manje površine. Beton je nearmirani i lijeva se neposredno u jamu.

Često buše i temeljne rupe promjera 80 cm, pa tada ugrađuju armaturu.

Na svakome stupnome mjestu obavlja se geomehaničko ispitivanje tla i na svakom je stupnome mjestu obavezno uzeti ispitne betonske kocke. Marke betona su:

- temelji bez armature, kad nema podzemnih voda MB 135
- temelji s armaturom MB 180
- temelji na mjestu s agresivnim tlom MB 250.

Beton se priprema industrijski i na gradilišta doprema mikserom.

Ne isplati im se zarada predfabriciranih temelja, nema ekonomično velike serije.

#### d) Vodiči i zaštitna užad

Za 400 kV-tne vodove tipizirani je presjek faznog vodiča  $3 \times 450/52 \text{ mm}^2 \text{ Al/Č}$ , razmak u snopu 40 cm.

Za 110 kV-tne vodove tipizirana su tri presjeka alučeličnoga faznog vodiča: 240/39 — 450/83 — 680/83  $\text{mm}^2$ .

Za zaštitno uže 110 kV-tnih vodova prije se primjenjivalo čelično uže 70  $\text{mm}^2$ , a sada se upotrebljava 180/59  $\text{mm}^2 \text{ Al/Č}$  ili 85/83  $\text{mm}^2 \text{ Al/Č}$ .

Vibracije izbjegavaju tako da je srednje godišnje naprezanje 18% prekidne čvrstoće. Na 110 kV-tnim vodovima ugrađuju prigušivače, a na 400 kV-tnim vodovima rastojnici su izvedeni kao prigušivači.

Galopiranje je rijetka pojava, u DDR se time više bave.

#### e) Izolatori

Nekad su upotrebljavani kapasti porculanski izolatori. Već dvadesetak godina primjenjuju se štapni izolatori. U početku su ih uvozili iz DDR a sada se proizvode u ČSSR. Spiralni su, licenca je francuska.

Na 110 kV-tnim vodovima ugrađuju se dva serijski spojena štapa čvrstoće 10 kN. Zavješanje je jednos-truko.

Ovisno o onečišćenosti, na 40 kV-tnim se vodovima ugrađuje pet do osam štapova spojenih u seriju. U nosivom lancu su dva paralelna sloga, a u zateznom tri.

Cijeli sistem zavješanja tipiziran je i ispitan, i to:

- elektromehanički
- uz onečišćenje
- kratkospojno
- s obzirom na radiosmetnje,
- dinamički (pucanje jedne grane u paraleli).

Iznimno se primjenjuju i lanci od staklenih kapastih izolatora sovjetske proizvodnje, npr. uz NE i velike TE na jedan do dva kilometra daleko od rashladnih tornjeva. (Premalena udaljenost rebara na štapnim izolatorima zbog zaleđivanja rezultira prevelikom površinskom vodljivosti.) Na nosivom su stupu tada dva izolatorska lanca zavješena u jedno ovjesište, a vodič je prihvaćen razmaknuto.

Pojačanu izolaciju kao način lokalnog povećanja električne sigurnosti ne primjenjuju.

#### f) Uzemljenje

Prije betoniranja u jamu se postavlja traka i dva mjeseca nakon betoniranja mjerenjem se ustanovljava je li otpor dovoljno malen. Iskustvo pokazuje da 85% stupnih mjesta ispitanih na takav način zadovoljava. Ostatak dopunjuju naknadnim polaganjem trakastih uzemljivača. Kratko vrijeme isključenja zaštite (0,2 sekunde) i zaštitno uže dobre vodljivosti čine pitanje uzemljenja manje osjetljivim.

Propisana su mjesta na kojima se moraju provesti postupci za oblikovanje raspodjele potencijala (nase-lja, područja uz prometnice i sl.)

#### g) Organizacija izgradnje

Izgradnja je u ČEZ-u jedinstvena za svih osam regionalnih poduzeća, a izgrađeni im se dalekovodi predaju u upotrebu. Narudžbe ostalih naručilaca daju se preko ČEZ-a.

U izgradnji su propisana tri sudionika: investitor, generalni projektant i generalni izvođač.

Investitor osigurava općinsku i ostale suglasnosti te financijska sredstva. Postupak je jednak za sve naponske razine.

Generalni projektant je autonomno odgovoran za tehničko rješenje i nema vanjske kontrole njegova rada. Za cijelu ČSSR postoji jedan generalni projektant, »Energoprojekt« pri ministarstvu energetike. »Energovod« je ovlašteni operativni projektant za dalekovode na području ČSR.

Generalni izvođač za građenje dalekovoda na teritoriji ČSR je »Energovod«. Angažira eventualne proizvođače i dobavljače opreme i materijala te odgovara za ukupnu izvedbu objekta.

#### h) Projektiranje

Za 20-tak kilometara dug dalekovod na projektiranje se obično utroši oko pola godine (zajedno s geomehaničkim ispitivanjima tla), nakon dobivanja suglasnosti. Dobivanje suglasnosti ponekad traje oko dvije godine (zna biti i do 100 sudionika). Godinu dana nakon projektiranja počinje građenje. Nakon prvog stupnja projekta naručuju se glavni materijali, a detalji se rješavaju drugim stupnjem projekta.

Pri projektiranju se obično koriste metodama na računalu, i to za:

- statički račun
- račun provjesa
- proračun temelja
- izradu sastavnica materijala
- račun utjecaja na tt-linije
- izradu crteža uzdužnog profila ploterom.

#### i) Montaža

Stupove 400 i 220 kV-tnih vodova obično sastavljaju položene na tlo a zatim ih uspravljaju, često pomoću

helikoptera. Toliko su već usavršili takav zahvat da za četiri sata leta usprave 80 stupova! Montaža stupa na taj način pet puta je skuplja od konvencionalne, ali i 10 puta brža. Stupove su standardno uspravljali traktorima ili gusjeničarima.

Helikopterom se služe i za razvlačenje predužeta. Preduže — od izolacijskog materijala — razvlače radnici na tlu, uzetom s kukom prihvaća ga helikopter i podiže na visinu zavješanja, gdje ga dočekuje monter i privlači rakljama do ovjesišta. Poprečni vodovi na terenu pritome mogu biti u pogonu.

Helikopter nije vlasništvo »Energovoda«, unajmljuju ga od specijaliziranoga civilnog poduzeća.

## j) Pogon i održavanje

Ne primjenjuju metode pojačanoga strujnog opterećivanja dalekovoda protiv zaleđivanja mada sa SSSR-om rade na tome.

Ne primjenjuju silikonsko premazivanje izolatora na dalekovodu, stare izolatore zamjenjuju novima. (Kape paste porculanske izolatore u starim rasklopnim postrojenjima premazuju silikonskom mašću).

U regionalnim poduzećima rade samo neke propisane zahvate na dalekovodima pod naponom (npr. zamjenu rastojnika i nosivoga izolatorskog štapa), i to na DV 400 kV metodom »na potencijalu«, a na 110 kV i srednjem naponu metodom »na razmaku«. Pritome se koriste iskustvima DDR.

## 5. TRANSFORMATORSKA STANICA 750/400 kV ALBERTIRŠA

TS 750/400 kV Albertirša (mađ. Albertirsa) locirana je 60-tak kilometara od Budimpešte, na pravcu istok-jugoistok. Povezana je 750 kV-tnim dalekovodom na TS Zapadnoukrajinska (SSSR), do koje su položena dva 750 kV-tna dalekovoda: iz TS Černobiljskaja i iz TS Vinica. U potez Černobiljskaja-Zapadnoukrajinska, interpolirat će se čvor Hmeljnickaja, odakle će kretati potez 750 kV za ČSSR (Hmeljnickaja-Žešuv).

TS Albertirša ima instaliranu snagu 750/400 kV transformatora od  $2 \times 1100$  MVA i priključena tri 400 kV-tna dalekovoda, prema Gödu i Dunamentiu (Mađarska) te Levicama (ČSSR).

TS Albertirša građena je oko tri godine, od 1975 do 1977. godine obavljani su pripremni radovi, od jeseni 1977. do jeseni 1978. godine provedena je montaža, a od siječnja 1979. godine TS redovno radi.

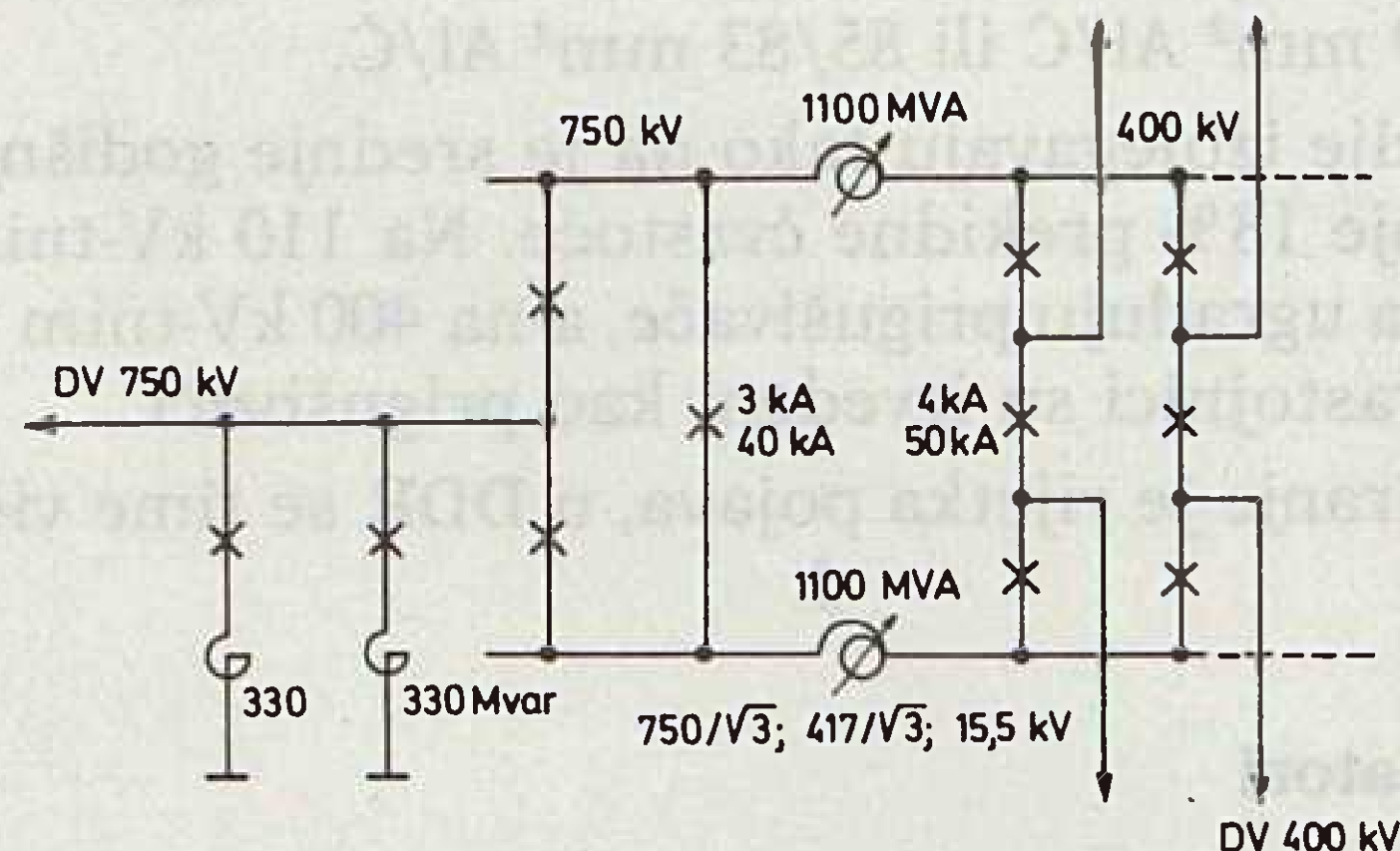
Dionica DV 750 kV Zapadnoukrajinska-Albertirša na teritoriju NR Mađarske duga je 268 kilometara (od ukupno oko 480 km). Presjek faznih vodiča je  $4 \times 500/95$  mm<sup>2</sup> Al/Č, razmak među vodičima u snopu je 65 cm. Dva zaštitna užeta su  $95/55$  mm<sup>2</sup> Al/Č. Izolatori su stakleni kapasti 12 tona, a sovjetske su proizvodnje. U nosivom su lancu 44 članka. Stupovi su portalni, bez sidrenja, čeličnorešetkasti, s horizontalnim rasporedom vodiča. Najmanja visina od tla (10,5 m) je takva da vrijednost električnog polja uz tlo omogućuje slobodno kretanje pod dalekovodom.

Prosječni je raspon oko 400 metara. Razmak faza je 17,5 metara.

Na mađarskoj je dionici ugrađeno 687 (od toga 76 za-teznih) stupova, ukupne mase oko 11 000 tona. Ukupna masa vodiča je oko 6 000 tona. Građenje dalekovoda počelo je 1976. godine.

Mogućnost prijenosa je 7 do 8 TWh/god., prirodna snaga 2 140 MW, a termička granica 4 200 MVA.

Osnovna shema 750 kV-tnog postrojenja u ovoj fazi izgradnje ne sadrži sabirnice nego tri polja s prekidačima spojena u trokut. Na jedan vrh trokuta priključen je DV 750 kV, a na ostala dva vrha transformatori 750/400 kV. Puni se pogon može održavati ako je jedan prekidač izvan pogona. Direktno navod, ispred spomenutog trokuta, priključuju se dvije 750 kV-tna prigušnice od 330 Mvar, prekidačima s osam komora po fazi. Pritome je polovica prekidača (četiri komore) premoštena vanjskim kuglasto-šiljastim iskrištem, očito za prigušenje prenapona pri isklapanju prigušnice. Ostali 750 kV-tni prekidači imaju šest komora po fazi. Prekidači su pneumatski, od 40 bara i s autonomnim kompresorima 230 bara.



Slika 2. Osnovna shema TS 750/400 kV Albertirša, stanje 1987. godine

Nadnaponska zaštita izbacuje postrojenje iz pogona pri naponu 870 kV. Pri 750 kV vod generira oko 1 200 Mvar. Prigušnice su u jednofaznoj izvedbi po 110 Mvar, a ugrađena su dva trofazna sloga:  $2 \times 3 \times 110 = 660$  Mvar. Prigušnice su regulacijske, u pet stupnjeva. Isti je slog ugrađen i na drugoj strani 750 kV-tnog voda.

U konačnici, postrojenje 750 kV omogućuje priključak četiri DV-polja s 1,5 prekidačem po polju, nazivne struje 3 kA i rasklopne struje 40 kA.

Rasklopno 750 kV-tno postrojenje izvedeno je primjenom čeličnorešetkastih portala, staklenih kapacitnih izolatora i aluminijske užadi u snopu od tri vodiča. Nosači aparata i potpornih izolatora su po četiri betonska stupa kvadratična presjeka na svakome potpornom mjestu. Aktivne dijelove prekidača nose tri sloga (četiri za prekidače prigušnica) potpornih izolatora složenih u trostrane visoke piramide. Jednako su poduprti i aktivni idjelovi rastavljača (dva takva piramidalna sloga), s noževima okretnim u horizontalnoj ravnini.

Električno polje u zoni kretanja bilo bi između 18 i 25 kV/m. Da bi se omogućilo slobodno kretanje, duž svih prolaza postavljen je horizontalni zaslon na visini dva metra. Izveden je paralelno s razapetim žica-

ma, a međusobno je razmaknut 20-tak centimetara. Za dulji boravak izvan tih prolaza, za vrijeme radova, služe prijenosni zaslone te ekranizirana radna odjeća i šljemovi. Imaju razrađenu tehnologiju za određene zahvate u postrojenju, radom pod naponom, »na potencijalu«.

Transformatori »Ganz« 750/417, 5/15,5 kV u jedno-faznoj autotransformatorskoj izvedbi imaju po 366 MVA. Snaga trofaznog sloga je 1100/1100/240 MVA. Grupa spoja YyOd 11. Regulacija se provodi u 23 stupnja, a regulacijski je dio izveden u posebnom kotlu. Tercijar omogućuje priključak sinhronog kompenzatora. Masa transformatora je 314 tona/fazi. Nul-točka je direktno uzemljena.

Protupožarna zaštita transformatora izvedena je ručnim topovima fiksiranim za tlo, a mogu se zakretati u horizontalnoj i vertikalnoj ravnini.

Postrojenje 400 kV riješeno je sa 1,5 prekidačem po izvodu. Sada u transformatorskim priključcima nema prekidača.

Ukupno je moguće priključiti osam DV-polja nazivne struje 4 kA i rasklopne struje 50 kA.

Postrojenje 400 kV napravljeno je u oklopljenoj SF<sub>6</sub> izvedbi mađarske proizvodnje (»Ganz«, po licenci BBC). Korak polja je oko 15 metara. Sadržaj polja praktički je smješten uzdužno u prostor što ga zauzima portal za zavješene dalekovodnih vodiča, odnosno dovoda transformatora.

U vanjskim rasklopnim postrojenjima nema relejnih kućica. Zgrada komande je prostrana, konvencionalno opremljena.

Transformatorska stanica Albertirša ima tlocrt približnih dimezija 600 × 550 metara, od toga 400 kV-tnom postrojenju pripada oko 100 × 50 metara.

## 6. ZAKLJUČAK

Osobine elektroprivreda Mađarske i Čehoslovačke različite su od naših. Razina korištenja električne energije po stanovniku u NRM slična je našoj (10-tak posto veća), a u ČSSR je bitno veća (70-tak posto). Čehoslovačka se pokriva svojom proizvodnjom, a Mađarska trajno uvozi trećinu električne energije. Malen je (ČSSR) ili neznatan (NRM) udio hidroenergije. U obje zemlje rade nuklearne elektrane, a orijentirane su na dalji razvoj.

Od visokonaponskih mreža zaustavljen je dalji razvoj mreža napona 220 kV, za prijenos se preferira 400 kV-tna, a za razdiobu 110 (120) kV-tna mreža. Kao srednji napon preferira se 20 kV-tni.

Elektroprivreda ČSSR organizirana je po republikama (Češka SR i Slovačka SR). Elektroprivredna poduzeća obiju zemalja organizirana su u izdvojene elektrane (i toplane), te u regionalna poduzeća za prijenos, raspodjelu i distribuciju (ČSR), odnosno nacionalno poduzeće za prijenos i regionalna poduzeća za raspodjelu i distribuciju (NRM). Neka proizvodna, montažna, remontna i projektantska poduzeća u ob-

je zemlje dio su elektroprivrede. Instituti su izdvojeni.

Budući da smo posjetili jednu elektroprivrednu (u NRM) i jednu izvođačku organizaciju (u ČSSR, točnije u ČSR), problematiku dalekovoda »pokrili« smo sa stajališta investitora, projektanta, izvođača i korisnika, dakle s više aspekata.

Glavne spoznaje koje bi se, zaključno, mogle izdvojiti u vezi sa zasnivanjem, projektiranjem, građenjem i korištenjem 110 kV-tnog dalekovoda u Čehoslovačkoj i (120 kV-tnog) u Mađarskoj jesu:

- danas se uglavnom izvode dvostruki dalekovodi (eventualno opremljeni samo jednim vodom);
- hidrometeorološke podatke prikupljaju hidrometeorološke ustanove, ali su oni prilagođeni potrebama elektroprivrede;
- u ČSSR se pri projektiranju uzima u obzir istovremeno djelovanje leda i vjetra polovice maksimalne brzine;
- teškoće s izborom trasa za dalekovode sve su naglašenije;
- stup je čeličnoretkastog tipa »bačva«;
- antikorozivna zaštita provodi se pocinčavanjem (NRM) ili korozivno stabilnim čelikom (ČSSR);
- presjek faznog vodiča je 250/40 mm<sup>2</sup> Al/Č (NRM) odnosno 240/39 mm<sup>2</sup> Al/Č (ČSSR); Česi primjenjuju i povećani presjek za »teške« vodove (do 680/83 mm<sup>2</sup> Al/Č);
- primjenjuje se zaštitno uže velike vodljivosti, 95/55 Al/Č (NRM), 180/59 Al/Č i 85/83 Al/Č (ČSSR);
- s obzirom na vibracije, uzima se srednje godišnje naprezanje 80 N/mm<sup>2</sup> (NRM), odnosno 18% prekidne čvrstoće vodiča (ČSSR), uz primjenu prigušivača;
- galopiranje ih ne zaokuplja;
- po pravilu se primjenjuju štapni izolatori;
- ne primjenjuje se pojačana izolacija kao postupak diskretnog povećanja električne sigurnosti, ali se primjenjuje kontinuirano pojačana izolacija u uvjetima povećanog onečišćenja;
- zbog vodljivosti zaštitnog užeta i trajanja vremena isključenja, uzemljenje stupova ne prouzrokuje im veće probleme;
- nema primjene ni najave nekonvencionalnih rješenja u visokonaponskim nadzemnim vodovima;
- pri montaži se teži skraćanju terenskoga radnog vremena (sastavljene glave stupova u NRM i upotreba helikoptera u ČSR);
- uobičajen je rad pod naponom na tipičnim zahvatima pri popravku i održavanju;
- ponekad se za premazivanje izolatora (u NRM) upotrebljava silikonska mast.

Usporedivši sve to s našim opredjeljenjima, ustanovit ćemo da su ona međusobno slična ili istovjetna. Bitna je razlika to što je u njih u egzaktnije područje pomaknuto proučavanje utjecaja leda i onečišćenja, odnosno hidrometeoroloških uvjeta pri zasnivanju i projektiranju dalekovoda.

LITERATURA

Tipizacija dalekovoda 110 kV u SR Hrvatskoj, Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske i Dalekovod-Zagreb, 1986.

SOME ASPECTS OF STANDARDISATION IN TRANSMISSION NETS OF HUNGARY AND CZECHOSLOVAKIA

In the article are presented base data about electric power enterprises in Hungary and Czechoslovakia with a lot of technical parameters. Especially is described TS 750/400 kV Albertirša.

EINIGE ASPEKTE DES UNGARISCHEN UND TSCHECHOSLOWAKISCHEN ÜBERTRAGUNGSNETZES IN VERBINDUNG MIT DER TYPISIERUNG DER HOCHSPANNUNGSLEITUNG 110 KV

Im Artikel werden wichtige Angaben über die ungarische und tschechoslowakische Elektrowirtschaft neben einer detaillierten Anführung vieler technischer Parameter angegeben. Die TS 750/400 kV Albertirša wurde einzeln beschrieben.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ВЕНГРИИ И ЧЕХОСЛОВАКИИ В СВЯЗИ С ТИПИЗАЦИЕЙ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ 110 КВ

В статье приводятся основные данные о электрохозяйствах Венгрии и Чехословакии с подробным перечислением множества технических параметров. В частности описана ПС 750/400 кВ Альбертирша.

Naslov pisca:

Marijan Kalea, dipl. inž. Elektroslavonija, 54000 Osijek, Šet. V. Vlahovića 1a, Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis: 1988-01-06

# ZAHTJEVI KOJIMA MORA UDOVOLJITI VISOKONAPONSKA OPREMA U UVJETIMA POTRESA

Ivan Naumovski, Zagreb

UDK 621.311.1:550.348

PREGLEDNI RAD

Članak daje prijedlog modifikacije i proširenja dokumenta JUGEL GSE-43/83 »Osnovni uslovi za nabavku, ispitivanje i montažu elektroopreme i uređaja elektroenergetskih postrojenja sa stanovišta zemljotresa«. Prijedlog je baziran na podacima iz dokumenata koje je izdala ili pripremila međunarodna elektrotehnička komisija IEC, te na iskustvima Elektrotehničkog instituta RADE KONČAR u suradnji s Institutom za zemljotresno inženjstvo i inženjersku seizmologiju Univerziteta KIRIL I METODIJ Skopje o seizmičkim ispitivanjima prekidača i rastavljača visokog napona proizvodnje RADE KONČAR.

**Ključne riječi:** električna oprema, seizmička naprezanja, potres.

## 1. UVOD

Izbor i definiranje električne opreme na temelju zadanih seizmičkih uvjeta koji se mogu pojaviti na mjestu ugradnje te opreme za vrijeme njezina rada, specifičan je postupak. O pravilnom izvršenju tog postupka ovisi:

- pouzdanost opreme u slučaju seizmičkih uvjeta i
- cijena opreme, koja u slučajevima nerealnih ili nepravilnih kriterija može biti predimenzionirana.

Najvažniji je cilj ovog rada da doprinese jasnom definiranju kriterija za izbor opreme u seizmičkim uvjetima, s osobitim naglaskom na samostojeće prekidače visokog napona.

## 2. NAČIN DEFINIRANJA SEIZMIČKE AKTIVNOSTI LOKACIJE

Klasifikacija uvjeta okoline dio je aktivnosti posebnog sekretarijata međunarodne komisije IEC. Na temelju te aktivnosti za uvjete okoline koji se javljaju u prirodi pripremljen je standard IEC 721-2-6, koji se odnosi na vibracije i udarce uzrokovane potresom (izdanje 1986. god.). Tim su standardom definirani stupnjevi intenziteta potresa i njihov približni odnos s ubrzanjima tla (tabl. 1).

U standardu IEC 721-2-6, međutim, naglašeno je da je odnos stupnjeva intenziteta potresa i ubrzanja tla ograničen zbog sljedećih činilaca:

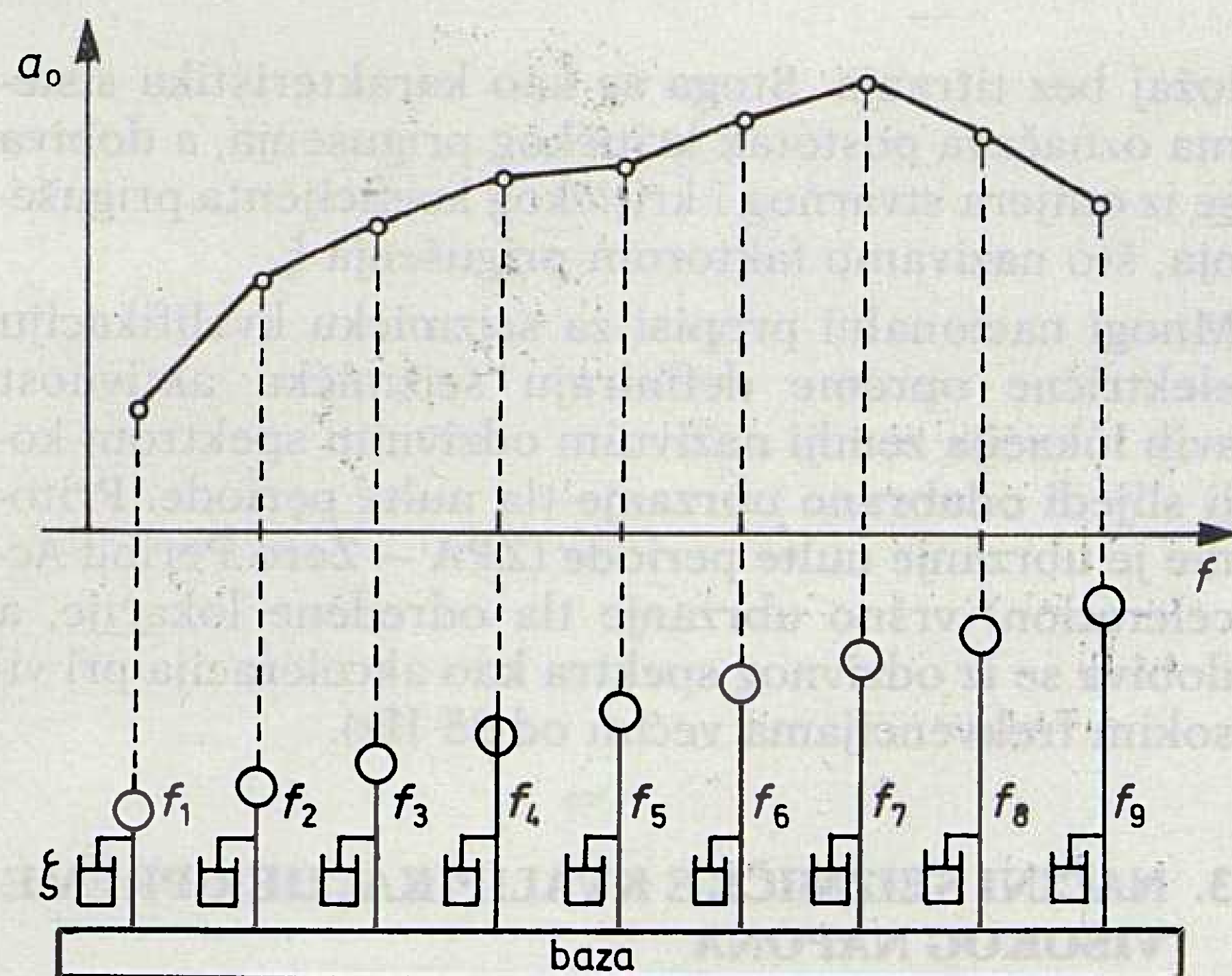
- kvalitete tla (zemlje, stijena, pijeska ili sl.)
- epicentralne dubine i udaljenosti potresa
- trajanja potresnog ciklusa.

Konstrukcija temelja i postolja električne opreme dodatni su činioci koji mogu utjecati na promjenu ubrzanja koje se razmatra pri seizmičkoj kvalifikaciji električne opreme.

Stoga se može zaključiti da se nabolji opis seizmičke okoline može dati pomoću tzv. odzivnog spektra. Odzivni se spektar može definirati kao reakcija običnog oscilatora na ubrzanje tla uzrokovano potresom, pri čemu je ta reakcija funkcija karakteristične frekvencije oscilatora.

Nazivni odzivni spektar za lokaciju na koju se ugrađuje električna oprema može se dobiti mjerenjima, npr. postoljem na kojemu su montirani oscilatori različitih frekvencija i različitih prigušenja (sl. 1).

Prigušenje je opći naziv za različite mehanizme disipacije energije u sistemu. Prigušenje u praksi ovisi o konstrukciji sistema, načinu vibracije, čvrstoći, načinu pričvršćenja (čak i o sili pritezanja vijaka za pričvršćenje). Kritičko prigušenje je ono viskozno prigušenje koje omogućuje vraćanje sistema u početni po-



$a_0$  - odzivno ubrzanje  
 $\xi$  - prigušenje  
 $f_i$  - prirodna frekvencija

Slika 1. Model dobivanja nazivnoga odzivnog spektra

Tablica 1. Stupnjevi intenziteta potresa

Modificirana Mercallieva ljestvica		Približna veličina Richterove ljestvice 1*	Približni stupanj ubrzanja 1*	Seizmičke zone 2*
I	Potres se ne osjeća.	0–2		zona 0
II	Osjećaju ga osobe koje se odmaraju u ležećem položaju, ili koje borave na višim katovima.	1–2		
III	Obješeni predmeti (lampe, lusteri i sl.) se ljuljaju. Lagane vibracije.	2–3		
IV	Osjećaju se vibracije slično kao kad prolaze teški kamioni. Prozori i posude zveckaju.	3–4		
V	Osjeća se vani. Bude se oni koji spavaju. Manji predmeti smješteni na police padaju.	4–5	2 m/s <sup>2</sup>	zona 1
VI	Svi ga osjećaju. Pomiče se pokućstvo.	5–6	3 m/s <sup>2</sup>	zona 2
VII	Osjeća se u gibajućim vozilima. Osobe koje stoje gube ravnotežu.	5–7		
VIII	Otežano upravljanje vozilima. Pojavljuju se pukotine i u vlažnoj zemlji. Uništeno: spremnici za vodu smješteni iznad površine zemlje, spomenici, stambene zgrade.	6–8		
IX	Nastanak pukotina ili rupa na tlu u gradovima. Pojava klizanja zemljišta. Pojava velikih pukotina u zemlji. Uništeno: svi cigleni zidovi koji nisu ojačani armirano-betonskom konstrukcijom.	7–9	5 m/s <sup>2</sup>	zona 3 i zona 4
X	Nastanak velikih klizišta u brdovitim predjelima, te pojava vrlo širokih i vrlo dugačkih pukotina bez obzira na vrstu tla. Uništeno: mostovi, tuneli, čak i neke ojačane građevinske konstrukcije.	8 i više		
XI	Trajne promjene u konfiguraciji zemljišta.			
XII	Gotovo potpuno uništenje.			

Napomene: 1\* Odnos između Mercallie i Richterove ljestvice, i stupnja ubrzanja zavisi prvenstveno o sastavu tla (zemljano, stjenovito, pjeskovito, močvarno i sl.) o podzemnoj dubini epicentra, te o trajanju najvećeg intenziteta potresa.

2\* Zone označene brojevima od 0 do 4 definiraju područje očekivane pojave potresa određenog stupnja intenziteta. Dobivene su na temelju 200-godišnjeg praćenja seizmičkih aktivnosti.

ložaj bez titranja. Stoga se kao karakteristika sistema označava postotak kritičkog prigušenja, a dobiva se iz omjera stvarnog i kritičkog koeficijenta prigušenja, što nazivamo faktorom prigušenja  $\xi$ .

Mnogi nacionalni propisi za seizmičku kvalifikaciju električne opreme definiraju seizmičku aktivnost svih lokacija zemlji nazivnim odzivnim spektrom koji slijedi odabrano ubrzanje tla nulte periode. Pritome je ubrzanje nulte periode (ZPA — Zero Period Acceleration) vršno ubrzanje tla određene lokacije, a dobiva se iz odzivnog spektra kao akceleracija pri visokim frekvencijama većim od 35 Hz).

### 3. NAČINI SEIZMIČKE KVALIFIKACIJE OPREME VISOKOG NAPONA

#### 3.1. Kvalifikacija ispitivanjem

Način ispitivanja električne opreme radi njezine seizmičke kvalifikacije definiran je IEC dokumentom SC

50 A (Sekretarijat) 192 [7], a za našu zemlju dokumentom JUGEL-a GSE -43/83 [2]. Oba dokumenta, a i novi, koji su u IEC-u priprema kao smjernica za seizmičku kvalifikaciju samo prekidača visokog napona, predviđaju sljedeći tok ispitivanja za npr. prekidače visokog napona:

- probe funkcionalnosti
- utvrđivanje reagiranja (odziva) prekidača na vibracije
- ispitivanje prekidača radi njegove seizmičke kvalifikacije
- ponovne probe funkcionalnosti.

Dokumentom JUGEL-a [2], točkom 4.2.6. Dinamičko ispitivanje pri rezonantnoj frekvenciji, predviđeno je da ispitivanje u smjeru svake osi traje najmanje dvije minute, što je relativno mnogo, čak i ako se ispitivanje provodi relativno blagom uzbuđom »vremenska historija« [3]. IEC dokumenti predviđaju da »time history« traje 30 sekundi, pri čemu trajanje najstrožeg dijela ne smije biti kraće od šest sekundi. U daljnjem tekstu dokumenta [2] stoji da pri ispitivanju

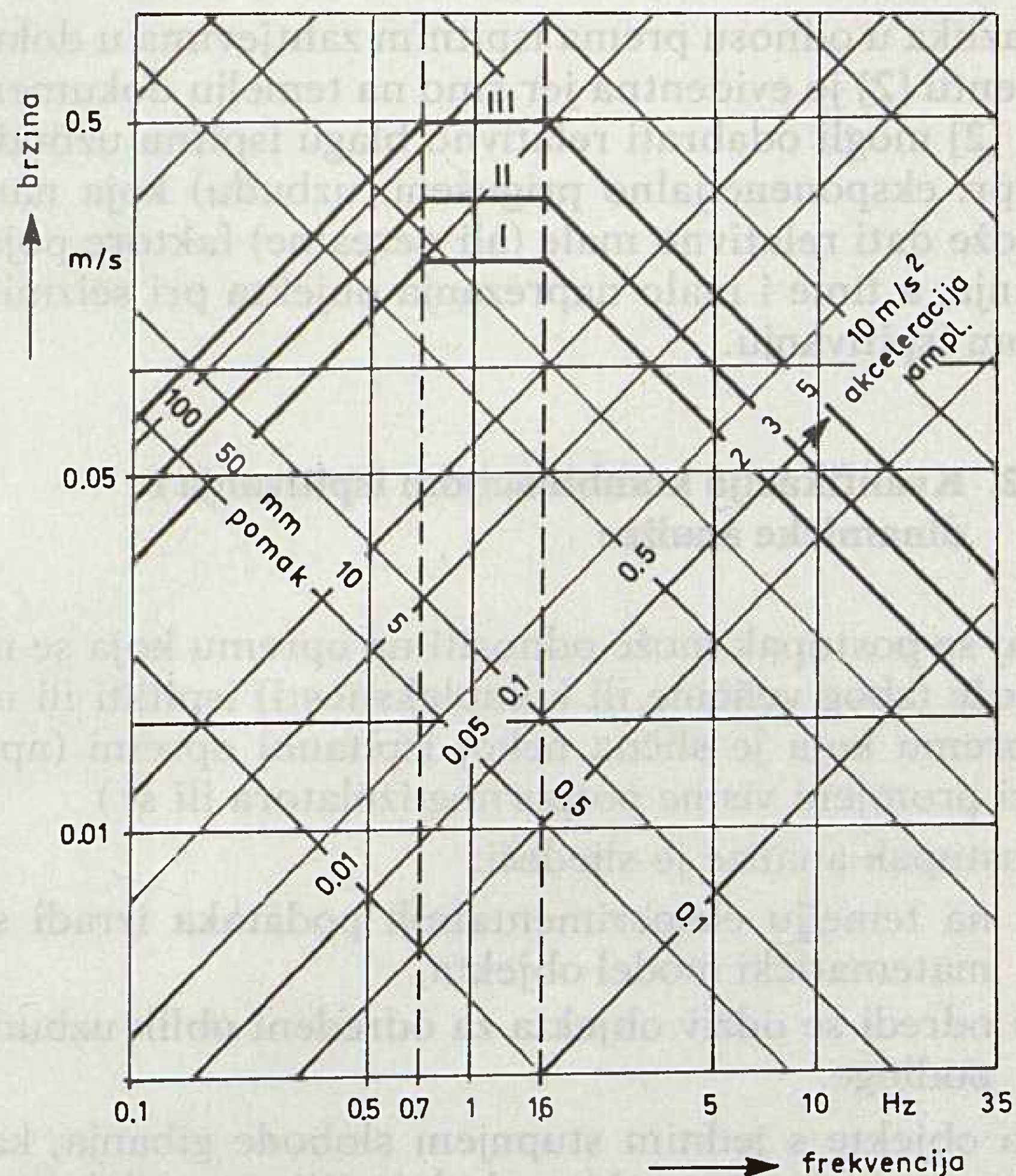
objekta mjereno ubrzanje težišta konstrukcije ( $a_k$ ) treba biti veće od ubrzanja uzetog iz spektra kretanja tla za danu rezonantnu frekvenciju. S obzirom da u tom dokumentu nije dan spektar kretanja tla za različite frekvencije, poslužiti ćemo se dijagramima iz IEC dokumenata [7]. Na slici 2. prikazan je spektar amplituda ubrzanja, brzine i pomaka kretanja tla za različite frekvencije vibracija. Iz slike 2. vidi se da je pri frekvencijama vibracija nižim od 1,6 Hz prijenosna karakteristika tla ograničena jer tlo ne podnosi velike brzine i velike pomake, pa je između 1,6 i 0,7 Hz brzina konstantna, a ispod 0,7 Hz konstantan je pomak tla, bez obzira na veličinu frekvencija vibracija.

Ako se vratimo na zahtjev točke 4.2.6. dokumenta [2], pri ispitivanju npr. prekidača zbog njegove seizmičke kvalifikacije moramo obaviti sljedeći postupak:

- pomoću zadanog ubrzanja nulte periode (npr.  $2 \text{ m/s}^2$ ,  $3 \text{ m/s}^2$  ili  $5 \text{ m/s}^2$ ) izabrati seizmičku aktivnost lokacije
- pomoću slike 2. provjeriti prijenosno ubrzanje tla za rezonantne frekvencije objekta
- provesti dinamičko ispitivanje objekta s uzbuđom vibracione platforme, koja može slijediti bilo koji priznati ispitni signal
- ako je izmjereno ubrzanje težišta objekta veće od ubrzanja tla  $a_k$ , uzetog iz spektra kretanja tla (znači iz sl. 2), dinamičko ispitivanje objekta udovoljava zahtjevima dokumenta [2]. Pritome nije naznačeno koliko odzivno ubrzanje mora biti veće od  $a_k$ .

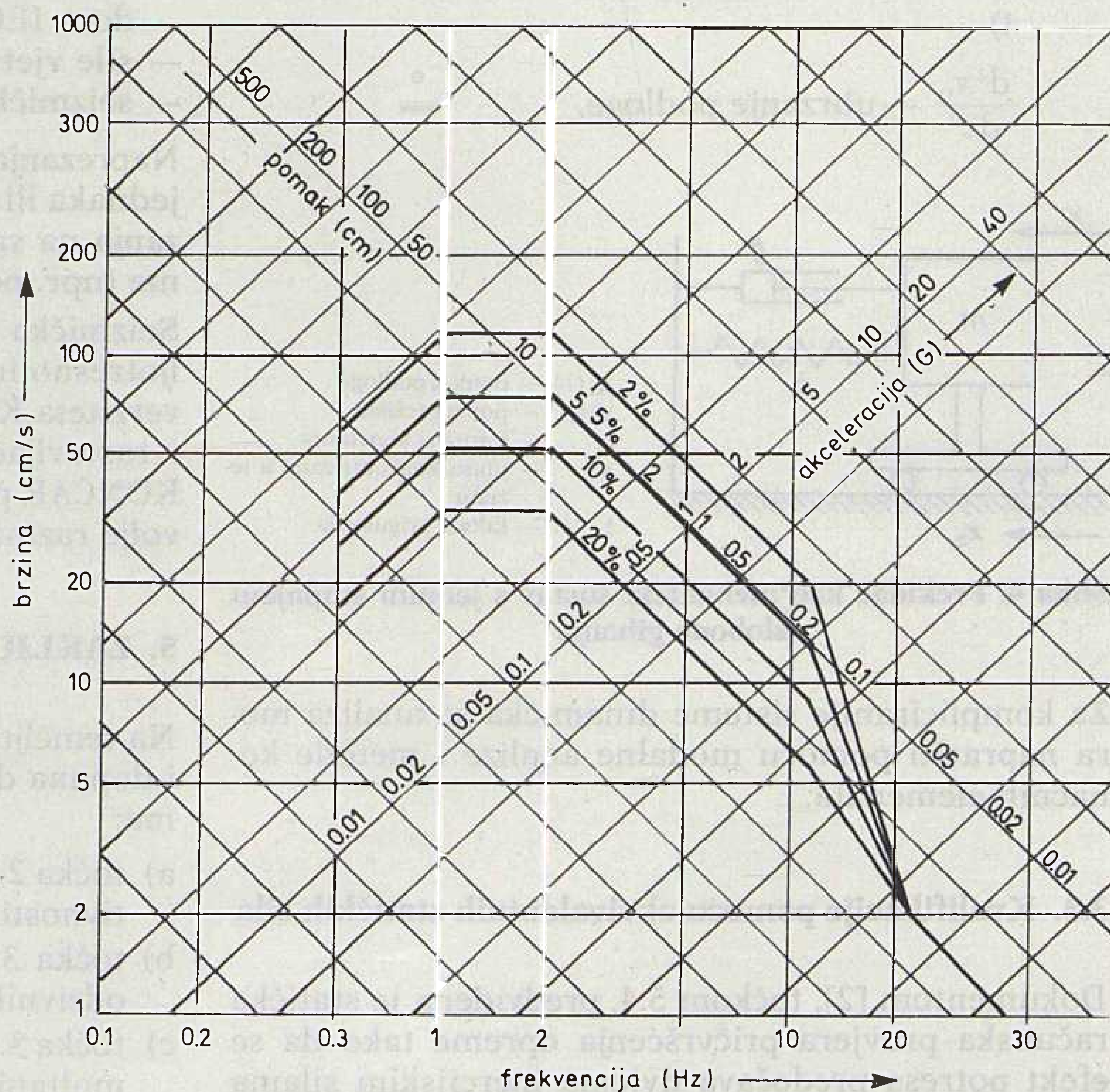
Međunarodni dokumenti koje je izdao IEC [1] ili koji su u pripremi, mnogo su precizniji, a ujedno i stroži. Osim spektra vibracije tla (sl. 2), u tim je dokumentima definiran i zahtjevani odzivni spektar za tri seizmičke klase, i to za ubrzanja nulte periode  $0,2 \text{ g}$  ( $2 \text{ m/s}^2$ ),  $0,3 \text{ g}$  ( $3 \text{ m/s}^2$ ) i  $0,5 \text{ g}$  ( $5 \text{ m/s}^2$ ). Slika 3. prikazuje primjer zahtjevanoga odzivnog spektra za ubrzanje nulte periode  $0,3 \text{ g}$  za opremu s različitim koeficijentima prigušenja montiranu na otvorenome (na tlu). Iz slike 3. vidi se da je za frekvenciju objekata od 2 do 12 Hz (to su frekvencije koje se uglavnom odnose na sve visokonaponske objekte s potpornim izolatorima), odzivno ubrzanje nekoliko puta veće od ubrzanja nulte periode. Tako faktor pojačanja za koeficijent prigušenja 2% iznosi 5, za prigušenje 5% je 3, a za prigušenje 10% iznosi 2 itd. Uzbuda koja simulira seizmičko kretanje tla pri ispitivanju objekata može biti višefrekventna («time history», «ran-

Slika 3. Primjer zahtjevnoga odzivnog spektra za lokaciju s ubrzanjem nulte periode  $0,3 \text{ g}$



Slika 2. Amplitude vibracija tla pri različitim frekvencijama vibracija i za tri seizmičke klase (pri ubrzanju nulte periode)  $2 \text{ m/s}^2$ ,  $3 \text{ m/s}^2$  i  $5 \text{ m/s}^2$

dom« i dr.) ili jednofrekventna (sine-beat, sinusna i dr., ali primijenjena pri različitim frekvencijama od 1 do 35 Hz ili makar pri rezonantnim frekvencijama objekata). Suma odzivnih ispitnih spektara koja se pritome dobije mora obuhvaćati (biti anvelopa za) zahtjevani odzivni spektar za odgovarajuće prigušenje objekta.





Razlika u odnosu prema ispitnim zahtjevima u dokumentu [2] je evidentna jer smo na temelju dokumenta [2] mogli odabrati relativno blagu ispitnu uzbudu (npr. eksponencijalno prigušenu uzbudu) koja nam može dati relativno male (ali nerealne) faktore pojačanja, a time i malo naprezanja objekta pri seizmičkom ispitivanju.

### 3.2. Kvalifikacija kombinacijom ispitivanja i dinamičke analize

Taj se postupak može odnositi na opremu koja se ne može (zbog veličine ili kompleksnosti) ispitati ili na opremu koja je slična nekoj ispitanoj opremi (npr. pri promjeni visine potpornog izolatora ili sl.)

Postupak analize je sljedeći:

- na temelju eksperimentalnih podataka izradi se matematički model objekta,
- odredi se odziv objekta za određeni oblik uzbude podloge.

Za objekte s jednim stupnjem slobode gibanja, kao što su visokonaponski prekidači čiji se model može prikazati slično slici 4 (masa koncentrirana u težištu) matematički je model relativno jednostavan i može se simulirati nehomogenom diferencijalnom jednačinom drugog reda s konstantnim koeficijentima:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2 \zeta \frac{dx}{dt} + \omega^2 x = \frac{d^2 x_0}{dt^2},$$

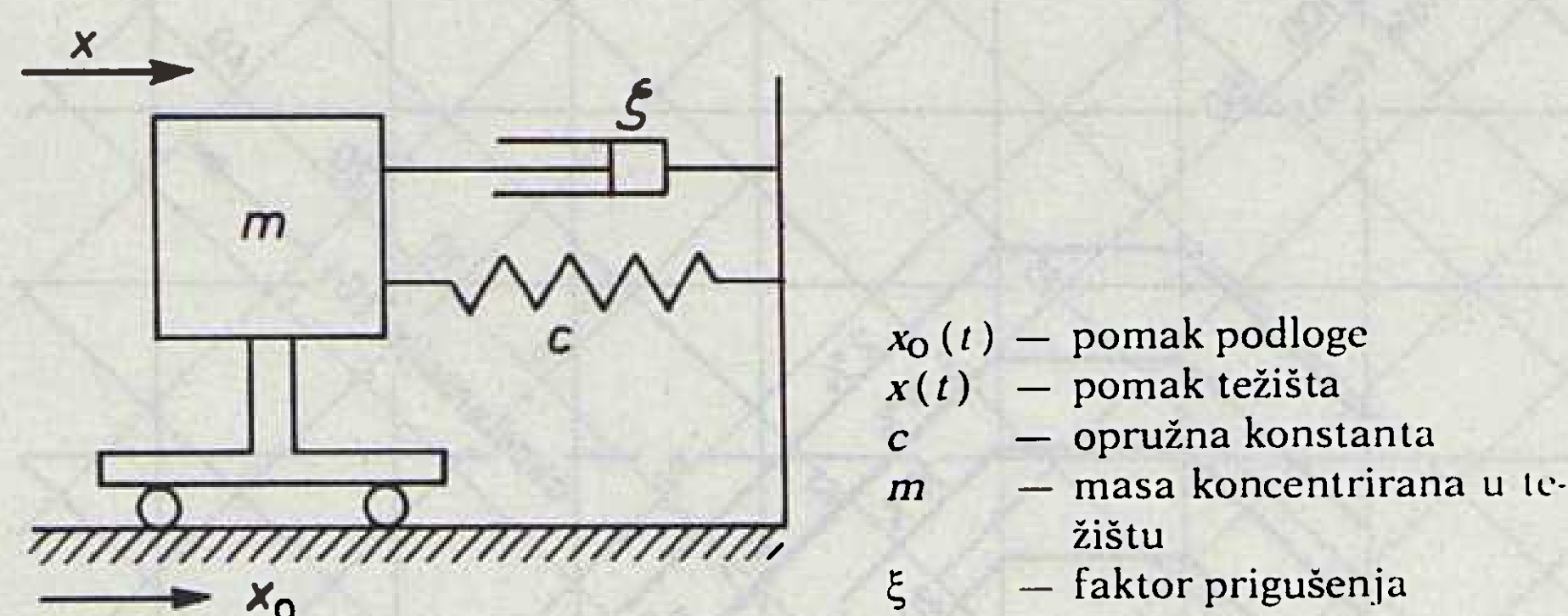
pri čemu je:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} \text{ — ubrzanje težišta}$$

$$\zeta, \omega \text{ — konstante } (\zeta = \frac{\xi}{2m}, \omega = \frac{c}{m}, \text{ prema sl. 4)}$$

4)

$$\frac{d^2 x_0}{dt^2} \text{ — ubrzanje podloge.}$$



Slika 4. Prekidač kao mehanički sustav s jednim stupnjem slobode gibanja

Za kompliciranije sisteme dinamička se analiza mora napraviti pomoću modalne analize i metode konačnih elemenata.

### 3.3. Kvalifikacije pomoću ekvivalentnih statičkih sila

Dokumentom [2], točkom 5.4, predviđena je statička računaska provjera pričvršćenja opreme tako da se efekt potresa predočava dvjema inercijskim silama

istovremenog djelovanja, pri čemu se za horizontalnu silu uzima ubrzanje 1,5 g, a za vertikalnu silu 1,0 g. Tako jednostrano simuliranje potresa statičkom silom, bez obzira na visinu ubrzanja nulte periode i prigušenja konstrukcije, može se prihvatiti samo za jeftine elemente kao što su u konkretnom slučaju elementi za pričvršćenje, uz pretpostavku da se računava s relativno velikim sigurnosnim faktorima.

Realniji je način postupak seizmičke kvalifikacije objekta pomoću statičkih inercijskih sila računatih s odzivnim ubrzanjima dobivenih iz odzivnog spektra (npr. iz sl. 3). Međunarodni dokumenti pritome predviđaju množenje odzivnog ubrzanja i faktorom 1,5, koji se određuju na temelju iskustva, da bi se uračunao utjecaj efekata višefrekventne uzbude i višemoalnog odziva.

## 4. KOMBINACIJA MEHANIČKIH NAPREZANJA

Seizmička naprezanja dobivena ispitivanjem ili analizom moraju biti kombinirana s ostalim pogonskim napreznjima da bi se odredila podnosiva karakteristika objekta.

Vjerojatnost da se javi potres s propisanim nivoom ubrzanja nulte periode dok oprema radi malena je. Osim toga, s obzirom da seizmička uzbuda objekta s kritičnom frekvencijom i maksimalnim ubrzanjem može trajati samo nekoliko sekundi, kombinacija svih mehaničkih napreznja u punom iznosu nije realna. Stoga se npr. za visokonaponske prekidače predlaže kombinacija sljedećih simultanih opterećenja [3]:

- unutrašnjeg tlaka
- statičke sile na priključnici definirane standardom IEC 56/1987. god. i reducirane faktorom 0,7
- sile vjetra brzine 10 m/s na prekidač
- seizmičkih sila.

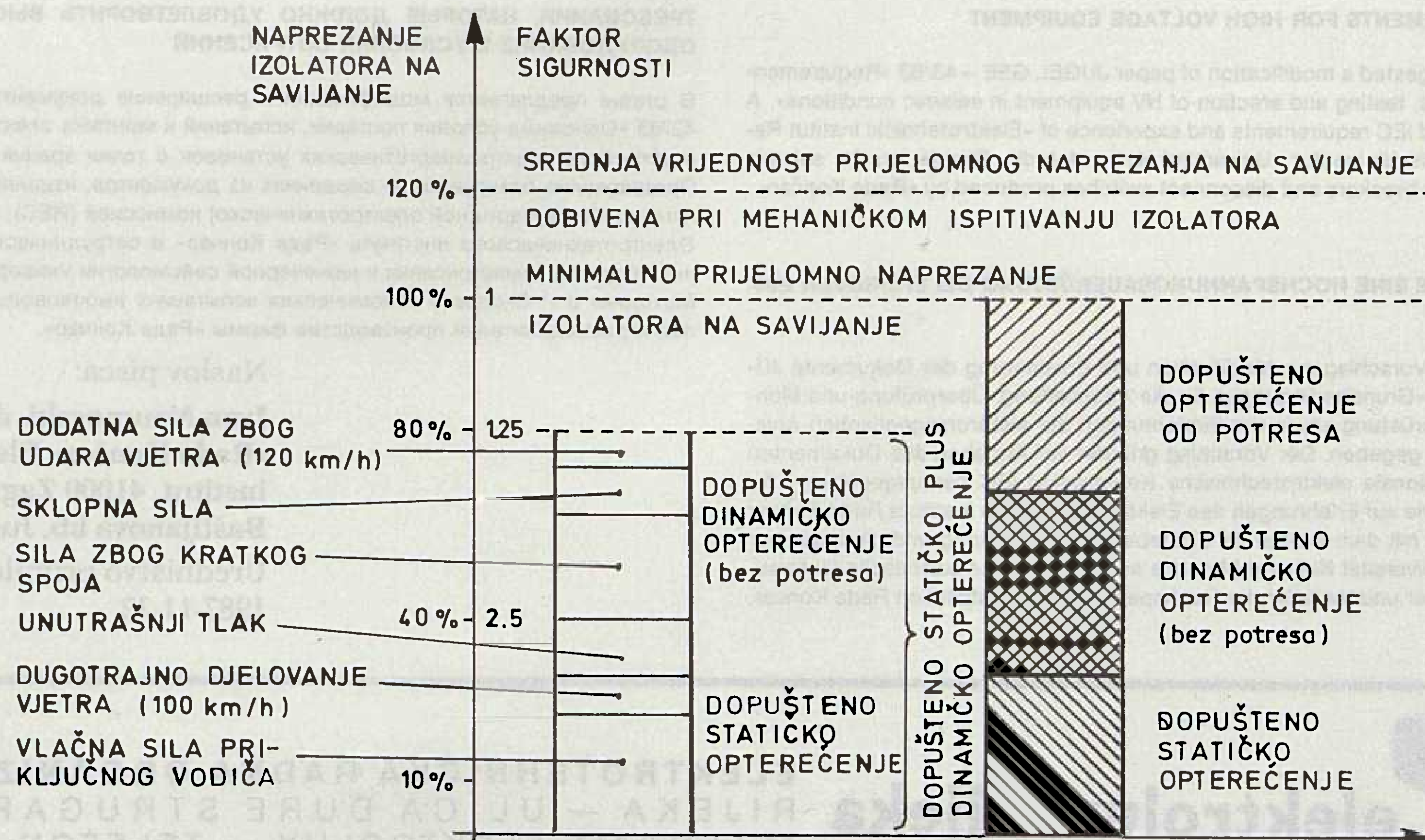
Napreznja zbog kombinacija tih sila trebaju biti jednaka ili manja od minimalnih garantiranih napreznja na savijanje svakoga kritičnog elementa opreme (npr. potpornog izolatora, sl. 5 i 6).

Seizmička ispitivanja obavljena u Institutu za zemljotresno inženjerstvo i inženjersku seizmologiju Univerziteta KIRIL I METODIJ u Skopju s prekidačima i rastavljačima visokog napona proizvodnje RADE KONČAR potvrđuju mogućnosti proizvođača da udovolje razmatranim zahtjevima [4], [5], [6].

## 5. ZAKLJUČAK

Na temelju provedene analize, nužna je modifikacija i dopuna dokumenta [2] JUGEL-a u sljedećim točkama:

- točka 2.2, dopuna načina definiranja seizmičke aktivnosti pojedinih lokacija,
- točka 3.4, dopuna s odgovarajućim dijagramima odzivnih ubrzanja,
- točka 3.6, modifikacija radi točnijeg definiranja simultanih opterećenja polova,

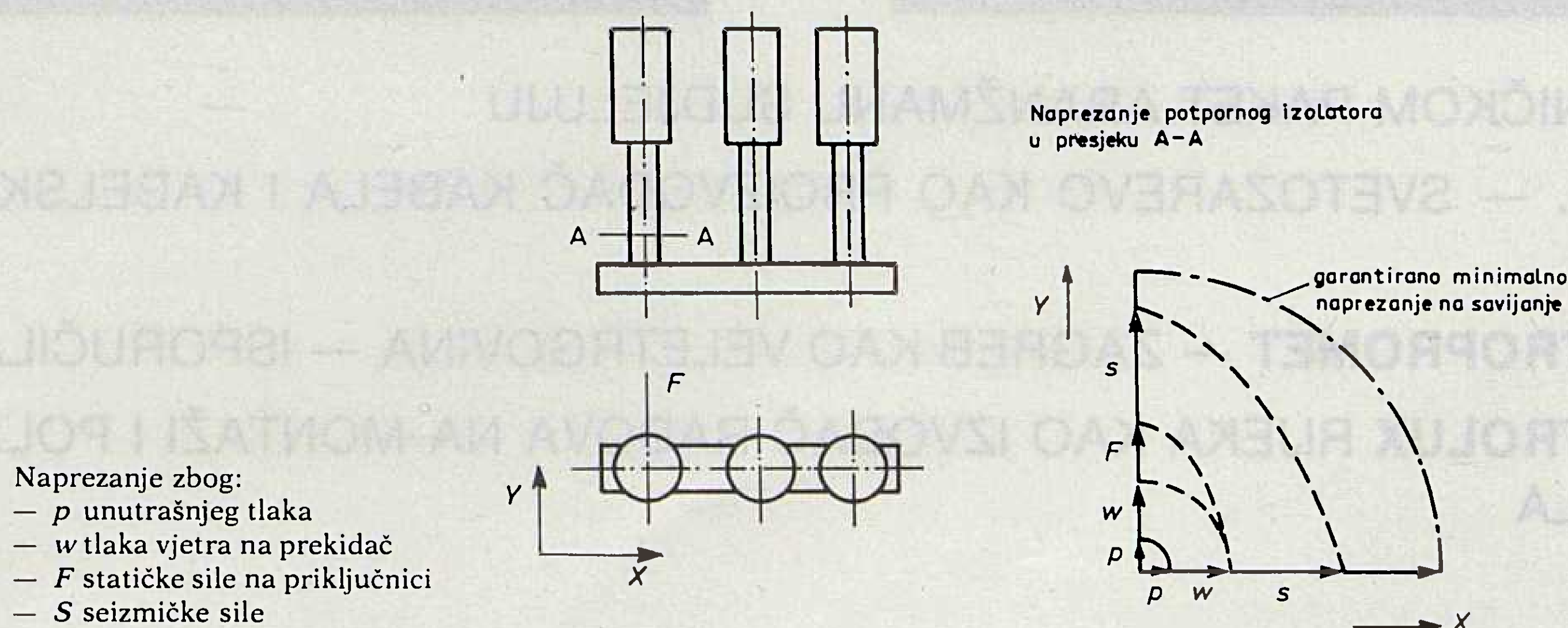


Slika 5. Prikaz napreznosti potpornog izolatora prekidača pri mehaničkom opterećenju polova: a) u slučaju kada se ne računa sa simultanim djelovanjem potresa, b) u slučaju kada se računa sa simultanim djelovanjem potresa

- d) točka 4.2.6, modifikacija pozivom na dijagrame odzivnih ubrzanja iz točke 3.4.  
 e) točka 4.3, dopuna tj. usklađivanje s točkom 3.6.  
 f) točke 5.4 i 5.5, modifikacija, tj. usklađivanje s točkom 3.6.

## LITERATURA

- [1] IEC 721-2-6 Edition 1986 — Earthquake vibrations and shocks  
 [2] JUGEL-GSE 43/83 — Osnovni uslovi za nabavku, ispitivanje i montažu elektroopreme i uređaja elektroenergetskih postrojenja sa stanovišta zemljotresa, Beograd, 1983.  
 [3] I. NAUMOVSKI, I. ŠTAHAN: Mehanička opterećenja polova sklopnih aparata visokog napona, KONČAR Stručne informacije 4, 1984.  
 [4] Izvještaj IZIIS 86-76 — Eksperimentalna seizmička i dinamička ispitivanja visokonaponskih prekidača tipa K3AS1 proizvodnje RADE KONČAR Zagreb, Skopje, 1986.  
 [5] Izvještaj IZIIS 86-112 — Eksperimentalno određivanje dinamičkih karakteristika visokonaponskog SF<sub>6</sub> prekidača K3AT3 — 420 kV proizvodnje RADE KONČAR Zagreb, Skopje, 1986.  
 [6] Izvještaj IZIIS 86-144 — Eksperimentalna seizmička i dinamička ispitivanja visokonaponskog rastavljača tipa Rvz 420-I proizvodnje RADE KONČAR Zagreb, Skopje, 1986.  
 [7] IEC 50A (Secretariat) 192, Draft Guide for Equipment. Seismic Testing Procedures, 1982.



Slika 6. Primjer kombinacije napreznosti na prekidaču visokog napona

**SEISMIC REQUIREMENTS FOR HIGH VOLTAGE EQUIPMENT**

In the article is suggested a modification of paper JUGEL GSE — 43/83 »Requirements for procurements, testing and erection of HV equipment in seismic conditions«. A suggestion is based IEC requirements and experience of »Elektrotehnički institut Rade Končar« and seismic institut »Univerzitet Kiril i Metodij« Skopje, on the seismic testing of HV circuit breakers and disconnect switches produced by »Rade Končar«.

**BEDINGUNGEN DIE EINE HOCHSPANNUNGSAUSRÜSTUNG BEI ERDBEBEN EINGALTEN SOLLTE**

Im Artikel wird ein Vorschlag zur Modifizierung und Erweiterung der Dokumente JUGEL GSE — 43/83 »Grundbedingungen für die Anschaffung, Überprüfung und Montage der Elektroausrüstung sowie der Einrichtungen der elektromagnetischen Anlagen bei Erdbeben« gegeben. Der Vorschlag gründet auf Angaben aus Dokumenten welche die internationale elektrotechnische Kommission IEC herausgegeben oder vorbereitet hat, sowie auf Erfahrungen des Elektrotechnischen Instituts Rade Koncar in Zusammenarbeit mit dem Institut für Erdbeben — Ingenieurung und die Ingenieur Seismologie der Universität Kiril und Metodije aus Skopje über seismische Untersuchungen der Schalter und Verteiler der Hochspannung, hergestellt von Rade Koncar.

**ТРЕБОВАНИЯ, КОТОРЫЕ ДОЛЖНО УДОВЛЕТВОРИТЬ ВЫСОКОВОЛЬТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ СОТЯСЕНИЙ**

В статье предлагается модификация и расширение документа ЮГЭЛ ГСЕ — 43/83 »Основные условия поставки, испытаний и монтажа электрооборудования и устройств электроэнергетических установок с точки зрения землетрясения«. Предложение базируется на сведениях из документов, изданных или подготовленных Международной электротехнической комиссией (ИЕС), а также на опыте Электротехнического института »Раде Кончар« в сотрудничестве с Институтом инженерства землетрясения и инженерной сейсмологии Университета »Кирилл и Методий« в г. Скопле о сейсмических испытаниях высоковольтных выключателей и разъединителей производства фирмы »Раде Кончар«.

Naslov pisca:

**Ivan Naumovski, dipl. inž.**  
**»Rade Končar« Elektrotehnički institut, 41000 Zagreb, Baštijanova bb, Jugoslavija**

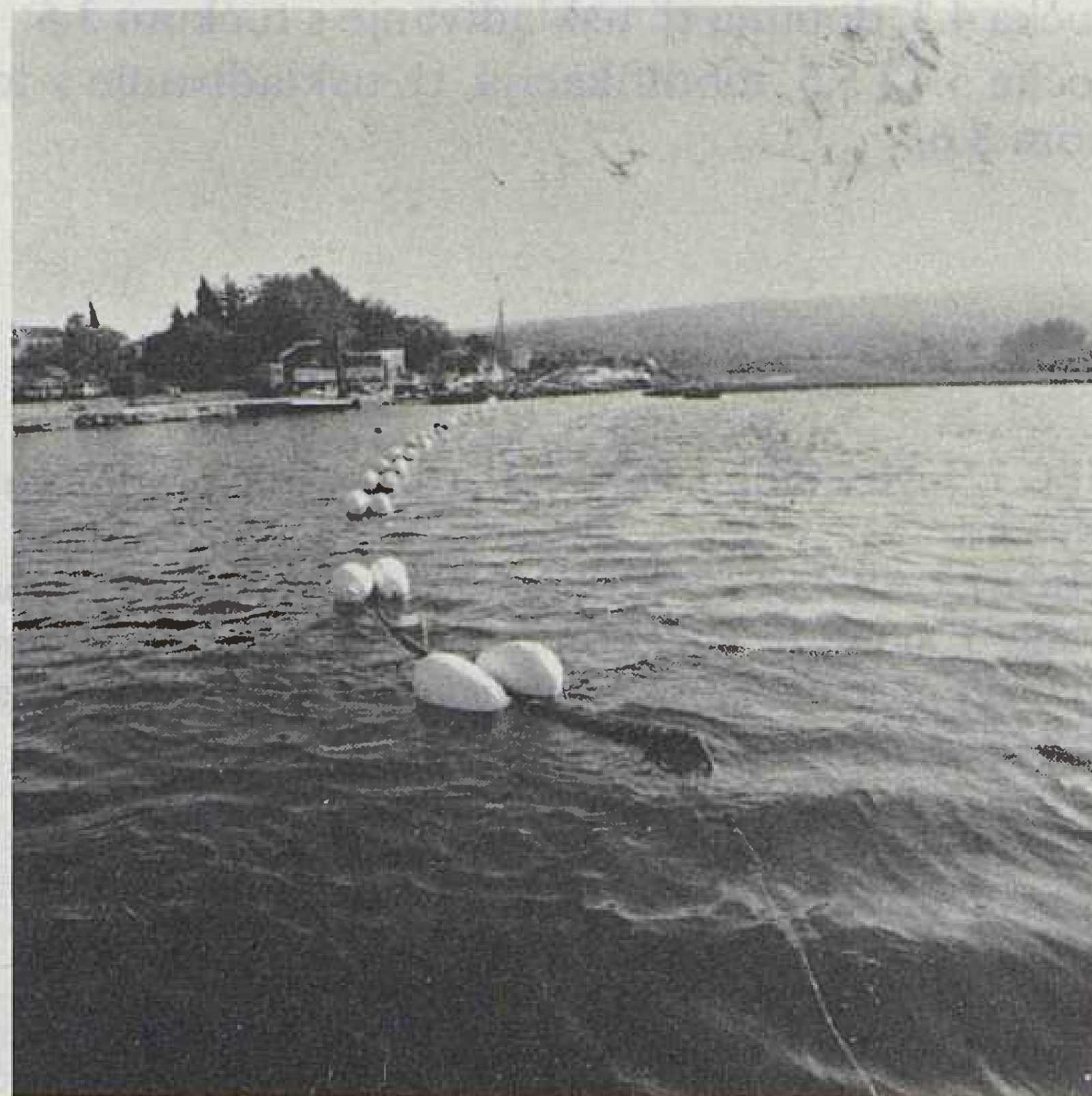
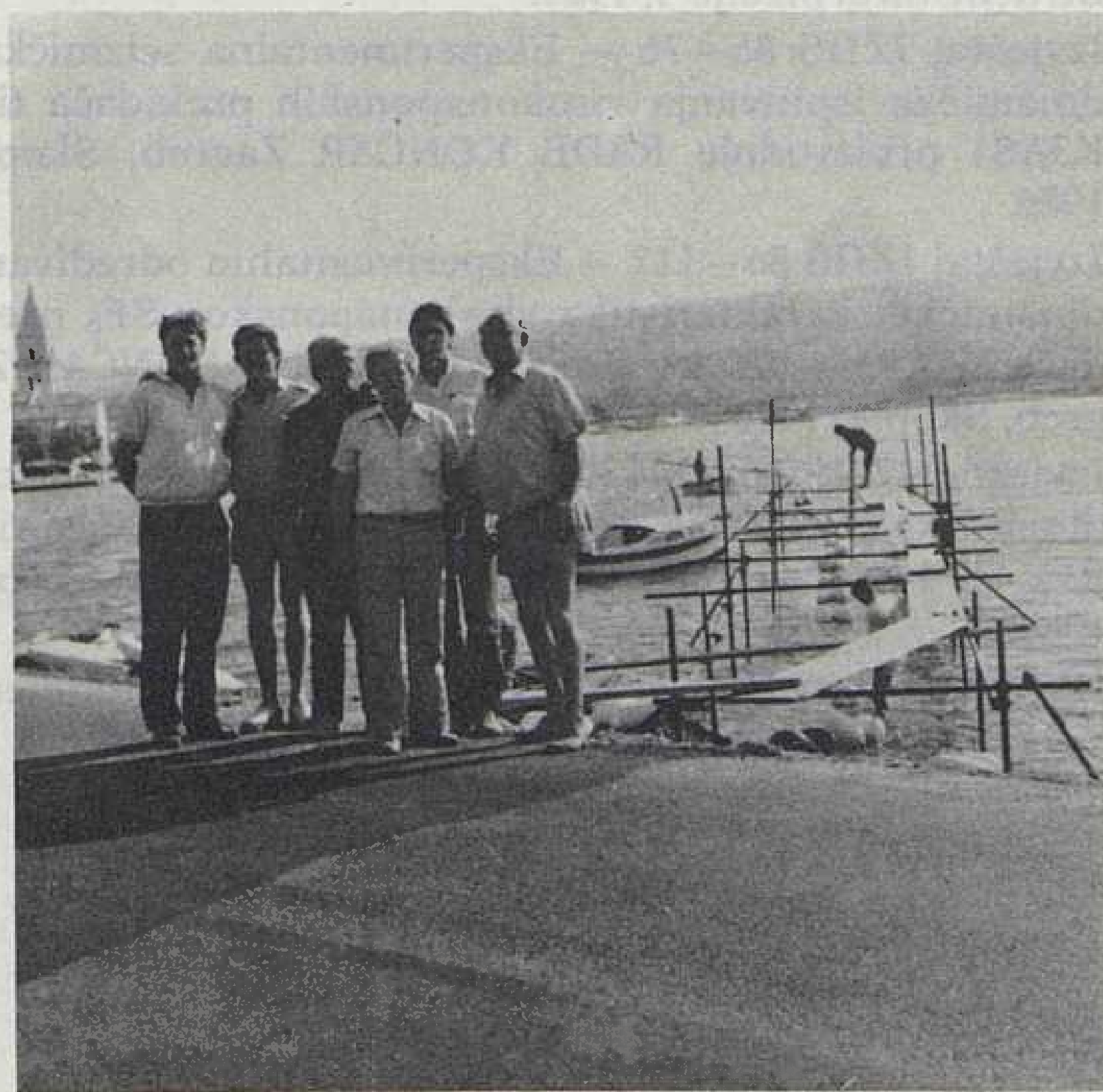
Uredništvo primilo rukopis:  
1987-11-22



**elektrolux - rijeka**

**ELEKTROTEHNIČKA RADNA ORGANIZACIJA**  
RIJEKA — ULICA ĐURE STRUGARA bb  
TELEGRAM: ELEKTROLUX — TELEFON: 516-333  
TELEX: 24374 YU ELUX

SVOJE POSLOVNE PARTNERE OBAVJEŠTAVAMO DA SMO SA »ELEKTROPRI-VREDOM« RIJEKA SKLOPILI UGOVOR NA MONTAŽI I POLAGANJU PODMORSKOG KABELA 110 KV NA LOKACIJI OSOR, POVEZIVANJE OTOKA CRES — LOŠINJ.



U ZAJEDNIČKOM PAKET-ARANŽMANU SUDJELUJU

- **I. K. S.** — SVETUZAREVO KAO PROIZVOĐAČ KABELA I KABELSKOG Pribora
- **ELEKTROPROMET** — ZAGREB KAO VELETRGOVINA — ISPORUČILAC
- **ELEKTROLUX RIJEKA** KAO IZVOĐAČ RADOVA NA MONTAŽI I POLAGANJU KABELA

**RO ELEKTROLUX**

# VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

## NOVOSAGRAĐENE ELEKTRANE U RADU

Krajem 1987. godine pušteno je u rad nekoliko novosagrađenih elektrana.

**HE Mostar** — U povodu Dana državnosti SR Bosne i Hercegovine i 40. godišnjice postojanja RO Hidroelektrana na Neretvi krajem studenog prošle godine puštena je u pogon HE Mostar, instalirane snage 75 MW, s mogućom prosječnom godišnjom proizvodnjom 310 GWh električne energije. Izgradnjom HE Mostar potpuno je zaokružen projekt »Srednja Neretva«. Ta hidroelektrana, odnosno njezina akumulacija, služiti će i kao kompenzacijski bazen susjednoj uzvodnoj HE Salakovac čime će toj hidroelektrani biti omogućeno povećanje proizvodnje za još 30 GWh i snage od 120 MW. Osim toga, HE Mostar imat će važnu ulogu u tehničkoj kontroli režima vode donjeg toka Neretve.

HE Mostar sagrađena je u planiranom roku, za četiri godine.

**HE Đerdap 2.** Završena je montaža planiranih osam agregata po 27 MW. Naknadno je postignut sporazum da se na jugoslavenskoj i rumunskoj strani postave po još dva agregata od 27 MW. Konačnim završetkom HE »Đerdap 2« imat će na svakoj strani po 10 agregata.

**Termoelektrana Drmno.** Dana 30. prosinca 1987. godine puštena je u rad prva faza novosagrađene TE Drmno, instalirane snage 350 MW i godišnje proizvodnje 1 300 GWh.

TE Drmno locirana je pri ušću Mlave u Dunav, blizu sela Drmno.

Investitori su Združena elektroenergetska preduzeća Srbije (ZEPS) i Elektrovojvodina. Proizvedena će se energija dijeliti popola.

U toku su radovi druge faze TE Drmno, čiji se završetak predviđa krajem 1988. godine, kad će biti pušten u rad još jedan blok snage 350 MW. Glavni projekt za termoelektranu izradili su stručnjaci Elektroprojekta iz Beograda. Kotlovski su uređaji uvezeni iz ČSSR, a turbine iz Poljske. Ostalu su opremu isporučili: Minel Beograd, »Rade Končar« i dr.

Istovremeno s izgradnjom termoelektrane otvoren je dnevni kop lignita. Njegova je toplotna vrijednost oko 1 800 kcal, a rudnik je udaljen od elektrane oko 2 kilometara. Istraživanja pokazuju da su rezerve lignita kod Drmna dovoljne za vijek trajanja elektrane i za potrebe novih agregata snage 300 — 600 MW. Od 1989. godine, otkad će proraditi oba generatora, dnevna će potrošnja ugljena u TE Drmno iznositi 20 000 tona.

I. R.

## OPREMA ZA KOTLOVNICU TE PLOMIN 2

Prema planovima iz investicionog programa i sklopljenom ugovoru Poslovne zajednice »INGRA«, kao generalnog isporučioća opreme i izvođača radova, radovi na objektu TE Plomin 2 kasne više od godinu dana.

Prošle su godine započeti glavni građevni radovi na gotovo svim objektima termoelektrane. Završen je iskop i betoniranje temelja u kotlovnici, strojarnici s bunkerskim prostorom i dimnjaka visokog 340 m. Usporena je isporuka opreme jer isporučioći ne poštuju ugovorene rokove. Problemi

se javljaju u osiguranju deviznog plaćanja prema dobavljačima.

Potkraj 1987. godine počeli su radovi na ugradnju opreme kotlovskeg postrojenja. Trenutno 250 montažera »Đure Đakovića« RO »Rijeka — gradnja« i drugih kolektiva ubrzano postavlja goleme čelične stupove čija će visina biti 110 metara i koji će držati kotao buduće termoelektrane. Dio čelične konstrukcije kotla isporučilo je poduzeće »Iskra« iz Kumanova.

Prema posljednjoj revalorizaciji, obavljenoj u studenom 1987. godine, koju je obavio Radnički savjet »Elektroprivrede« Rijeka, gradnja nove termoelektrane trebala bi koštati 296 milijardi dinara, ne računajući cijenu uređaja za odsumporavanje.

I. R.

## GRADNJA MALIH HIDROELEKTRANA U SLOVENIJI

U SR Sloveniji postoji veliko zanimanje za gradnju malih hidroelektrana. Za osnivanje tih objekata najzainteresiraniji su privatnici i zadruge. Dosad je u Sloveniji izdano više od 200 dozvola za gradnju mini i malih hidroelektrana, i to najviše u 1987. godini.

Za potrebe općenarodne obrane podignuto je 19, gradi se još 9 malih hidroelektrana. Investitori ostalih su privatnici. Oni viškove struje iz svojih minihidroelektrana prodaju elektroprivredi. Njih je 57 1987. godine preko javne mreže isporučilo društvenom sektoru oko četiri milijuna kilovatsati električne energije.

Na području SR Slovenije postoji mogućnost gradnje 4 000 malih hidroelektrana, jer su toliki energetske potencijali potoka i rječica.

Poznavaoći prilika u Sloveniji ističu da bi gradnja malih hidroelektrana bila brža kad ne bi bilo administrativno-tehničkog »barijera« i kad bi se privatnicima osigurali povoljniji krediti.

Osim toga, potrebno je razvijati kooperantske odnose između elektroprivrede i vlasnika malih elektrana te poticati stvaranje zadruga snage do 100 kW.

I. R.

## REVIZIJA IDEJNOG PROJEKTA HE VALIĆI

Revizijska komisija elektroprivrede Hrvatske prihvatila je idejni projekt gradnje HE Valići s akumulacijom Zoretići, koja će koristiti energetske vodotok Rječine. HE Valići s akumulacijom Zoretići bit će i hidroenergetski, i vodoopskrbni objekt.

Budući da je Rječina najveći vodotok na području Hrvatskog primorja i Istre, potrebe za pitkom vodom područja Opatije, Rijeke, Crikvenice i Krka rješavaju se iz najvećega i najbližeg vodotoka.

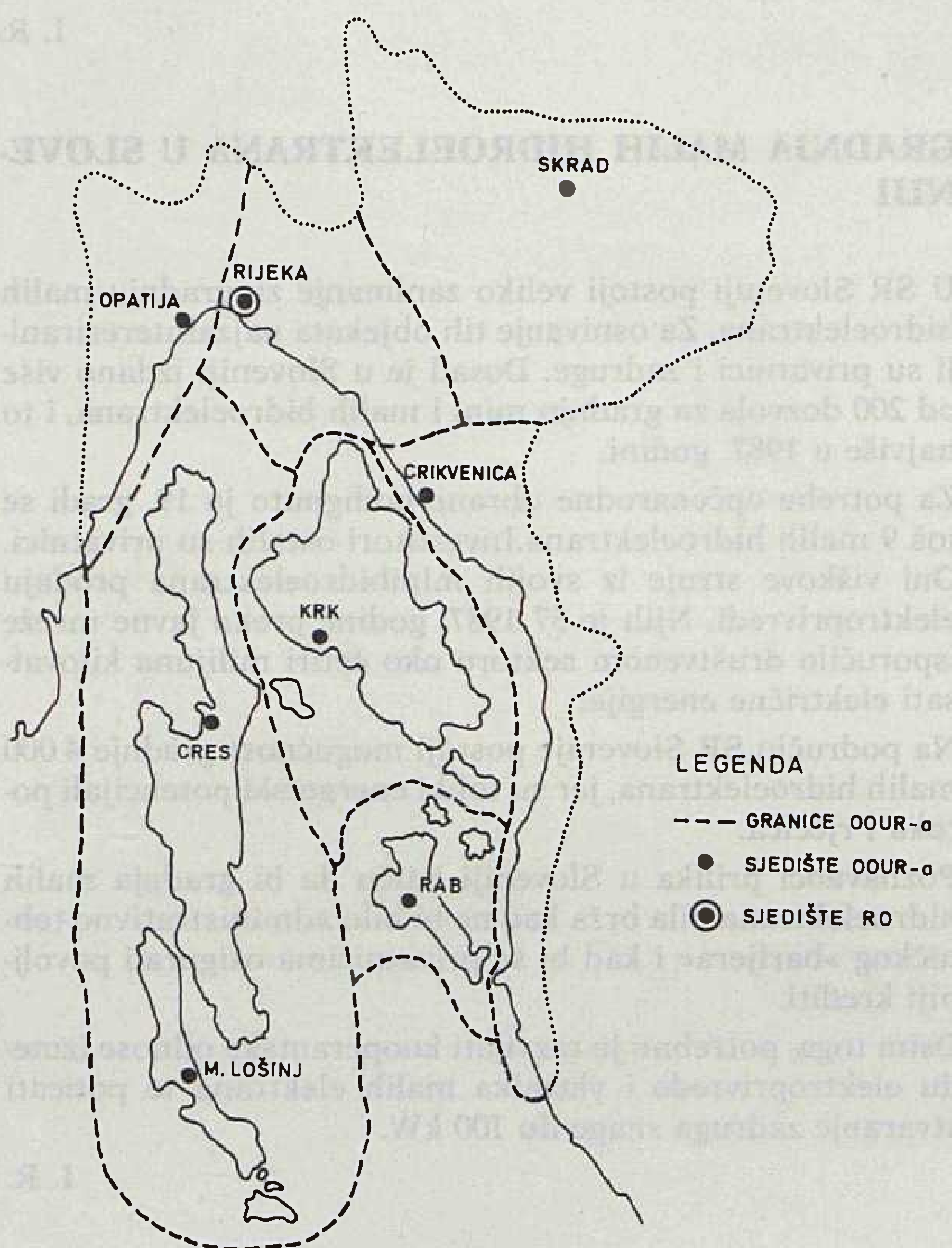
Godišnja proizvodnja električne energije HE Valići iznositi će 48,5 GWh, ali bi se zbog predviđene gradnje akumulacije Zoretići, s korisnim volumenom 15,5 hm<sup>3</sup>, povećala proizvodnja nizvodne postojeće hidroelektrane Rijeka za 23,15 GWh, pa da bi ukupni doprinos izgradnje HE Valići (s akumulacijom) iznosio 71,7 GWh.

Za opskrbu vodom općina Opatija, Crkvenica, Rijeka i Krk predviđeno je osigurati 1 300 litara u sekundi, što će se, zahvaljujući akumulaciji Zoretići, moći osigurati i u ljetnim mjesecima, kad Rječina presuši.

HE Valići jedan je od sedam hidroenergetskih objekata koji su projektirani u sklopu programa priprema objekata (1 200 GWh) za elektrane kontinuiteta za tekuće srednjoročno razdoblje.

Budući da je HE Valići treća po energetske-ekonomskoj vrijednosti u redosljedju izgradnje, logično je da će njezina gradnja početi s prvom grupom od sedam hidroelektrana, pogotovo stoga što je već zaključen samoupravni sporazum o sufinanciranju ostalih korisnika.

Glavni investitor, Elektroprivreda Rijeka, sklopio je samoupravni sporazum o sufinanciranju HE Valići, i to sa Republičkom vodoprivrednom zajednicom Zagreb i Samoupravnom interesnom zajednicom stambeno-komunalne djelatnosti Općine Rijeka u ime i u korist općine Opatija, Rijeka, Crkvenica i Krk.



Akumulacija Zoretići zaprema prostor od izvora Rječine do iznad sela Zoretići. Akumulacija će potopiti oko 92 hektara površine i selo Kukuljane.

HE Valići je derivacijsko tlačno postrojenje smješteno u gornjem dijelu dnevnog izravnavanja HE Rijeka ispod Lopače, a povezana s akumulacijom Zoretići dovodnim tunelom dugim 4 km, promjera 3,30 m. Strojarnica je djelomično smještena u koritu Rječine, uz samu obalu jezera Valići.

U strojarnici je agregat snage  $18 \text{ MW } \cos \varphi = 0,8$ , dimenzioniran za maksimalni protok od  $25 \text{ m}^3/\text{s}$ . Bez količine za opskrbu stanovništva vodom i bez ekološkog minimuma, uz prosječni srednjegodišnji protok Rječine  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ , godišnja će proizvodnja iznositi 48,5 GWh.

Iskorištenjem dosada neiskorištenih voda i preradom dijela tih voda kroz HE Rijeka, ukupna će se godišnja proizvodnja električne energije na Rječini povećavati sa dosadašnjih

100 GWh na 172 GWh. Osim toga, golema je vrijednost godišnje kontinuirane opskrbe vodom, naročito sigurnost u ljetnim mjesecima.

I. R.

## PLAN POVEĆANJA PROIZVODNJE PRIRODNOG PLINA U SR HRVATSKOJ

Jugoslavija ima prilično velike rezerve prirodnog plina. Najveći dio istražnih rezervi plina u SFRJ nalazi se na području SR Hrvatske.

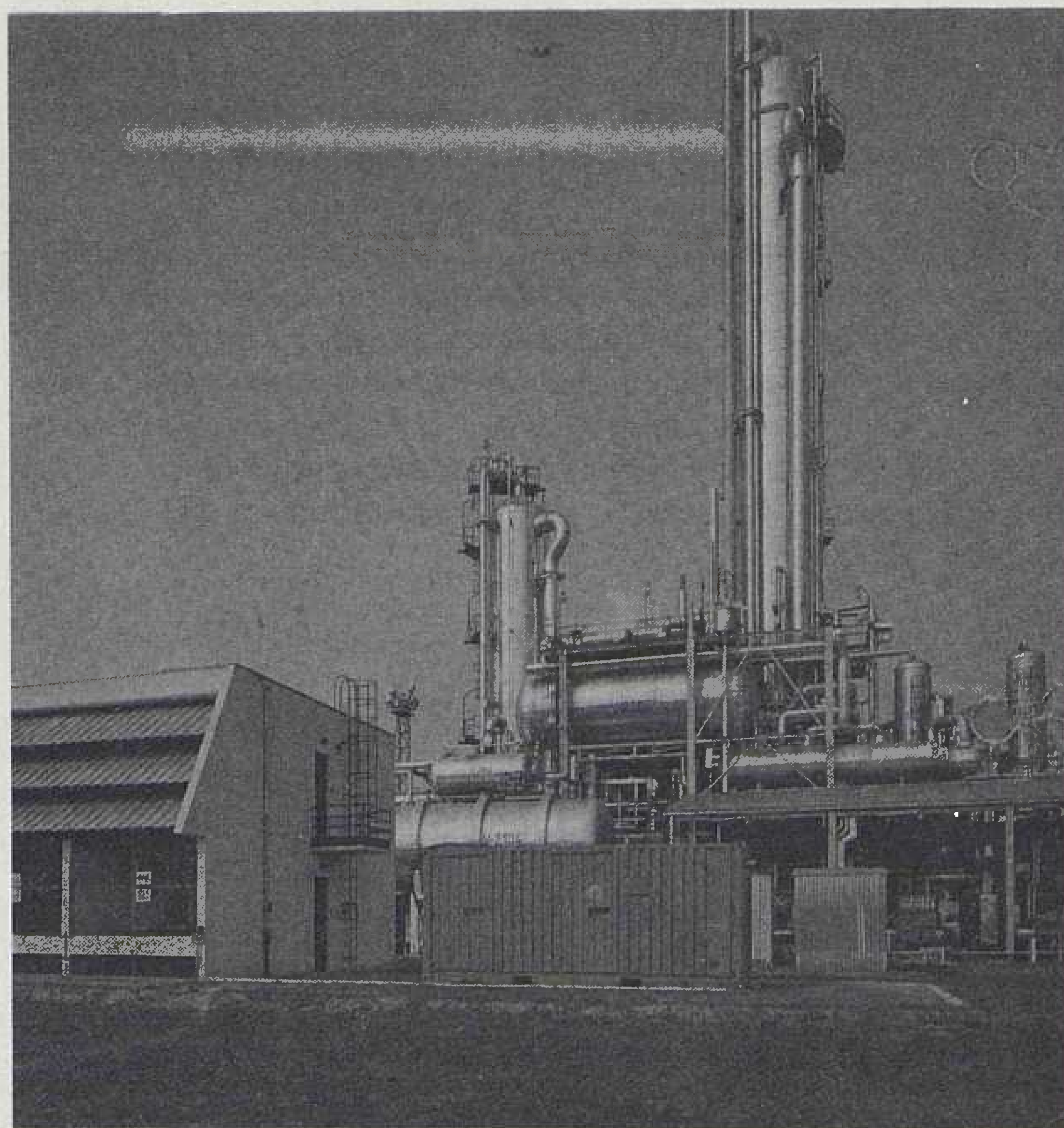
Bilančne rezerve prirodnog plina u SRH (podaci od 31. 12. 1983. iznose oko 76% rezervi SFRJ. Prema najnovijim istraživanjima na području SRH (podaci INA-e 31. 12. 1986), udio SRH u bilančnim rezervama SFRJ povećao se na 81%.

Dio tim istraživanjima utvrđenih potencijalno-perspektivnih rezervi u postupku je prevođenja u kategoriju otkrivenih geoloških rezervi uključenih u program proizvodnje plina do 2000. godine. U toku 1986. i 1987. godine pronađene su nove mogućnosti veće proizvodnje plina iz otkrivenih nalazišta u panonu.

Proizvodnja plina iz tih nalazišta u razdoblju 1986-1987. godine i nadalje, do 1989, raste po prosječnoj godišnjoj stopi od 7,5%. Od 1990. godine očekuje se veća proizvodnja plina također iz bazena sjevernog Jadrana. Uz planirani rast proizvodnje prirodni će plin postati najvažniji energetski oslonac SR Hrvatske.

### Rezultati istraživanja

Plan istraživanja plina grupiran je u tri programa: »Panonski bazen«, »Jadransko primorje« i »Dinaridi«. Najbolji rezultati ostvareni su u Panonskom bazenu, na poljima »Molve«, »Kalinovac« i »Stari Gradac«. Posljednji rezultati s tri spomenuta nalazišta upućuju na perspektivnost daljnjih istraživanja, ali na većim dubinama. Stručnjaci Svjetske banke ocjenjuju da je to područje perspektivno i kreditirat će istražne radove.



Plinska stanica Molve II

Jugoistočno od »Molvi« nalazi se plinsko-kondenzatno polje »Kalinovac«, koje je u fazi ispitne proizvodnje dalo izvanredne rezultate, tj. više od 200 milijuna m<sup>3</sup> plina i 11 500 tona nafte. Na Kalinovac se nastavlja također plinsko-kondenzatno ležište »Stari Gradac« za koje stručnjaci predviđaju da će od početka 1989. godine osim nafte dnevno davati i 150 000 m<sup>3</sup> plina, a u sljedećoj fazi dvostruko više.

Na sjevernom Jadranu komercijalna su nalazišta plina »Ivana« i »Ika«, te dva polja koja dijelimo s Talijanima. Upravo su u toku dogovori o završetku istraživanja i pripremi proizvodnje na jednome od njih.

Na još dva polja u Istri istražna faza još nije završena. Dosadnja istraživanja na ostalom dijelu Jadrana usmjerena na perspektivna područja i dublje slojeve. Bušotina kod Suska doseže projektiranu dubinu, a ona kod Visa otkrila je naftu, ali u malim količinama. Istraživanja srednjeg Jadrana provode se sa stranim partnerima, a u južnom Jadranu s domaćim naftnim poduzećima. Nedavno je određena lokacija kod Ulcinja i radovi će početi u ožujku 1988.

U području »Dinarida« u sadašnjem se srednjoročju planiraju istražni radovi i studija perspektivnosti. I taj će projekt podržati Svjetska banka.

### Graditi plinske stanice

U skladu s povećanom proizvodnjom plina u Panonskom bazenu valja riječiti i pitanje otpreme plina do potrošača.

Velika plinska polja »Molve«, »Kalinovac« i »Stari Gradac« te jedna »pretijesna« plinska stanica samo su djelomično međusobno povezani, a zbog više vrlo uvjerljivih razloga taj prostor od oko 300 četvornih kilometara trebao bi činiti jedinstveni sistem za proizvodnju, sabiranje i pripremu plina za potrošačku mrežu.

Stručnjaci INA-Naftaplina izradili su investicijski program za ostvarenje plana gradnje novih plinskih stanica i nazvali ga projektom »Podravina«. Realizacija projekta počela je početkom prošle godine. Za realizaciju projekta potrebno je 120 milijardi dinara i 60 milijuna dolara.

Prva faza realizacije programa počela je gradnjom plinske stanice »Kalinovac« i taj je sistem već pušten u rad. Slijedi gradnja ostalih satelitnih stanica uokolo postojeće jezgre »Molve 1« i »Molve 2«. Točnije, na »Kalinovcu« se grade još dvije plinske stanice, a po još jedna na polju »Stari Gradac« i »Molve«. Završna faza projekta »Podravina« označava kraj gradnje novog postrojenja za pripremu plina koji će se proizvoditi na sva tri podravska polja, tzv. »Molve 3«. Sabirno-transportni sistem za dvije će godine činiti gusta mreža cijevi za otpremu plina, kondenzata i vode. Zbog znatnog povećanja proizvodnje plina sagradit će se i 135 km magistralnog plinovoda na dionici Molve — Budrovac i Virovitica — Kutina. Tako će se spojiti magistralni plinovodi Podravine i Posavine. Cijelo to područje bit će pod kontrolom procesnih računara.

Upravljanje i neprekidno praćenje rada postrojenja i objekata za proizvodnju, sabiranje i pripremu plina za transport obavljat će se najsuvremenijim elektroničkim sistemom.

Opremanje sistema povjereno je stručnjacima »Rade Končara« i INA — Naftaplina. Taj su posao uspješno obavili i u novoj kalinovačkoj plinskoj stanici.

I. R.

### PRONAĐENA NAFTA KOD VISA

U studenome prošle godine istraživači zagrebačkog INA — Naftaplina, zajedno sa stranim partnerima, pronašli su na dubini većoj od pet tisuća metara u podmorju Jadrana, nedaleko od otoka Visa, na morskoj bušotini »Vlasta«, naftu. Otkriće nafte kod Visa potvrđuje mišljenje stručnjaka da u jadranskom podmorju ima nafte.

Otkriveno nalazište nafte kod Visa nije još dovoljno za komercijalno iskorištavanje pa je odlučeno da se nastave istraživanja. Treba istaknuti da INA-Naftaplin ima konkretne planove za nastavak istraživanja nafte i plina u južnom Jadranu i Dinaridima, zajedno s drugim domaćim i inozemnim partnerima koji pokazuju zanimanje za te poslove.

Valja spomenuti i uspješnu poslovnu suradnju s naftašima iz drugih krajeva zemlje, a vezana je za zajednički ekonomski interes. Tako se, među ostalim, zajednički financiraju istražni radovi u Crnogorskom primorju, a opaženo je i pojačano zanimanje stranaca za istraživanje Jadranskog podmorja. Naime, bušotina »Vlasta« kod Visa potvrdila je mišljenje naftaša da u podmorju ipak ima nafte, a dodatnim bi se bušenjem, kako se očekuje, morala naći i komercijalno zanimljiva nalazišta. Planirana su nova istraživanja kraj Dubrovnika i na području Kornata.

I. R.

### 40. GODIŠNJICA RADA I RAZVOJA RO ELEKTROPRIMORJE

Krajem 1987. godine RO Elektroprimorje na svečan je način proslavila 40. godišnjicu rada i razvoje.

Donosimo kratak prikaz razvoja i djelatnosti tog kolektiva. Do oslobođenja, 1945. godine, u Rijeci je postojalo općinsko poduzeće za proizvodnju i distribuciju električne energije s nazivom »Azienda Servizi Pubblici Municipalizzati«, koje je u svom sastavu imalo i termoelektranu u Vodovodnoj ulici. To je poduzeće djelovalo sve do 1947. godine. U isto je vrijeme u Sušaku postojalo poduzeće »Elektra«, koje je 1945. godine promijenilo naziv i postalo »Elpohtil«.

Rješenjem Vlade NRH od 6. kolovoza 1947. godine od ta dva poduzeća osnovano je novo poduzeće »Elektroprimorje«, koje je svojom djelatnošću obuhvatilo područje Hrvatskog primorja, Gorskog kotara i cijele Istre, osim Zone B. U njegovu je sastavu bila i TE Rijeka, HE Zeleni vir, te elektrane u Fužinama, Crikvenici i Ropcima, nedaleko od Drivenika. Djelatnost poduzeća bila je javna opskrba električnom energijom, izgradnja postrojenja potrebnih za tu opskrbu i proizvodnja električne energije.

Zbog glomaznosti poduzeća ono se 20. ožujka 1950. godine podijelilo. Za područje Istre osnovano je zasebno poduzeće »Elektroistra«, sa sjedištem u Puli. U djelatnosti Elektroprimorja ostalo je područje Hrvatskog primorja i Gorski kotar. Na tom području djeluju područni uredi u Rijeci, Skradu i Crikvenici.

Do 1955. godine Elektroprimorje posluje kao distributivno poduzeće, a tada se u njegov sastav ponovno uključuje elektrana Zeleni vir. Godine 1956. djelatnost poduzeća proširuje se na projektiranje distributivnih mreža do 35 kV napona. Pogon Opatija osnovan je 1957. godine. Iste je godine poduzeće proširilo svoju djelatnost na otok Krk, a 1961. i na otoke Cres, Lošinj i Rab, te dio senjskog područja. Područni su uredi zadržali svoj naziv i organizacijski oblik sve do 1962. godine, kad nastaju organizacijske promjene i počinje stvaranje ekonomskih jedinica.

Mnoge se radne jedinice nisu mogle dugo održati, pa se 1969. godine neke ekonomske jedinice spajaju. Godine 1973. ponovno počinju organizacijske promjene prema ustavnim načelima i Zakonu o udruženom radu. Radne jedinice postaju osnovne organizacije udruženog rada, i to: elektrodistribucije Rijeka, Skrad, Crikvenica, Opatije, Cres — Lošinj, Rab, te Radna zajednica zajedničkih poslova. Od pogona Krk, koji je prije bio u sastavu OOUR-a Crikvenica, 1978. godine osniva se OOUR Elektrodistribucija Krk, a od dijelova OOUR-a Elektrodistribucije i dijelova Radne zajednice osniva se OOUR Elektroprojekt, koji obavlja zajedničke tehničke poslove za sve OOUR-e.

Na razini RO 1984. godine razrađuje se samoupravna i tehnička organiziranost radi djelotvornijega i racionalnijeg poslovanja.

I. R.

## IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

### ELEKTRIČNA BROJILA ZA POJEDINE KUĆANSKE APARATE

U Švicarskoj se provodi pokus s prikladnim električnim brojilima pomoću kojih se može ustanoviti potrošak svakoga kućanskog električnog aparata. Oko 50 švicarskih elektroprivrednih poduzeća posudilo je svojim potrošačima takvo brojilo da bi mogli kontrolirati svoje potrošačke navike. Akcija se provodi pod motom »Pametni ljudi štede struju«. Pokaže li se da su potrošači prihvatili taj način kontrole trošenja, švicarski će elektroprivredni savjetodavni uredi dodatno naručiti takva brojila i besplatno ih posuđivati potrošačima. Inače, u slobodnoj prodaji košta oko 400 švicarskih franaka.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 86 (1987), br. 25

Mrk.

### NAJVEĆA NARUDŽBA SUPRAVODLJIVIH MAGNETA

Za proučavanje fizike čestica velike energije kraj Hamburga se gradi uređaj nazvan HERA (Hadron-Elektorn-Ring-Anlage). Za taj je uređaj od tvrtke BBC-Mannheim naručeno 215 supravodljivih dipolnih magneta, što je dosada najveća takva narudžba u svijetu (45 milijuna DM). Prvoj industrijskoj izradi takvih magneta prethodile su sedamgodišnje studije, pripreme i gradnja prototipa dugog 9 m. Naručeni magneti za HERA uređaj bit će dugi 9 m i 4,3 m. Ispitivanja prototipa bila su toliko uspješna da su za američki uređaj, koji se gradi u Brookhavenu kraj Washingtona, naručena četiri prototipa magneta. Nadalje, tvrtki BBC povjerene su studije za izradu magneta za veliki američki kružni akcelerator Super Collider, koji bi trebao imati promjer 96 m, a u njh bi moralo biti ugrađeno 2 000 do 4 000 suprovodljivih magneta vrijednih oko dvije milijarde dolara.

*ETZ*, god. 108 (1987), br. 12

Mrk.

### NAJVEĆA TERMOELEKTRANA LOŽENA TRESEATOM

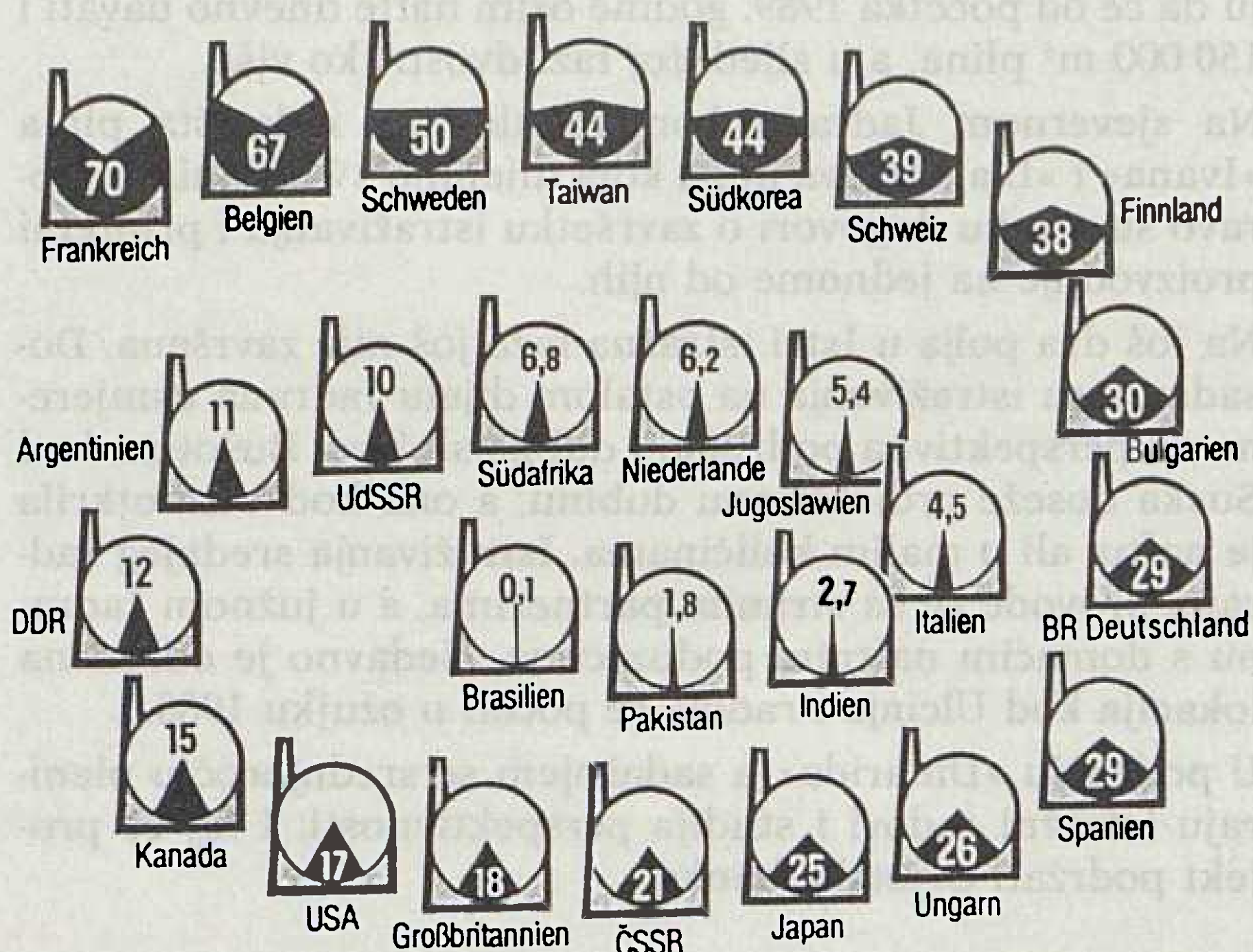
Najveća termoelektrana na svijetu ložena tresetom gradi se u Finskoj. To je elektrana Haapavesi, 120 km jugoistočno od mjesta Oulu, a imat će instaliranu snagu 170 MW. Početak rada predviđen je za kraj 1989. godine. Područje na kojemu je elektrana građena obiluje tresetom, jedinim gorivom kojim Finska raspolaže.

*ETZ*, god. 108 (1987), br. 13

Mrk.

### POSTOTAK PROIZVODNJE NUKLEARNIH ELEKTRANA U POJEDINIM ZEMLJAMA

U časopisu »Energie«, god. 39 (1987), br. 11 izišao je vrlo ilustrativan grafički prikaz zemalja u kojima određeni dio proizvedene električne energije daju nuklearne elektrane (slika). Simboli zemalja poredani su po padajućem postotnom udjelu električne energije proizvedene u nuklearnim elektranama, a složeni su u obliku spirale. Podaci se odnose



na 1986. godinu. Iz slike se vidi da samo četiri zemlje s nuklearkama iz njih dobivaju manji postotni dio električne energije nego Jugoslavija. Po energiji iz nuklearki prvo mjesto u svijetu pripada Francuskoj, sa 70% udjela.

Mrk.

### SVJETSKI KONGRES STRUČNJAKA ZA SOLARNU ENERGIJU U HAMBURGU

U Hamburgu je od 13. do 18. rujna 1987. održan kongres stručnjaka za iskorištenje solarne energije, na kojemu je bilo 1 600 sudionika iz cijelog svijeta. Na kongresu se obrađivalo sljedećih osam tema: energija vjetra, toplinske pumpe, solarna termika, fotovoltaička, energija u zemljama u razvoju. Organizator kongresa, ISES (Internation Solar Energy Society), i nadalje svake druge godine priprema takva zasjedanja na drugom kontinentu. Sljedeći će biti 1989. u Tokiju.

Na tom skupu sudjelovala je i industrija s odgovarajućim uređajima za iskorištenje izvora obnovljive energije. Njemačka je industrija već daleko odmakla po proizvodnji takvih uređaja, ali je zbog pada cijene nafte nastao određeni zastoj. Posebno su istaknute kombinirane jedinice: kotao za grijanje-toplotna pumpa-priprema tople vode za stambene zgrade. Izloženi su novi tipovi solarnih kolektora s vakuumskim cijevima, koji znatno povećavaju efekt sunčanog zračenja te velika parabolična zrcala za koncentraciju sunčanih zraka, čime se može grijati parni motor i proizvoditi električna energija. Nadalje, izložen je automobil na čijem su krovu ugrađene fotovoltaičke ćelije koje napajaju motor 40 W na 18 V za klimatizaciju automobila, zatim električna kuća čiji je krov popločen fotovoltaičkim ćelijama itd. O radu grupa koje su obrađivale navedene teme ukratko ćemo izvijestiti.

#### Energija vjetra

Premda je energija vjetra indirektan oblik energije Sunca, ta je tema na kongresu opširno obrađena. Predstavnici pojedinih zemalja izvještavali su o gradnji i radu vjetrenjača u njihovim zemljama. U SAD je u roku približno pet godina izgrađeno 15 000 elektrana na vjetar ukupne snage 1 400

MW. Predstavnicima zemalja u razvoju posebno su istakli samostalne elektrane na vjetar u kombinaciji s dizelskim elektranama. Iz diskusije se vidjelo da se tehnika iskorištenja vjetra širi po cijelom svijetu. Danas je ona samo donekle ekonomična, ali razvojni potencijal još nije ni približno dobro iskorišten.

### Toplinske pumpe

Solarna je toplina okoliša u umjerenim klimatskim područjima vrlo važan potencijal obnovljive energije. Danas je ipak najbolje upotrebljavaju zemlje bogate suncem, jer uređaji za klimatizaciju zimi mogu poslužiti kao toplinske pumpe za grijanje. Smatra se da je u svijetu instalirano oko 5 milijuna takvih kombiniranih uređaja, od čega samo u Japanu 3,3 milijuna. U SAD je gotovo 30% svih stambenih kuća opremljeno toplinskim pumpama. Procjenjuje se da je ukupna instalirana snaga takvih uređaja 50 000 MW. Prema tome, korištenje topline okoliša na drugom je mjestu, iza vodnih snaga, među regenerativnim energetske izvorima. Predviđa se da će se i u Evropi povećati upotreba toplinskih pumpi.

### Solarna termika

Bez obzira na pad cijena nafte i smanjenje državne potpore, priprema tople vode ostala je glavna primjena solarne termike. Računa se da danas ima 1 — 1,5 milijun takvih instalacija, uglavnom na privatnim kućama, no prema golemim mogućnostima, to je još uvijek zanemarivo. Još je manje takvih uređaja koji služe za grijanje zgrada. Smatra se da ih u svijetu ima oko 250 000. Danas se ta tehnika malogdje primjenjuje za industrijske svrhe. Na tom području postoje još vrlo velike mogućnosti. Postoje otpori ne samo zbogom ekonomske strane, već i zbog navika na konvencionalnu tehniku.

### Fotovoltaika

Toj je tehnici na kongresu pridana posebna velika pažnja. Svoja su izlaganja iznijeli naj eminentniji svjetski stručnjaci. Osvijetljeno je današnje stanje i najavljen budući razvoj.

U toj tehnici danas dominiraju ćelije od kristaliničnoga i amorfno silicija, premda se istražuju i drugi materijali, npr. Od Te ili Cn In Se<sub>2</sub>. Još je uvijek razlika u faktoru iskorištenja između laboratorijski i industrijski proizvedenih ćelija vrlo velika, što se vidi iz sljedećih podataka:

Izrada	Laboratorij	Industrija
kristalinični silicij	22%	11-15%
amorfni silicij	12%	6-8%

Područje upotrebe ćelija od amorfno silicija jesu male snage, npr. za pokretanje satova, džepnih računala itd. za dobivanje energije u obzir dolaze ćelije od kristaliničnog silicija. Procjenjuje se da godišnja snaga voltaičkih proizvoda u svijetu iznosi oko 20 MW.

Osim ispitivanja drugih materijala, istraživanja će se kretati u smjeru poboljšanja faktora iskoristivosti industrijski proizvedenih silicijskih ćelija.

### Solarna arhitektura (pasivna solarna energija)

Tom je temom obuhvaćeno korištenje sunčane energije određenim građevinskim zahvatima, što je davni cilj građevinarstva. U doba niske cijene nafte o tome se manje vodila briga, ali početkom sedamdesetih, naročito u SAD, ta se tehnika počela ponovno primjenjivati i razvijati. Tom važnom pitanju također je posvećena na kongresu puna pažnja, jer se 20% priloga odnosilo na ta pitanja, a raspravljale su se ove teme:

- zadatak i ponašanje pasivnih zgrada
- termički komfor u različitim klimatskim zonama
- optimalna primjena toplinske izolacije i pasivnog iskorištenja solarne energije
- novi i perspektivni pravci razvoja
- praksom potvrđene metode osnivanja i proračuna.

Osim energetske tema, pretreseno je i pitanje opterećenja okoliša, termičkog ugođaja, prirodne rasvjete i prihvaćanja nove tehnike. Za srednjoevropske je prilike dobra izolacija pretpostavka dobroga pasivnog korištenja Sunčeve energije. Novi građevinski materijali to i obećavaju. Zaključeno je da je pasivna upotreba sunčane energije svjetski uspješno prihvaćena i da ima velike mogućnosti razvoja.

### Energija biomase

Budući da je u biomasi akumulirana Sunčeva energija, i taj je izvor obuhvaćen na kongresu. U uvodnom predavanju upozoreno je da energija biomase iznosi 30% svjetskih potreba za energijom. Uglavnom je sadržana u otpadnom materijalu i nusproduktima gospodarenja šumom, prerade drveta i prehrambene industrije. Čak i vrlo industrijalizirane zemlje kao SAD u biomasi stvaraju velike količine energije. Evropa sada iskorištava samo 1% primarne energije iz tih izvora, no u seoskim područjima to doseže i do 50%. Procjenjuje se da bi energija iz biomase u Evropi krajem stoljeća mogla doseći 5 do 10%. Raspravljana je energetska vrijednost biljnih ulja u odnosu prema njihovu prehrambenom značenju, te prerada plodova koji sadrže šećer koji bi se mogao preraditi u etanol. Vrlo se korisnim pokazalo loženje slamom i otpacima. U Danskoj se npr. u 15 000 malih ložišta troše navedeni otpaci.

Tehnika upotrebe bioplina za pogon i grijanje u posljednje je vrijeme tehnički i ekonomski znatno uznapredovala.

Izložena je studija Tehničkog univerziteta iz Münchena o ekonomičnosti upotrebe biomase. Iz studije proizlazi da je njezino korištenje, uz današnje cijene nafte, samo u specijalnim prilikama ekonomično.

Mrk.

### Solarna energija u zemljama u razvoju

Energija Sunca mogla bi u zemljama u razvoju već u sljedećem desetljeću postati važan dio potrebne energije. Indijski je predstavnik iznio činjenicu da je u Indiji već danas instalirano 850 000 uređaja za bioplin, ima približno milijun jednostavnih solarnih kuhala, a u oko 800 indijskih mjesta ugrađeni su uređaji sa solarnim ćelijama. Smatra se da će Indija do 2001. godine iz obnovljivih izvora crpiti 20% potrebne energije. Izgradili bi se mali i vrlo mali energetske uređaji na bazi vjetra, biomase i topline Sunca.

*Energie*, god. 39 (1987), br. 11

Mrk.



## NOVE KNJIGE

Casal. F. G.

### SOLAR THERMAL POWER PLANTS

Izdavač: Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-London-Pariz-Tokyo 1987; 132 stranice, 83 slike, format 24 × 16.5 cm, tvrdo ukoričeno. Cijena: 98 DM

U toku 1979. godine sastavljena je radna grupa za razvoj malih solarnih energetske sistema. U njoj su radili stručnjaci iz nekoliko evropskih zemalja. Kao operativno tijelo imenovan je Njemački institut za svemirska istraživanja. Rezultat rada te organizacije bila je gradnja dviju termičkih solarnih elektrana različitih tipova kod Almerije, u jugoistočnoj Španjolskoj. Snaga svake elektrane bila je 500 kW. Jedan je tip CRS (Central receiver system), sa centralnim toplinskim prihvatnim sistemom, a drugi DSC (Distributed collector system), s raspodijeljenim kolektorima. Obje su elektrane bile eksperimentalne, a oba su rješenja uspoređena.

Knjiga se bavi detaljnim opisom tih dvaju solarnih termoelektrana i zapravo je sažeti materijal opisan u mnogim referatima i publikacijama. Nakon uvodnog dijela, koji su napisali redaktori i autor, slijedi šest poglavlja. U prvom je opisano izrada projekta i tok realizacije, a u drugom su izložene meteorološke prilike mjesta gdje su izgrađene elektrane. U trećem je poglavlju detaljno opisan CRS-sistem, a u četvrtom sistem DCS. Usporedbe obaju sistema, ekonomski aspekti i djelovanje na okoliš, obrađeni su u poglavlju 5. U posljednjem su poglavlju dani zaključci i smjernice za projektiranje i gradnju sličnih elektrana.

Na kraju knjige dan je abecedni popis pojmova iz tehnike termalne solarne konverzije i popis literature.

Prednost je te knjige to što su na razmjerno malom prostoru sustavno i pregledno dani vrlo vrijedni podaci o solarnim termoelektranama nužni za njihovo projektiranje.

Mrk.

Doležal R.

### SIMULATION OF LARGE STATE VARIATIONS IN STEAM POWER PLANTS

Izdavač: Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-London-Pariz-Tokyo 1987; 110 stranica, 62 slike, format 24 × 16,5 cm, broširano. Cijena: 38 DM

U knjizi je izložena metoda simulacije rada i velikih promjena stanja u termičkim sistemima elektrana. Model je izrađen u Institutu za tehnologiju univerziteta u Stuttgartu. Uspješno je primijenjen pri analizama promjena stanja u uređajima za proizvodnju pare, npr. pri stavljanju u pogon, zaustavljanju, smetanjem i kvarovima. Parni je sistem raščlanjen u podsisteme s različitim parametrima i tako analiziran. U obradi modela posebna je pažnja pridana izmjenjivačima topline i rekuperatorima. Svrha je simulacije optimalno upravljanje toplinskim procesima, čime se postiže ušteda u toplini i kondenzatu.

Knjiga je podijeljena na tri dijela. U prvom je dijelu prikazan matematski izvod nelinearnog, vremenski promjenjivog modela rada sistema za proizvodnju pare. U drugom je dijelu razvijeni matematski model prilagođen kompjutorskom računanju, pa su prikazani i odgovarajući dijagrami toka. Treći je pak dio posvećen modeliranju velikih promjena stanja u termičkom dijelu termoelektrane.

Iznesen je i primjer praktične primjene tog modela u radu nekih termoelektrana u Njemačkoj u kojima su na taj način postignute znatne uštede. Izneseni prikaz simuliranja stanja termičkoga energetske sistema sigurno može biti vrlo koristan za proučavanje optimizacije njegova rada, ponajprije pri promjeni pogonskih prilika.

Mrk.

IZDAVAČI

Godište 37 (1988)

Zagreb 1988

Br. 3

Zajednica elektroprivrednih  
organizacija Hrvatske  
Institut za elektroprivredu, Zagreb  
SIZ za znanstveni rad Hrvatske

## SADRŽAJ

Konferencija za novinare u Zajednici elektroprivrednih organizacija Hrvatske (ZEOH) . . . . .	195
<i>Popović D.</i> : Prilozi metodici studijskih analiza statičke sigurnosti elektroenergetskih sistema (Originalni znanstveni rad) . . . . .	197
<i>Pešut D.</i> — <i>Topić J.</i> : Analiza potrošnje energije u Jugoslaviji i SR Hrvatskoj (Prethodno saopćenje) . . . . .	209
<i>Nevečerel D.</i> : Programski sustav RIMA za proračun kratkog spoja u elektroenergetskim mrežama (Pregledni rad) . . . . .	221
<i>Kandžija V.</i> : Nuklearna energija u energetskej politici Evropske zajednice (Pregledni rad) . . . . .	231
<i>Begović K.</i> : Izbor tipa proizvodnih grupa za VS Đurđevac (Stručni rad) . . . . .	239
<i>Jugovac M.</i> : Izveštaj o havariji na nadzemnim vodovima RO »Elektroprimorje« Rijeka u siječnju 1987. godine (Stručni rad) . . . . .	245
<i>Torma L.</i> — <i>Stančić M.</i> : Korištenje mjerenja tlaka u uljnome mjernom transformatoru za kontrolu nivoa ulja, tlaka, signalizaciju njihova stanja i zaštitu mjernog transformatora (Stručni rad) . . . . .	255
<b>Vijesti iz elektroprivrede</b> . . . . .	259
<b>Iz strane stručne literature</b> . . . . .	263
<b>Nove knjige</b> . . . . .	267
<b>Oglasi</b> . . . . .	269

## IZDAVAČKI SAVJET

Dr Ivo *Hrs*, dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Zagreb —  
Josip *Antić*, dipl. inž., »Elektroprimorje« Rijeka — Anđelko  
*Modrčin*, dipl. inž., »Elektroprivreda« Rijeka — Anđelko  
*Dujmović*, dipl. inž., »Elektroslavonija« Osijek — Dragutin  
*Stanić*, dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Split — mr  
Damir *Subašić*, dipl. ecc., Republički komitet za energetiku  
— Zdenka *Jelić*, prof., Institut za elektroprivredu, Zagreb —  
Mladen *Zeljko*, dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Zagreb

## UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: dr Zorko *Cvetković*, dipl. inž.

Urednik: Zdenka *Jelić*, prof.

Urednici rubrika: »Energetski sistemi«, Nikola *Bilčar*, dipl. inž. — »Hidroelektrane«, Krunoslav *Begović*, dipl. inž. — »Termoelektrane i Toplane«, Mladen *Nadinić*, dipl. inž. — Prijenos električne energije, Zdenko *Tonković*, dipl. inž., Zagreb — »Razvod, distribucija i potrošnja električne energije«, Josip *Antić* i Mladen *Ježić*, dipl. inž., — »Ekonomika elektroprivrednih poduzeća, ekonomskofinancijska i tarifna pitanja, te ekonomika poslovanja«, dr Jure *Šimović*, dipl. oec. i *Željko Vodopija*, dipl. oec. — Tehnički urednik: Branko *Mališ* — Lektor: Vladimir *Strojny*, prof. — Metrološka recenzija: Mladen *Zeljko*, dipl. inž.

Časopis je oslobođen plaćanja poreza na promet rješenjem Republičkog sekretarijata za prosvjetu, kulturu i fizičku kulturu SR Hrvatske broj 886/1-1979.

## Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica Proleterskih brigada 37

Pošt. pretinac 293, telefoni 511-455, 513-822 (328)

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 6000 dinara, a za poduzeća i ustanove 24000 dinara (za studente 3000) dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 4000.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

Institut za elektroprivredu (za »Energiju«) broj 30101-603-565

Tisak i klišej: RO »Zrinski« TIZ, Čakovec

# ENERGETIKA

Sulzer-inženjering i ostale usluge zasnivaju se na širokoj ponudi strojeva i dijelova opreme za proizvodnju, pretvorbu i raspodjelu energije.

Evo nekoliko podataka:

## Parni kotlovi i izmjenjivači topline

Više jednocjevnih parnih kotlova za pet termoelektrana u Jugoslaviji.

## Dizel motori

Dizel-električna centrala sa četiri Sulzer-motora (65 MWe) u Abu Dhabi.

## Plinske turbine

20 MW plinska turbina za I.C.I., Velika Britanija. Naš koncept plinskih turbina za industriju ukazuje na nove putove.

## Proizvodnja električne i toplinske energije

① Kombinirana električna centrala s plinsko/parnim turbinama u Maleziji.  
Gorivo: zemni plin na licu mjesta.

## Toplinske pumpe

② Sulzer-velika toplinska pumpa (7100 KW) za daljinsko grijanje u Kiel-u. Postrojenje je stavljeno u pogon 1986. To je najveće postrojenje te vrste u Saveznoj Republici Njemačkoj.

## Vodne turbine

③ Jedan od Escher Wyss-Pelton-ovih rotora za električnu centralu Cat Arm, Kanada, s jediničnim učinkom 70 MW i s visinskom razlikom 386 m.

## Komponente za nuklearne elektrane

④ Završni radovi u jednoj od švicarskih nuklearnih centrala.

## Ventili

⑤ Visokotlačni sigurnosni ventili za termocentralu.

## Pumpe

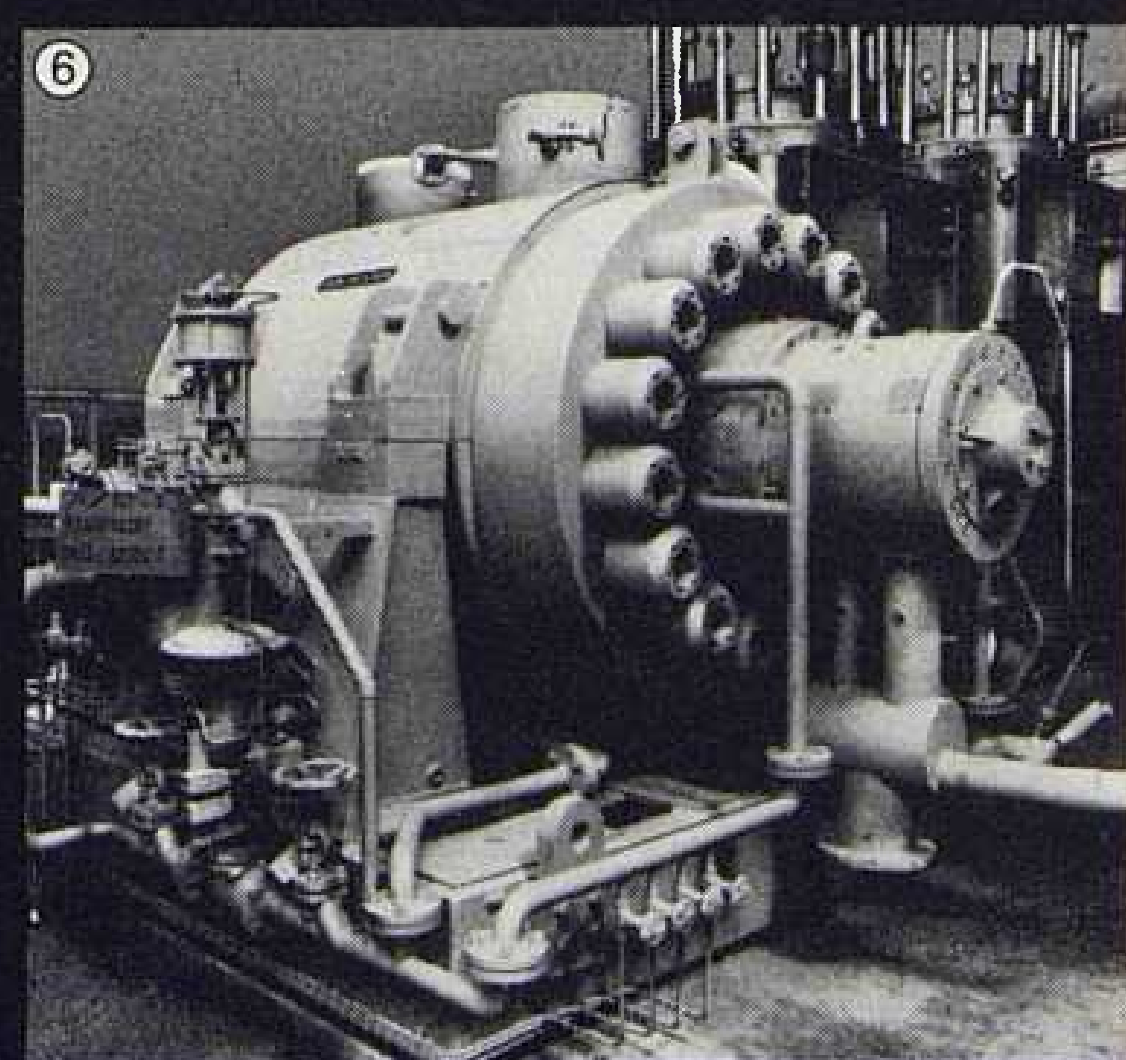
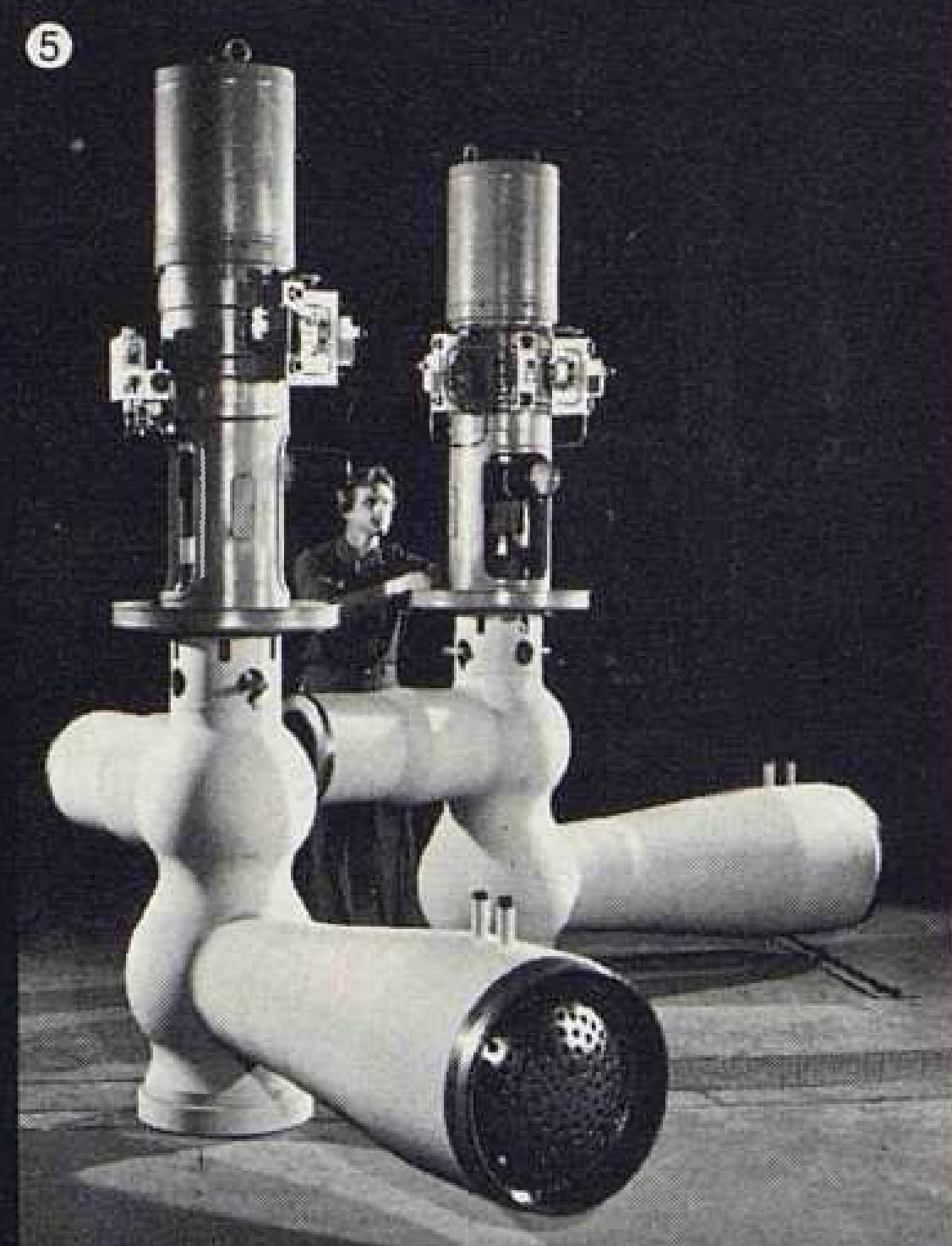
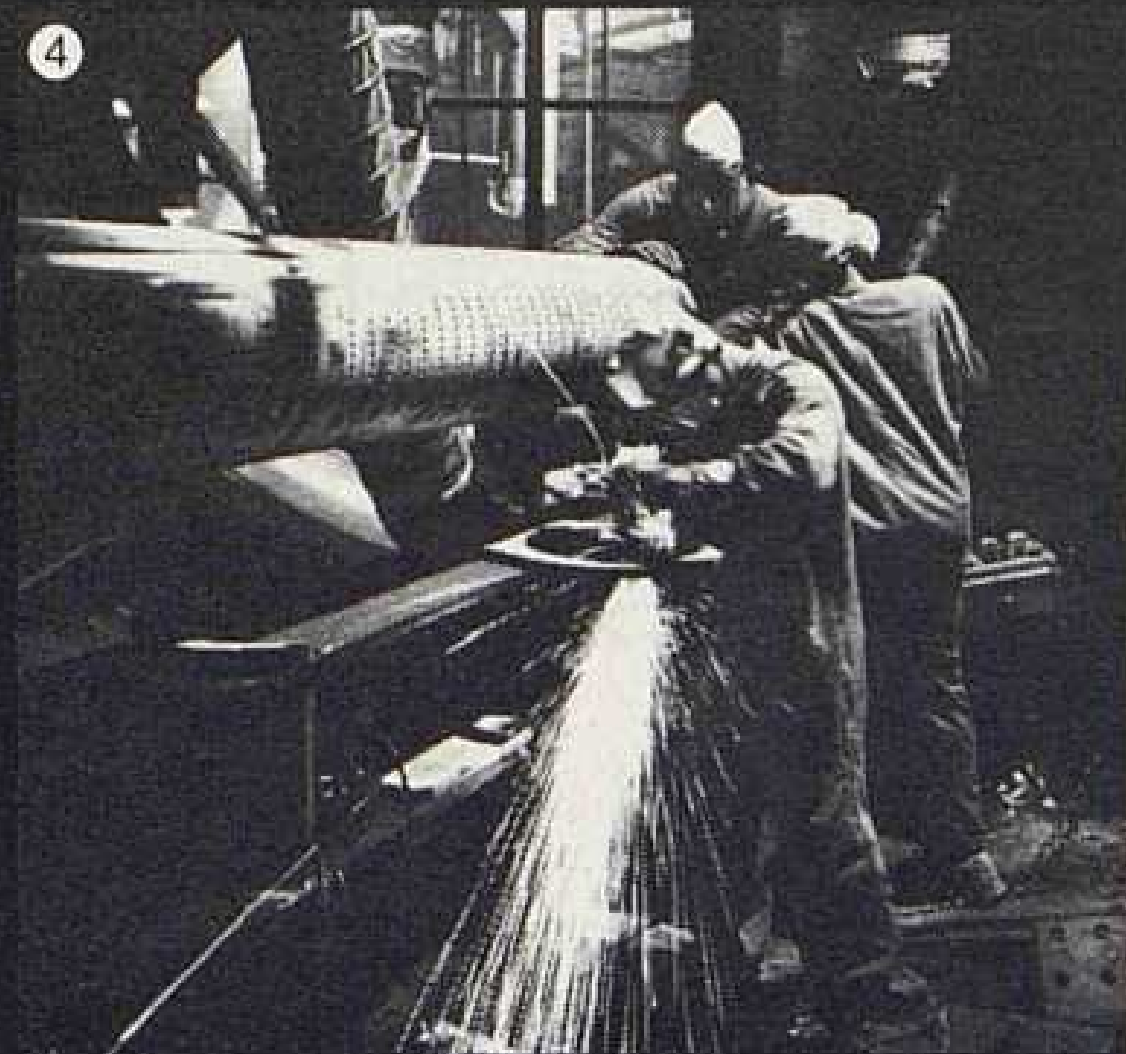
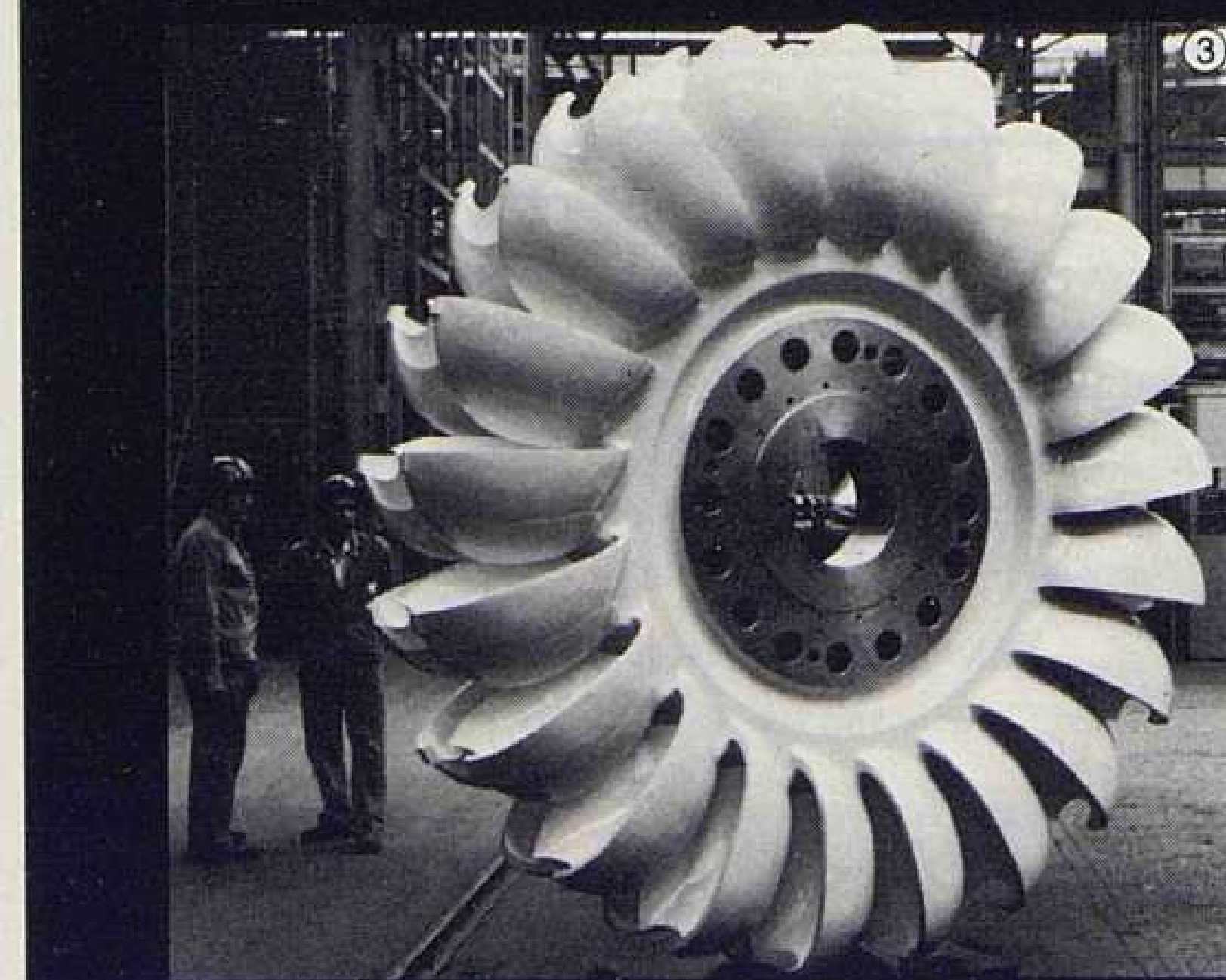
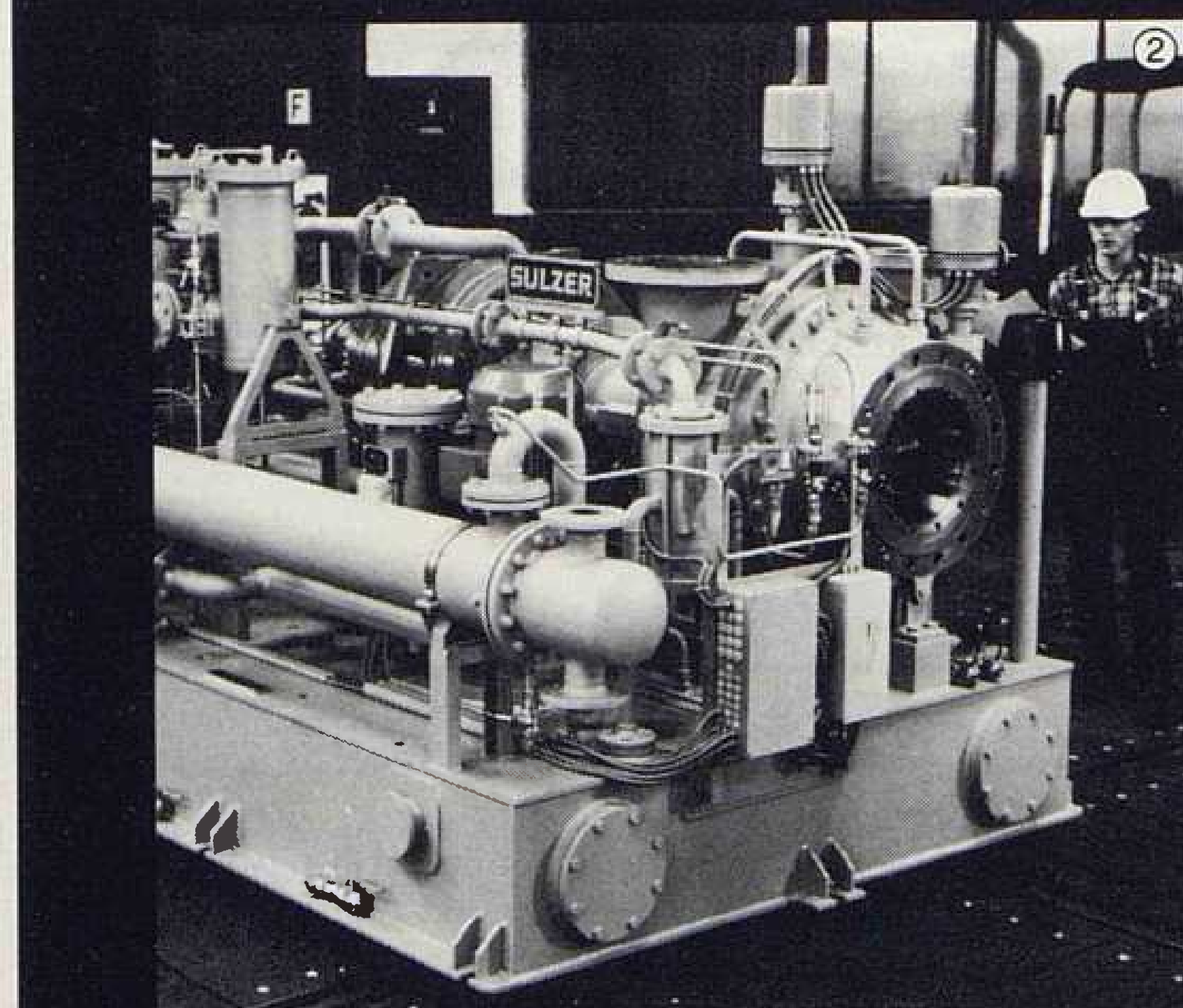
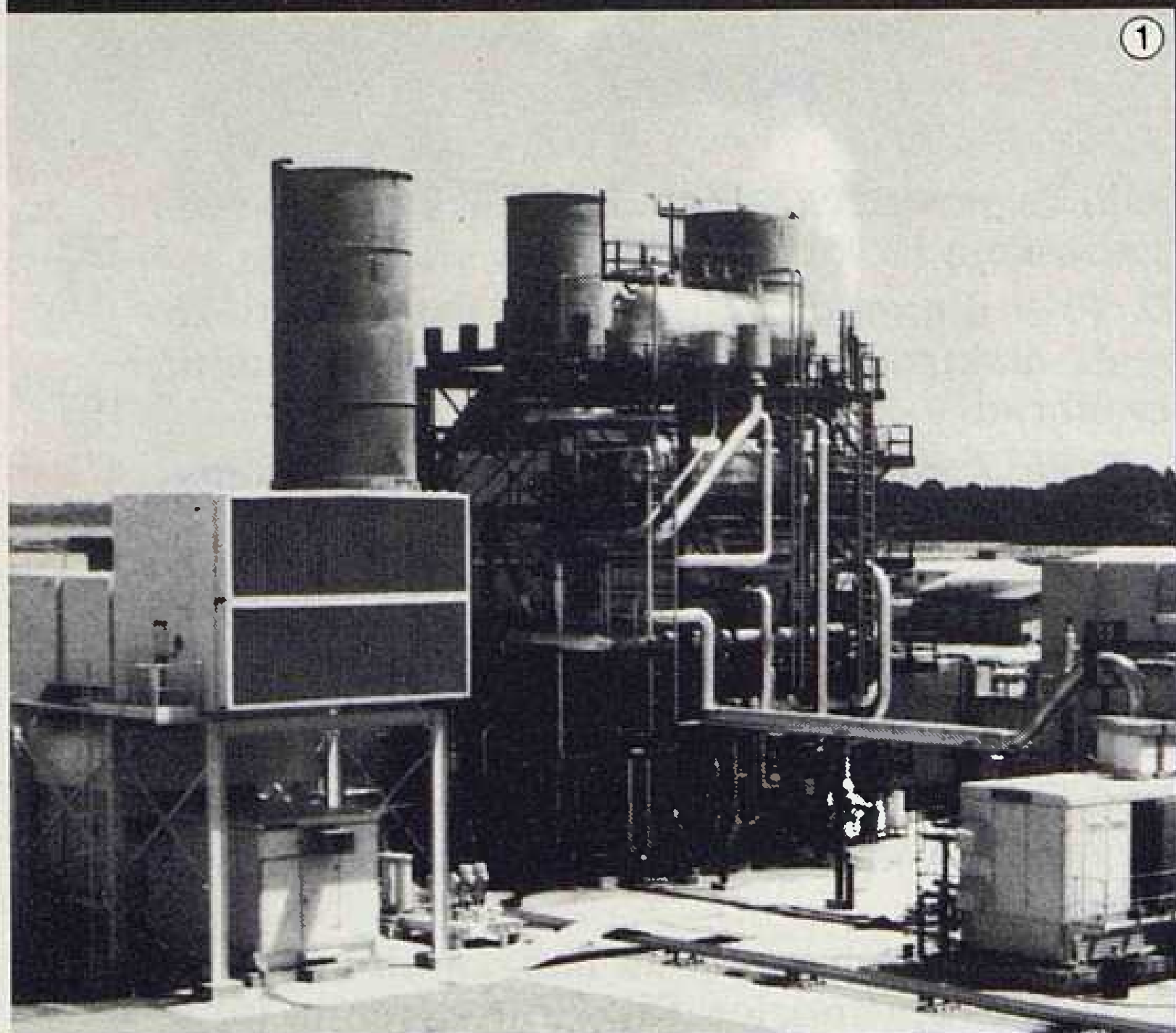
⑥ Kotlovska napojna pumpa za 600 MW-termoelektranu u Nizozemskoj.

## Sistemi za upravljanje i reguliranje

Preko 200 elektronskih sistema regulira rad turbina u hidrocentralama širom svijeta.

# SULZER®

Gebrüder Sulzer Aktiengesellschaft  
8401 Winterthur  
Telefon 052-81 11 22  
Telex 896 060



## KONFERENCIJA ZA NOVINARE U ZAJEDNICI ELEKTROPRIVREDNIH ORGANIZACIJA HRVATSKE (ZEOH)

U ponedjeljak 28. ožujka 1988. predsjednik Poslovnog odbora Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske (ZEOH) sa svojim suradnicima održao je konferenciju za novinare.

Osnovne teme konferencije bile su:

1. Opskrba potrošača električnom energijom u 1987. i 1988. godini,
2. Ekonomsko-financijsko stanje elektroprivrede,
3. Problemi razvoja elektroenergetskog sistema SR Hrvatske.

Kraći izvještaj predstavnika ZEOH o spomenutim temama naglasio je osnovnu problematiku i dao nužne elemente za postavljanje pitanja. Sažeto, taj je izvještaj sadržavao sljedeće:

Ad. 1) U 1987. godini podmirene su sve potrebe potrošača električne energije. Ukupni je iznos bio 14 770 GWh ili 2,1 % više nego u 1986. godini.

Predviđena je ukupna potrošnja u 1988. godini od 15 805 GWh ili 4,31 % više nego u 1987. godini.

U elektroenergetskoj bilanci SR Hrvatske za 1988. predviđen je manjak od 1 287 GWh koji treba uvesti iz inozemstva ili izvanplanski nabaviti u zemlji.

Osnovni uvjet za ostvarenje takve elektroenergetske bilance jest osiguranje tekućega goriva prema količini i dinamici — ukupno 660 000 tona lož-ulja.

Ad. 2) Pozitivan rezultat elektroprivrede SRH u 1987. godini nakon višegodišnjih gubitaka ponajprije je rezultat uklanjanja dispariteta cijene električne energije prema općoj razini cijena i, napose, cijena energenata, što je u studenome prošle godine rezultiralo povećanjem cijene za 69,4%.

Postojali su izgledi da se pozitivni rezultat poslovanja elektroprivrede ostvari i u 1988. god. no onisu umanjeni činjenicama da se u prvim mjesecima 1988. godine znatno povećala inflacija, naročito zbog povećanja cijene mazuta za 20 % krajem veljače ove godine.

Zato se radi zadržavanja pariteta cijene električne energije a u skladu s Rezolucijom, očekuje produženje naplaćivanja više cijene i nakon prvog travnja ili neki drugi način dogovorenog održavanja pariteta, o čemu će se odlučiti na nivou JUGEL-a i SIV-a.

Ad. 3 Sabor SRH odbacio je 1987. god. Program razvoja energetike Jugoslavije koju je izradio SIV, uz naglašenu činjenicu da je od svih republika i pokrajina Hrvatske najzainteresiranija da se donese prihvatljiv Program.

Međutim, razlog za odbacivanje predloženog programa je manjak realnog i ostvarivog programa razvoja koji bi sagledavao zadovoljenje potreba potrošača u Hrvatskoj. Program, naime, naznačava sporna pitanja, ali ne predlaže njihova rjašenja. U čemu je bit problema?

Na bazi prihvaćenih Osnova dugoročnog razvoja energetike koje je prihvatio Sabor SRH, uzevši u obzir nedostatak resursa i primarnih izvora, elektroprivreda Hrvatske se opredijelila za četiri pravca razvoja:

- iskorištenje preostalog hidropotencijala
- izgradnju termoelektrana na područjima republika i pokrajina koje imaju resurse
- izgradnju nuklearnih elektrana
- izgradnju termoelektrana na uvozni ugljen.

To su četiri ravnopravna programaf raznih energetskeg potencijala koji će se realizirati u skladu s potrebama i mogućnostima.

Pritome treba spomenuti neke činjenice.

S obzirom na preostali hidropotencijal, riječ je o velikom broju malih elektrana sa skromnom proizvodnjom, po pravilu s višenamjenskom svrhom i praćenih mnogim problemima koji mogu biti kočnice realizacije.

Pri izgradnji termoelektrana u drugim republikama i pokrajinama nastao je kompletan zastoj zbog različitih interesa i stavova onih koji imaju resurse i onih koji se njima trebaju koristiti. Nema izgleda da se ti nesporazumi riješe unutar same elektroprivrede.

Stavovi o nuklearnom programu odavno su jasni. Elektroprivreda Hrvatske smatra da je to dugoročna potreba Jugoslavije, jer nakon 2000. god. neće postojati alternativni izvor energije koji bi je zamijenio. Do 2000. god moguće su supstitucije te energije, naravno, ako se riješe problemi vezani za izgradnju termoelektrana u drugim republikama i pokrajinama.

Izgradnja termoelektrana na uvozni ugljen na području Dalmacije vrlo je prihvatljiva alternativa s punim energetskeg-ekonomskim opravdanjem. Ona je, međutim, opterećena teškoćama u nalaženju povoljnih lokacija. Nužan je stručan i strpljiv pristup da se iskoriste energetskeg resursi obale, a da se ne ugrozi njezin osnovni turistički razvoj.



**Konferencija za novinare u ZEOH-u još jednom je pokazala da novinari nemaju sluha za probleme Elektroprivrede. Bez dovoljno stručnosti i u ime »brige za potrošače«, uglavnom napadaju Elektroprivredu i tako skupljaju poene popularnosti.**

**U isto vrijeme cijena plinu mirno raste. Bez bombastičnih naslova i zabrinutosti za potrošače. (Z. J.)**

### **Pitanja i odgovori**

- Na čemu se temelji mišljenje o potrebi novog povišenja cijene ili produženja zimske cijene odnosno koliki je trenutni disparitet cijena?  
*Trenutni disparitet cijena iznosi oko 44%, a nastao je daljom inflacijom, pogotovo povišenjem cijena mazuta od 20% krajem veljače. Elektroprivreda traži samo dosljednu primjenu dogovora, tj. aktualizaciju cijene dva puta godišnje.*
- Što je dogovoreno za osiguranje mazuta?  
*Predloženo je da se u bilanci republike i JUGEL-a odnosno zemlje osigura 860 milijuna tona mazuta. U tom je smislu predložen ugovor INA — Trgovini. Danas je, međutim, neusuglašena garancija i dinamika isporuke s obzirom na bilancu zemlje i predvidivi rad rafinerija. Problem je u tome što je elektroprivreda među prioritetima na vrlo niskome mjestu.*
- Postoji li mogućnost da se u dogledno vrijeme u elektranama koristi plin, npr. za TE Urinj i TE Plomin?  
*U ovom je trenutku teško odgovoriti na to pitanje jer INA nije razradila svoju ponudu tako da se iz nje mogu sagledati energijske i ekonomske karakteristike upotrebe plina u spomenutim elektranama.*
- Što je s izgradnjom TE Plomin II i što je s uređajima za odsumporavanje?  
*Izgradnja kasni dvije godine, uglavnom zbog neorganiziranosti INGRE i problema s osiguranjem nužnih deviza za uvoz repromaterijala koje je morala osigurati INGRA. Izabrana je tehnologija mokrog postupka za odsumporavanje dimnih plinova i trenutno se radi tender.*
- Kako su po specifičnim investicijskim troškovima svrstana četiri smjera razvoja?  
*Nesumnjivo su najskuplje hidroelektrane, a najjeftinije termoelektrane na uvozno gorivo. Nuklearne elektrane i termoelektrane u ostalim republikama i pokrajinama nalaze se između njih. U ovom je momentu definirana jedino cijena nuklearnih elektrana, a cijena termoelektrana (s rudnicima) mijenja se ovisno o lokaciji.*
- U programu se ne spominje 400 kV-tna mreža usprkos njezinim velikim mogućnostima da premosti nepoznanice o rokovima realizacije novih izvora, ali i odstupanja potrošnje od planiranog rasta. Kako se gleda na to?  
*Mreža nije spominjana posebno jer ona se, naravno, uklapa u svaki scenarij, tj. čini njegov sastavni dio. Ozbiljno se razmatraju mogućnosti uvoza iz mreže UCPTTE i iz mreže OES — SEV.*

Konferencija je završila zaključkom da se takav način informiranja uvede kao stalna praksa i višeput godišnje.

# PRILOZI METODICI STUDIJSKIH ANALIZA STATIČKE SIGURNOSTI ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA

Dr. Dragan Popović, Beograd

UDK 621.311.1.005

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U članku se izlaže efikasna metodologija za studijske analize statičke sigurnosti elektroenergetskih sistema. U odnosu prema dosadašnjim prilazima, izvršena je odgovarajuća dopuna modela tokova snaga u karakterističnim postdinamičkim kvazistacionarnim stanjima. Uvažavajući fizička svojstva tretiranih fenomena, razvijeni su brzi raspregnuti postupci njihova sukcesivnog rešavanja. Svojstva razvijene metodologije utvrđivana su na primerima elektroenergetskog sistema Jugoslavije.

**Ključne reči:** metodologija, statička sigurnost, tokovi snaga, postdinamička stanja.

## 1. UVOD

Jedan od najznačajnijih problema savremenih elektroenergetskih sistema (EES) jeste obezbeđivanje potrebnog nivoa sigurnosti rada. Pritom se zahteva blagovremeno sagledavanje mera i postupaka da bi stanje EES i dalje ostalo u tolerantnim granicama nakon nastanka jednostrukih ili višestrukih poremećaja. Taj je problem posebno zaoštren zbog činjenice da savremeni EES, usled značajnog povećanja troškova izgradnje svojih elemenata, u prvom redu izvora, nisu više u stanju da obezbeđuju onaj nivo sigurnosti koji je bio moguć u prošlosti. O svemu tome svedoče slučajevi delimičnih i totalnih »raspada« niza EES poslednje dve decenije, slučajevi koji nisu mimošli ni EES Jugoslavije, a čije su posledice poznate široj javnosti.

Analize sigurnosti, metodološki gledano, dele se na dve osnovne grupe: statičke i dinamičke [1]. Druga grupa obuhvata period kratkotrajne, brze dinamike (što odgovara konvencionalnim analizama tranzijentne stabilnosti) s trajanjem i do 10 s, period dinamike srednjeg trajanja, od 10 do 1 min, i najzad, period dugotrajne, spore dinamike, koja traje i do 20 min.

Posledice tretiranih poremećaja u analizama statičke sigurnosti [1] utvrđuju se na bazi procene postdinamičkih kvazistacionarnih stanja. Praktično je reč o modelima tokova snaga u koje se inkorporiraju efekti systemske automatike i regulacije, kao i odgovarajuće nelinearne zavisnosti karakterističnih veličina. Ti modeli, dakle, samo impliciraju neki dinamički prelazni proces koji se neminovno javlja nakon nastanka poremećaja, a bave se samo više ili manje tačnom procenom novoga kvazistacionarnog stanja.

Analize statičke sigurnosti po svom se karakteru razvrstavaju na dve osnovne kategorije.

U prvu kategoriju pripadaju tzv. studijske analize statičke sigurnosti, odnosno analize koje se vrše u

procesu pripreme pogona, kada se prioritet daje potrebnoj tačnosti procene posledica tretiranih poremećaja, naravno, nikako ne zanemarujući aspekte racionalnosti, efikasnosti i brzine. Takve »off-line« analize sastavni su deo programske podrške za operativno planiranje pogona (OPS), tehničkog sistema upravljanja (TSU) EES, a baziraju se na odgovarajućim modelima tokova snaga karakterističnih postdinamičkih kvazistacionarnih stanja [3-9], nastalih kao posledica tretiranih poremećaja. Inače, u dosadašnjoj jugoslovenskoj praksi studijske su analize statičke sigurnosti vršene samo za potrebe planiranja izgradnje prenosne mreže.

U drugu kategoriju spadaju »on-line« analize statičke sigurnosti, odnosno analize u tzv. proširenome realnom vremenu, kada se, s obzirom na predominantan zahtev neophodne brzine, ide na uprošćene modele za procenu posledica poremećaja, npr. [13-15]. Te su analize sastavni deo programske podrške TSU za analitičke funkcije u realnom vremenu (proširenome), dakle čine sastavni deo RTS (korištene su skraćenice koje se upotrebljavaju u nas).

Ovaj rad, zajedno sa radovima [19, 20], prezentira deo rezultata istraživanja izvršenih u studiji [24]. On se bavi studijskim analizama statičke sigurnosti EES, dakle, slučajem kada se posledice tretiranih jednostrukih ili višestrukih simultanih poremećaja sagledavaju na bazi određivanja tokova snaga u karakterističnim postdinamičkim kvazistacionarnim stanjima EES (stanja nastala pod dejstvom primarne regulacije napona i učestanosti, a zatim stanja nastala pod dejstvom dispečerskih akcija, ako su bile neophodne, i kasnijeg dejstva sistema automatske sekundarne regulacije učestanosti i snaga razmene).

Evidentni nedostaci klasičnih modela tokova snaga [2, 10, 11] (osnovni nedostaci - nevažavanje efekata regulacije učestanosti i snaga razmene, kao i nevažavanje odgovarajućih zavisnosti snaga potrošača od

napona i učestanosti) usloveli su pojavu i prodor novih prilaza [3, 4, 5, 6, 7 i 8], koji su na pogodan način eliminisali pomenute nedostatke. Fundamentalna ideja o inkorporiranju efekata promene učestanosti i systemske automatike u model tokova snaga izložena je u [3]. Formirani je model zatim rešavan primenom klasične Newton-Raphsonove metode [10], naravno, modifikovane za uslove tretiranih postdinamičkih stanja, što je urađeno i u radovima [6, 7], za formirane modele tokova snaga povezanih EES.

Pomenuti radovi [3, 4, 5, 6, 7 i 8], kao i radovi [9, 12], inspirisali su autora ovog rada da praktično izvrši dalja potrebna poboljšanja samih modela tokova snaga radi što tačnije procene pomenutih postdinamičkih stanja EES, a da se sve to postigne brzom i efikasnom tehnikom njihova rešavanja, sa minimalnim zahtevima za operativnom memorijom računara.

Poboljšanja modela tokova snaga karakterističnih postdinamičkih kvazistacionarnih stanja sastoje se u sledećem:

- tretiranje ograničenja po aktivnoj i reaktivnoj snazi generatora kao odgovarajućih zavisnosti od relevantnih varijabli modela tokova snaga [9, 12], za razliku od dosadašnjih prilaza u kojima su ta ograničenja imala unapred zadate, konstantne vrednosti. Praktično, reč je o uvažavanju tzv. prirodne momentno-brzinske karakteristike turbine, pri čemu nema efekata njene regulacije, odnosno kada aktivna snaga nema konstantnu vrednost. Reč je takođe i o uvažavanju činjenice da je stvarno fizičko ograničenje struja rotora, kojoj odgovara niz mogućih vrednosti reaktivnih snaga generatora;
- uvažavanje statičkih karakteristika napon — reaktivna snaga generatora proizašlih iz uvedenog zakona regulacije pobude (ravnomerna raspodela reaktivnog opterećenja među agregatima elektra), za razliku od dosadašnjih prilaza u kojima je napon na krajevima generatora imao konstantnu vrednost (iz polaznog režima), dok to dozvoljava mogućnosti pobudnog sistema.

Za tako dopunjene matematičke modele tokova snaga karakterističnih postdinamičkih kvazistacionarnih stanja, uvažavajući »fizička svojstva« tretiranih fenomena, razvijeni su brzi raspregnuti postupci rešavanja koji asociraju na poznati Stott-Alsacov postupak [11] razvijen za potrebe konvencionalnih tokova snaga.

Nadalje, izvršena je racionalizacija algoritma realizacije razvijene metodologije. Postignuto je to da se sve tri faze procesa računanja (efekti dejstva primarne regulacije napona i učestanosti, dejstva neophodnih dispečerskih akcija i dejstva sekundarne regulacije učestanosti i snaga razmene) obavljaju sukcesivno, sa jedinstvenim brzim raspregnutim postupkom, sa minimalnim modifikacijama i dopunama, u zavisnosti od karaktera postdinamičkog stanja EES koje se tretira.

Materijalizaciju metodologije studijskih analiza statičke sigurnosti EES predstavlja prototipni računarski

program STATIC, razvijen u Institutu »Nikola Tesla«, a prva iskustva njegove praktične primene sticana su pri analizama statičke sigurnosti EES Jugoslavije. Razvijena je procedura ispoljila veliku efikasnost i u tretiranju najtežih poremećaja (ispada niza velikih izvora, ispada vrlo opterećenih magistralnih vodova), što će na pogodan način biti prikazano u završnom poglavlju.

## 2. LISTA UPOTREBLJENIH OZNAKA

- |                                     |                                                                                                                                                                   |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $N$                                 | — ukupan broj, odnosno oznaka skupa svih čvorova EES;                                                                                                             |
| $NG$                                | — ukupan broj, odnosno skup generatorskih čvorova;                                                                                                                |
| $NSR$                               | — ukupan broj, odnosno skup generatora koji učestvuju u sekundarnoj regulaciji učestanosti i snaga razmene;                                                       |
| $NPRN$                              | — ukupan broj, odnosno skup generatora koji imaju statičku karakteristiku napon — reaktivna snaga;                                                                |
| $M$                                 | — broj, odnosno skup pod-sistema (bazena) u zajedničkom paralelnom radu;                                                                                          |
| $f_r = f/f_n$                       | — relativna vrednost učestanosti $f$ u odnosu prema nominalnoj vrednosti $f_n$ ;                                                                                  |
| $\Delta f = f - f_n$                | — odstupanje učestanosti interkonekcije $f$ od nominalne vrednosti $f_n$ (Hz);                                                                                    |
| $s_i$                               | — statizam primarne regulacije učestanosti »i«-toga generatora (%);                                                                                               |
| $P_{Gni}$                           | — nominalna aktivna snaga »i«-toga generatora (MW);                                                                                                               |
| $k_{pi}$                            | — konstanta primarne regulacije učestanosti »i«-toga generatora (-MW/Hz) čiji je izraz $k_{pi} = -P_{Gni} 100 / (s_i f_n)$ ;                                      |
| $P_{Goi}$                           | — aktivna snaga »i«-toga generatora u polaznome ustaljenom stanju (MW);                                                                                           |
| $V_i, \delta_i$                     | — modul i ugao fazora napona čvora »i«, $V_i$ (crtica ispod slova označava fazorsku (kompleksnu) veličinu);                                                       |
| $\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j$ | — razlika uglova fazora $V_i$ i $V_j$ ;                                                                                                                           |
| $k_{si}^j$                          | — koeficijent participacije »i«-toga generatora u sekundarnoj regulaciji »j«-tog podsistema (važi relacija $\sum_{i \in NSR} k_{si}^j = 1; j = 1, 2, \dots, M$ ); |
| $P_{Li}, Q_{Li}$                    | — aktivna i reaktivna snaga potrošača u čvoru »i« (MW), odnosno (Mvar);                                                                                           |
| $P_{Loi}, Q_{Loi}$                  | — aktivna i reaktivna snaga potrošača u polaznome ustaljenom stanju za $V_i = V_{oi}$ i $f = f_n$ ;                                                               |
| $p_{2i}, q_{2i}$                    | — deo ukupne aktivne, odnosno reaktivne snage potrošača proporcionalan $N_{1i}$ -tom odnosno $N_{2i}$ -tom stepenu napona (u relativnim jedinicama);              |

- $P_{3i}, Q_{3i}$  — deo ukupne aktivne, odnosno reaktivne snage potrošača koji ima karakter konstantne impedanse (u relativnim jedinicama);
- $Y_{ij}$  — modul admitanse  $Y_{ij} = G_{ij} + jB_{ij}$ ;
- $\mu_{ij}$  — komplementarni ugao impedanse  $Z_{ij} = 1/Y_{ij}$
- $G_{ij}, B_{ij}$  — konduktansa i susceptansa elementa »i-j«.

### 3. MATEMATIČKI MODELI RASPODELE NAPONA I TOKOVA SNAGA U KARAKTERISTIČNIM POSTDINAMIČKIM KVAZISTACIONARNIM STANJIMA INTERKONEKTIVNIH EES

#### 3.1. Matematički model generatora

Aktivna snaga generatora pod dejstvom primarne regulacije učestanosti ima oblik:

$$P_{Gi} = P_{Goi} + k_{pi} \Delta f, \quad i \in (1, NG) \quad (1)$$

i kreće se između minimalne i maksimalne vrednosti:

$$P_{G \min.} \leq P_{Gi} \leq P_{G \max.} \quad (2)$$

Sekundarnu regulaciju učestanosti i snaga razmena samo za te svrhe obavljaju unapred predviđene regulacione elektrane u kojima se, u opštem slučaju, snaga izražava na sledeći način:

$$P_{Gi} = P_{Goi} + k_{pi} \Delta f + k_{si}^j DEB_j; i \in NSR; j \in (1, M) \quad (3)$$

gde je sa  $DEB_j$  označen debalans u aktivnoj snazi podsistema »j« u kome je generator »i«, odnosno potrebno je naći takvo stanje u kome regulaciona greška

$$\Delta RGS_j = \Delta P_{Rj} + B_j \Delta f \quad j \in (1, M) \quad (4)$$

treba da ima nultu vrednost. Izraz  $\Delta P_{Rj} = P_{Rj} - P_{RPj}$  daje odstupanje stvarnog totala razmene podsistema »j«  $P_{Rj}$  u odnosu prema programiranoj vrednosti  $P_{RPj}$ , a  $B_j$  je konstanta sekundarne regulacije. Ukupna snaga razmene podsistema »j« izražava se na sledeći način:

$$P_{Rj} = \sum_r \sum_l (V_r V_l Y_{rl}) \sin(\delta_r - \mu_{rl}) \quad (5)$$

gde  $r$  označava broj čvorova podsistema »j«, od kojih idu vodovi razmene, a  $l$  broj čvorova na krajevima tih vodova, koji se nalaze u podsistemima, vezanih za podsistem »j«.

Snage regulacionih elektrana mogu da se kreću samo unutar zadatog opsega, koji ne mora da bude jednak prethodno pomenutim ekstremnim vrednostima  $P_{G \min.}$  i  $P_{G \max.}$  (Najčešće su te granice diktirane ekonomskim razlozima.)

U postojećim analizama postdinamičkih stanja za veličine  $P_{G \min.}$  i  $P_{G \max.}$  uzimaju se konstantne veličine, kao i u slučaju konvencionalnih prilaza tokovima snaga. Međutim, strogo uzevši, kad je reč o postdinamičkim stanjima sa značajnim odstupanjima učestanosti, trebalo bi uvažiti tzv. prirodnu momentno-

-brzinsku karakteristiku turbine, onu kada više nema dejstva regulatora turbine, a na koju se prelazi pri dosizanju odgovarajućih graničnih vrednosti učestanosti ( $f_{gr}$  pri dosizanju donjega, a  $f'_{gr}$  pri dosizanju gornjega ograničenja po aktivnoj snazi [9]). Dakle, u dijapazonu učestanosti  $f'_{gr} < f < f_{gr}$  deluje regulator turbine i snaga se menja po linearnoj karakteristici (1), a pri  $f \leq f'_{gr}$  i  $f \geq f_{gr}$  snaga se menja po prirodnoj momentno-brzinskoj karakteristici, koje nakon dosizanja  $f_{gr}$ , odnosno  $f'_{gr}$  imaju oblik:

$$P_G = P_{G \min.} f_r - P_{Gn} f_r \frac{\Delta f}{f_n} \quad \text{odnosno} \quad P_G = P_{G \max.} f_r - P_{Gn} f_r \frac{\Delta f}{f_n} \quad (6)$$

U raspoloživim modelima tokova snaga postdinamičkih stanja, analogno konvencionalnim modelima, i generatorima se najčešće specificira napon na krajevima, koji se održava regulacijom pobude. Njihova je reaktivna snaga nepoznata veličina, odnosno pretpostavka o konstantnom naponu važi sve dok je ispunjen uslov

$$Q_{G \min.} \leq Q_{Gi} \leq Q_{G \max.} \quad (7)$$

gde su  $Q_{G \min.}$  i  $Q_{G \max.}$  unapred zadate, konstantne veličine. Međutim, kako je maksimalno dozvoljena struja rotora stvarno fizičko ograničenje (tzv. tvrdo ograničenje), njoj korepondira niz vrednosti  $Q_{G \max.}$ , odnosno [9]:

$$Q_{G \max.}^r = \sqrt{\frac{(E_{Qm} V)^2 - (P_G f_r x_q)^2 - V^2}{f_r x_q}} \quad (8)$$

gde je  $f_r$  relativna vrednost učestanosti, a  $E_{Qm}$  maksimalno dozvoljena vrednost elektromotorne sile »iza« sinhronne poprečne reaktanse  $x_q$ , koja odgovara maksimalno dozvoljenoj struji rotora. Tzv. meko ograničenje je reaktivna snaga koja odgovara maksimalno dozvoljenoj struji statora [9]:

$$Q_{G \max.}^s = \sqrt{\left(n \frac{P_{Gn}}{\cos \varphi_n} \frac{V}{V_n}\right)^2 - P_G^2} \quad (9)$$

gde je sa  $n$  označen dozvoljeni faktor preopterećenja po struji statora ( $n \geq 1$ ),  $P_G$  i  $V$  označavaju tekuće vrijednosti, a  $P_G$  i  $V_n$  nominalne vrednosti aktivne snage i napona na krajevima generatora.

Dakle, generatori se anticipiraju kao  $P, V$  čvorovi, s tim da je aktivna snaga, u skladu sa (1), funkcija učestanosti, sa fiksiranim naponima na krajevima sve dok ne bude narušeno ograničenje (7). Kada se ono naruši, vrši se konverzija u  $P, Q$  čvor, s tim da je reaktivna snaga, u skladu sa (8), promenljiva veličina.

Generatori koji imaju takav zakon regulacije pobude, koji omogućuje sledeću spoljnu  $Q-V$  karakteristiku

$$(V_0 - V)/V_0 = s_v (Q - Q_0)/Q_0 \quad (10)$$

( $V_0$  i  $Q_0$  su napon i reaktivna snaga u polaznom režimu;  $s_v$  statizam primarne regulacije napona) takođe se svrstavaju u  $P, Q$  čvorove sa promenljivom reaktivnom snagom, u skladu sa (10).



### 3.2. Model potrošača

Od niza mogućih prilaza modelovanju potrošača [3-9] u razvijenoj se proceduri analize sigurnosti primenjavao prilaz u [3], pogodan zbog svoje fleksibilnosti uvažavanja različitih karakteristika potrošača. Snage potrošača su sledeće složene funkcije napona i učestanosti:

$$P_{Li} = P_{Loi} (1 + F_{pi} \Delta f) [p_{li} + p_{2i} (V_i / V_{oi})^{N_{li}} + p_{3i} (V_i / V_{oi})^2] \quad (11)$$

$$Q_{Li} = Q_{Loi} (1 + F_{qi} \Delta f) [q_{li} + q_{2i} (V_i / V_{oi})^{N_{2i}} + q_{3i} (V_i / V_{oi})^2]$$

Dakle, pogodnim izborom koeficijenata u izrazima (11) moguće je obuhvatiti niz mogućih, tzv. kombinovanih potrošača, koji se praktično javljaju u analiza sigurnosti realnih EES. Međutim, s obzirom na prisustvo transformatora sa regulacijom napona pod opterećenjem, u EES postavlja se pitanje opravdanosti takvog načina modelovanja potrošača, iako on omogućuje tretiranje i slučaja praktično konstantnih snaga, primerenog pomenutoj regulaciji napona.

### 3.3. Modeli raspodele napona i tokova snaga u karakterističnim postdinamičkim kvazistacionarnim stanjima EES

#### 3.3.1. Postdinamičko kvazistacionarno stanje nastalo pod dejstvom primarne regulacije napona i učestanosti ili pod dejstvom neophodnih dispečerskih akcija

Za ta stanja važe sledeće jednačine balansa:

$$\Delta P_i = P_{Goi} + k_{pi} \Delta f - P_i = 0 \quad i \in (1, NG) \quad (12)$$

$$\Delta Q_i = Q_{oi} + Q_{oi} (V_{oi} - V_i) / (s_{vi} V_{oi}) - Q_i = 0 \quad i \in NPRN \quad (13)$$

$$\Delta P_i = -P_{Loi} (1 + F_{pi} \Delta f) [p_{li} + p_{2i} (V_i / V_{oi})^{N_{li}} + p_{3i} (V_i / V_{oi})^2] - P_i = 0 \quad i \in (NG+1, N) \quad (14)$$

$$\Delta Q_i = -Q_{Loi} (1 + F_{qi} \Delta f) [q_{li} + q_{2i} (V_i / V_{oi})^{N_{2i}} + q_{3i} (V_i / V_{oi})^2] - Q_i = 0 \quad (15)$$

uz uvažavanje prethodno opisanih ograničenja po aktivnoj i reaktivnoj snazi generatora.

Veličine  $P_i$  i  $Q_i$  injektirane su aktivne i reaktivne snage u čvoru »i«, koje, koristeći se polarnim koordinatama, imaju oblik:

$$P_i = V_i^2 Y_{ii} \sin \mu_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N V_i V_j V_{ij} \sin (\delta_{ij} - \mu_{ij}) \quad (16)$$

$$Q_i = V_i^2 Y_{ii} \cos \mu_{ii} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N V_i V_j V_{ij} \cos (\delta_{ij} - \mu_{ij}) \quad (17)$$

s tim da parametre EES treba tretirati kao funkcije učestanosti, kada se ona značajnije menja.

Prethodno date jednačine (12)-(15) aktuelne su i za slučaj kada se, nakon završetka dejstva primarne regulacije napona i učestanosti, preduzimaju neophodne dispečerske akcije (npr. podizanje snage na elektranama s rezervama, aktiviranjem brzostartujućih agregata, redukcijom potrošnje i dr.) radi daljeg saniranja posledica poremećaja. Tada se startuje od stanja nastalog zbog dejstva primarne regulacije, čime je postignuta sukcesivnost obavljanja proračuna tokova snaga.

#### 3.3.2. Postdinamičko kvazistacionarno stanje nastalo dejstvom automatske sekundarne regulacije učestanosti i snaga razmene

Za to stanje (uz prethodnu proveru odnosno obezbeđenje uslova za nesmetano delovanje sistema sekundarne regulacije) i dalje su aktuelne jednačine balansa oblika (12), ali samo za generatore koji nisu uključeni u sekundarnu regulaciju, kao i jednačine (13), (14) i (15). Njima se pridružuju sledeće jednačine (naravno, uz dalje uvažavanje prethodno datih ograničenja):

$$\Delta P_i = P_{Goi} + k_{pi} \Delta f + k_{si}^{j} DEB_j - P_i = 0 \quad i \in NSR \quad (18)$$

$$\Delta RGS_j = P_{Rj} - P_{RPj} + B_j \Delta f = 0 \quad j \in (1, M) \quad (19)$$

Dakle, prikazani je model formiran uz pretpostavku postojanja regulacionih binoma (4) u svim bazenima. Međutim, nema nikakvih praktičnih problema ako jedan izabrani bazen u interkonekciji reguliše samo učestanost (tada se za njegovu konstantu sekundarne regulacije uzima dovoljno velika vrednost). Treba napomenuti i to, da uslovi obezbeđenja stabilnosti sekundarne regulacije zahtevaju utvrđivanje razmene na jednome (odabranom) kraju interkonektivnih dalekovoda (neutralizacija efekata promene gubitaka u njima), što treba uvažiti pri primeni izraza (5).

## 4. TEHNIKA REŠAVANJA FORMIRANIH MODELA TOKOVA SNAGA; RAZVOJ BRZIH RASPREGNUTIH POSTUPAKA

### 4.1. Primena klasične Newton-Raphsonove metode

#### 4.1.1. Stanje nastalo dejstvom primarne regulacije napona i učestanosti te stanje nastalo dejstvom neophodnih dispečerskih akcija

Primena Newton-Raphsonove metode [10] na jednačine (12) – (15), dovodi do sledećeg sistema linearnih jednačina reda  $2N - NG + NPRN$

$$\begin{matrix} k & & k & & k+1 \\ \begin{matrix} \Delta \dot{P} \\ \dots \\ \Delta P_N \\ \Delta \dot{Q} \end{matrix} & = & \begin{matrix} H & F & N \\ \dots & & \\ J & G & L \end{matrix} & \begin{matrix} \Delta \delta \\ \dots \\ \Delta (\Delta f) \\ \Delta \dot{V}/V \end{matrix} \end{matrix} \quad (20)$$

Koordinate vektora  $\Delta \bar{V}$  i  $\Delta \bar{Q}$  dimenzije  $N-1$  odnosno  $NPRN + N - NG$  (crtica iznad slova označava vektorsku veličinu) definisane su izrazima (12) – (15), a sa  $\Delta P_N$  označen je deblans aktivne snage u referentnom čvoru (koji se proizvoljno bira). Dakle, nepoznate varijable (vektor uglova  $\delta$ , dimenzije  $N-1$ , odstupanje učestanosti  $\Delta f$  i vektor modula napona  $\bar{V}$ , dimenzije  $NPRN + N - NG$ ) određuju se iterativnim rešavanjem sistema jednačine (20) (k-iterativni indeks).

Elementi submatrica jakobijana, kojih nema u klasičnim modelima, imaju oblik:

$$\begin{aligned} F_i &= -k_{pi} \quad i \in (1, NG); \quad F_i = P_{Loi} F_{pi} [P_{li} + \\ &+ P_{2i} (V_i/V_{oi})^{N_{li}} + P_{3i} (V_i/V_{oi})^2] \quad i \in (NG + 1, N) \quad (21) \\ G_i &= 0; \quad i \in NPRN \\ G_i &= Q_{Loi} F_{qi} [q_{li} + q_{2i} (V_i/V_{oi})^{N_{2i}} + \\ &+ q_{3i} (V_i/V_{oi})^2] \quad i \in (NG + 1, N) \end{aligned}$$

#### 4.1.2. Stanje nastalo dejstvom sekundarne regulacije učestanosti i snaga razmene

Za to su stanje aktuelne jednačina (12) (samo za generatore koji nisu uključeni u sekundarnu regulaciju), jednačine (13) – (15), te jednačine (18) i (19). Kada se na njih primeni Newton-Raphsonova metoda, dobija se sledeći sistem linearizovanih jednačina:

$$\begin{array}{c|ccc|c} & k & & k & k+1 \\ \hline \Delta \bar{P} & H & F & N & K^s \\ \hline \Delta P_N & & & & \\ \hline \Delta \bar{Q} & J & G & L & O \\ \hline \Delta \bar{RGS} & H^s & B & N^s & O \\ \hline \end{array} = \begin{array}{c} \Delta \delta \\ \hline \Delta (\Delta f) \\ \hline \Delta \bar{V}/V \\ \hline \Delta \bar{DEB} \end{array} \quad (22)$$

Smisao vektora  $\Delta \bar{P}$  i  $\Delta \bar{Q}$  već je objašnjen ranije, kao i veličine  $\Delta P_N$ , s tim da su sada koordinate vektora  $\Delta \bar{P}$ , koje se odnose na regulacione elektrane, definisane izrazom (18), a novouvedeni vektor  $\Delta \bar{RGS}$  ima koordinate u skladu sa izrazom (19). Elementi novouvedenih submatrica jakobijana imaju oblik:

$$\begin{aligned} K_{ij}^s &= k_{si}^j; \quad i \in (NSR) \\ & \quad j \in (1, M) \\ H_r^s &= -\sum_l V_r V_l Y_{rl} \cos(\delta_{rl} - \mu_{rl}); \quad H_l^s = \sum_r V_r V_l Y_{rl} \cos(\delta_{rl} - \mu_{rl}) \end{aligned} \quad (23)$$

$$N_r^s = -\sum_l V_r V_l Y_{rl} \sin(\delta_{rl} - \mu_{rl}); \quad N^s = -\sum_r V_r V_l Y_{rl} \sin(\delta_{rl} - \mu_{rl})$$

$$B_i = -B_j \quad i, j \in (1, M)$$

Primena klasične Newton-Raphsonove metode na modele tokova snaga postdinamičkih kvazistacionarnih stanja u dosadašnjoj se praksi pokazala efikasnom [3, 5, 6 i 7]. Naime, potvrđene su njene poznate dobre karakteristike konvergencije, utvrđene pri re-

šavanju konvencionalnih problema tokova snaga. Međutim, kako je brzina i efikasnost imperativ analize sigurnosti, bile one i studijske, veoma je poželjno nalaženje novih, jednostavnijih i bržih postupaka rešavanja formiranih modela, sa znatno manjim memorijskim zahtevima. Izazov takve vrste doveo je do razvoja dvaju brzih raspregnutih postupaka, koji po svojoj formi asociraju na poznati Stott-Alsacov postupak [11], koji je bio razvijen samo za uslove konvencionalnih tokova snaga.

## 4.2. Formulacija brzih raspregnutih postupaka

### 4.2.1. Osnovna uprošćenja i pretpostavke pri formiranju aktuelnih matrica jakobijana

Prvo uprošćenje, uzeto iz prakse klasičnih modela tokova snaga, jest zanemarenje uticaja promene napona na aktivnu snagu tokom pojedine iteracije i uticaja promene ugla na reaktivnu snagu (submatrice  $N$  i  $J$  u jednačinama (20) i (22) jesu nula matrice).

Sledeće uprošćenje proizilazi iz kvantitativnih odnosa pojedinih parametara visokonaponskih mreža i odgovarajućih veličina stanja, koji opravdavaju uvođenje pretpostavke

$$Y_{ij} \cos(\delta_{ij} - \mu_{ij}) \approx -B_{ij} \quad (24)$$

Nadalje, zanemaruju se otopni elementi u susceptansi  $B_{ii}$ , odnosno

$$B_{ii} = -\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N B_{ij} \quad (25)$$

Prethodno pomenuta uprošćenja i pretpostavke, koja su u kontekstu pojednostavljanja same tehnike rešavanja (jer je reč samo o odgovarajućim modifikacijama matrica jakobijana), a ne modela tokova snaga, pokazala su svoju opravdanost u analizama statičkih stanja i, kako će se videti u narednom izlaganju, u analizama tretiranih karakterističnih postdinamičkih stanja. Njihova je opravdanost utvrđena i pri razvoju brzih raspregnutih postupaka određivanja tokova snaga u uslovima kratkotrajnih [17] i dugotrajnih [18] dinamičkih procesa ESS. Time je demantovana rezerva u pogledu perspektive i uspešnosti primene postupka raspregivanja na modele tokova snaga u dinamičkim stanjima ESS, izneta u [16].

### 4.2.2. Brzi raspregnuti postupak određivanja tokova snaga za stanje EES nastalo dejstvom primarne regulacije napona i učestanosti te dejstvom neophodnih dispečerskih akcija

Uvodeći prethodno opisana uprošćenja i pretpostavke, dodajući tome podatak da se zanemaruje i uticaj promene učestanosti na reaktivnu snagu i formirajući  $\Delta \bar{P}/V$ ,  $\Delta P_N/V_N$  i  $\Delta \bar{Q}/V$  po analogiji sa [11], pri čemu se za sve napone koji figurišu u preostalim sub-

matricama jakobijana  $H$ ,  $F$ , i  $L$  uzima nominalna vrednost  $V_n$  (sem za elemente submatrice  $L_{ii}$  ( $i \in NPRN$ ), za koje se uzima početna vrednost napona  $V_{oi}$ ), sistem jednačina (20) transformiše se u sledeća dva raspregnuta sistema jednačina:

$$\begin{array}{|c|} \hline \Delta \bar{P}/V \\ \hline \Delta P_N/V_N \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|} \hline H' & F' \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \Delta \delta \\ \hline \Delta(\Delta f) \\ \hline \end{array} \quad (26)$$

$$\Delta \bar{Q}/V^k = L' \Delta \bar{V}^{k+1} \quad (27)$$

kod kojih elementi matrica koeficijenata  $H'$ ,  $F'$  i  $L'$  imaju konstantne vrednosti, odnosno:

$$\begin{aligned} H'_{ii} &= V_n B_{ii} \quad i, j \in (1, N-1); \quad H'_{ij} = V_n B_{ij} \\ i \in (1, N) \quad F'_i &= -k_{pi} / V_n; \\ F'_i \in (P_{Loi} \quad F_{pi}) / V_n \\ i \in (1, N-1) \quad i \in (1, NG) \quad i \in (NG+1, N) \quad (28) \\ L'_{ii} &= Q_{oi} / (s_{vi} V_{oi}^2) + B_{ii}; \quad L'_{ij} = Q_{Lo} (N_{2i} q_{2i} + \\ &+ 2q_{3i}) V_n^{-2} + B_{ij} \quad i \in (NG+1, N) \\ i \in NPRN \quad L'_{ij} &= B_{ij} \quad \begin{array}{l} j \in NPRN \\ j \in (NG+1, N) \end{array} \end{aligned}$$

Pritome, se koordinate vektora  $\Delta \bar{P}/V$  i  $\Delta \bar{Q}/V$  formiraju u skladu sa (12) – (15).

Na taj je način razvijena jednostavna iterativna procedura, koja se lako algoritmuje, sa srazmerno malim zahtevima za operativnom memorijom računara i sa veoma dobrim i pouzdanim karakteristikama konvergencije, što je utvrđeno na primeru analiza statičke sigurnosti EES Jugoslavije [24], o čemu ćemo govoriti u završnom poglavlju ovoga rada.

#### 4.2.3. Brzi raspregnuti postupak određivanja tokova snaga za stanje EES nastalo dejstvom sekundarne regulacije učestanosti i snaga razmene

U tom postupku važe uprošćenja, pretpostavke i postupci uvedeni pri formiranju raspregnutih jednačina (26) i (27) uz uvođenje još jednog uprošćenja: tokom pojedine iteracije zanemari se i uticaj promene napona na regulacionu grešku (submatrica  $N^S$  postaje nula matrica). Time se sistem jednačina (22) transformiše u sledeća dva, takođe raspregnuta sistema jednačina, od kojih je druga jednačina identična prethodno izvedenoj jednačini (27):

$$\begin{array}{|c|} \hline \Delta \bar{P}/V \\ \hline \Delta P_N/V_N \\ \hline \Delta \bar{RGS} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline H' & F' & K^{S'} \\ \hline H^{S'} & B & O \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \Delta \bar{\delta} \\ \hline \Delta(\Delta f) \\ \hline \Delta \bar{DEB} \\ \hline \end{array} \quad (29)$$

$$\Delta \bar{Q}/V^k = L' \Delta \bar{V}^{k+1} \quad (27)$$

Svi elementi matrica koeficijenata tih jednačina imaju konstantne vrednosti.

Elementi submatrica  $H'$ ,  $F'$ ,  $L'$  i  $B$  definisani su prethodno datim izrazima (28), a elementi submatrica  $H^{S'}$  i  $K^{S'}$  imaju oblik:

$$H_r^{S'} = V_n^2 \sum_l B_{rl} \quad K_{ij}^{S'} = -k_{si}^j / V_n \quad (30)$$

$$H_l^{S'} = -V_n^2 \sum_r B_{rl}$$

Naravno, ako je potrebno napomenuti, vektor  $\Delta \bar{P}/V$  sadrži i koordinate koje se odnose na regulacione elektrane, odnosno:

$$\Delta P_i / V_i = (P_{Goi} + k_{pi} \Delta f + k_{si}^j DEB_j - P_i) / V_i \quad i \in (NSR) \quad (31)$$

Prethodno dati, inače jednostavni model određivanja tokova snaga, moguće je dalje uprostiti, što se postiže odvojenim računanjem regulacionih grešaka, odnosno debalansa podsistema (a ne simultano, u sklopu sistema jednačina (29)). Praktično je reč o još jednom raspregnutu, koje omogućuju prethodno pomenute osobine procesa sekundarne regulacije.

Opravdanost tog raspregnutja proizilazi iz same »fizike« tretiranog fenomena, odnosno iz činjenice da se automatska sekundarna regulacija učestanosti i snaga razmene (naravno, uz ispunjenje svih uslova za njeno normalno funkcionisanje), obavlja mirno, sporo i, što je najznačajnije, u uslovima srazmerno malih promena relevantnih veličina stanja.

Na taj su način i dalje aktuelni raspregnuti pod sistemi (26) i (27), s tim da su u vektoru  $\Delta \bar{P}/V$  prisutne, u skladu sa (31), koordinate vezane za regulacione elektrane. Sračunavanje vektora debalansa obavlja se posredstvom izraza (4), odnosno tokom iterativne procedure vrše se korekcije vektora  $\Delta \bar{P}/V$  koje treba da praktično eliminišu regulacione greške.

Kao što se iz prikazanog modela određivanja tokova snaga uočava, on je formiran za najopštiji slučaj pojave regulacionih grešaka u svim podsistemima, odnosno obuhvaćeni su slučajevi (koji se izbegavaju u praksi) njihovih neusklađenih primarnih i sekundarnih regulacionih konstanti. Inače, sa toga se modela veoma lako prelazi na slučaj kada je poznati Darieusov princip neintervencija [6] obezbeđen (potpuna usklađenost primarnih i sekundarnih regulacionih konstanti), odnosno kada figuriše samo regulaciona greška podsistema u kome se desio poremećaj, a koja treba biti eliminisana dejstvom regulacionih elektrana toga podsistema.

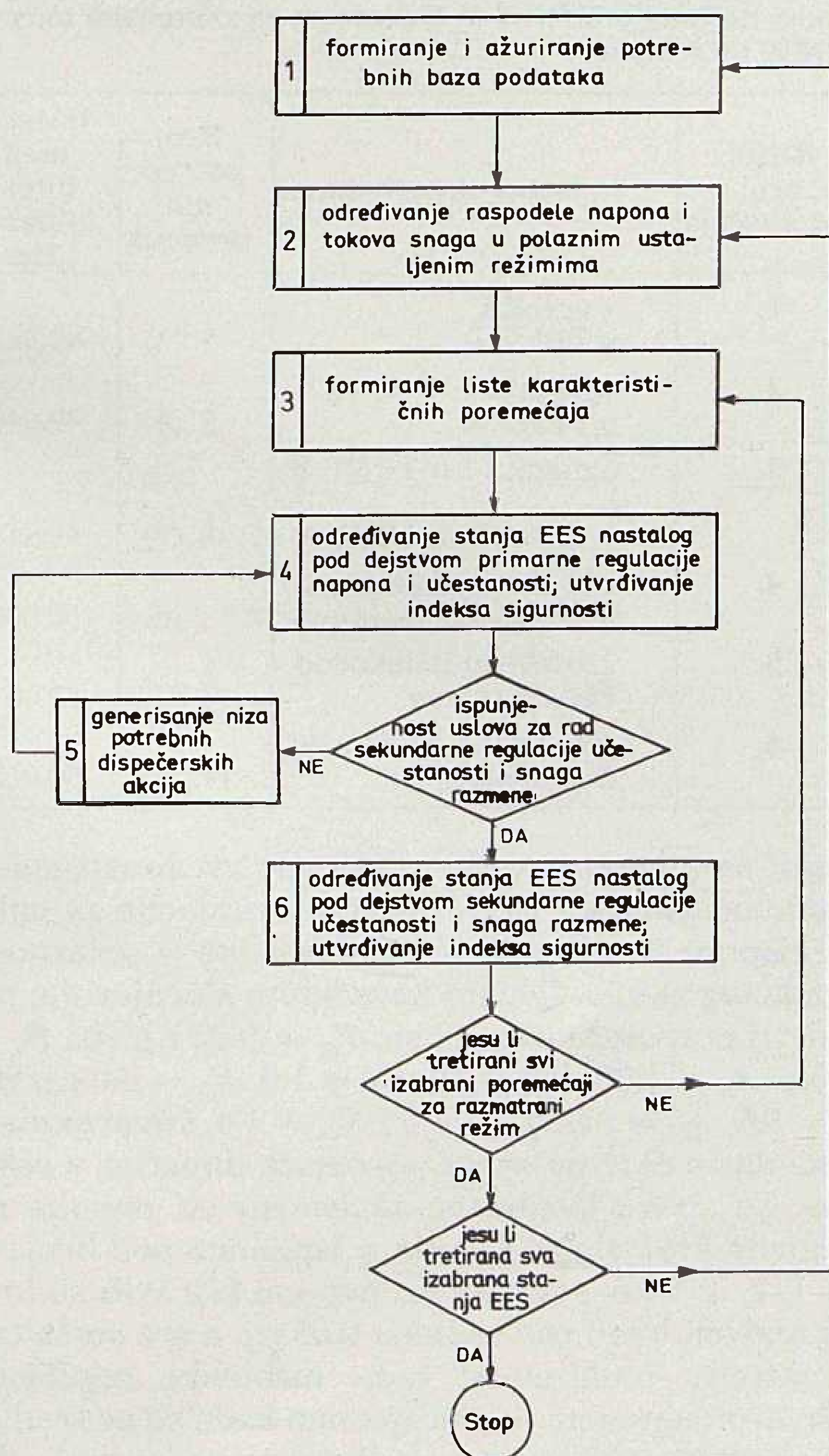
Takođe, fleksibilnost formiranog modela ogleda se u mogućnosti veoma jednostavnog tretiranja postojećeg stanja sistema automatske sekundarne regulacije učestanosti i snaga razmene u jugoslovenskoj elektroprivredi, bilo da je reč o principu proporcionalnog ili samostalnog balansiranja pojedinih bazena. Dakle, uz formiranje regulacionih grešaka pojedinih bazena, formira se i regulaciona greška kompletnog EES sistema Jugoslavije, koju, u zavisnosti od primenjenog principa regulacije, treba da pokriju odgovarajuće regulacione elektrane, tada »prozvanih« bazena.

## 5. METODOLOGIJA STUDIJSKIH ANALIZA STATIČKE SIGURNOSTI EES; RAČUNARSKI PROGRAM »STATIC«

Na bazi prethodno izloženih matematičkih modela tokova snaga i brzih postupaka njihova rješavanja, u Institutu »Nikola Tesla« razvijen je modularno organizovan prototipni računarski program STATIC. Korišten je programski jezik FORTRAN IV i tehnika retnih matrica, a njegov razvoj i implementacija izvršeni su na računarskom sistemu Burroughs 6800, OOUR-a »Informatika«, RO »Interkomerc«. Računarski program STATIC sastoji se od glavnog programa i 21 potprograma tipa SUBROUTINE, a ukupno ima 1581 red [24].

Na slici 1. dat je dijagram toka studijskih analiza statičke sigurnosti. One, kao i svake druge analize, počinju formiranjem i ažuriranjem potrebnih baza podataka (blok 1), što je u suštini proširenje standardnih podataka korišćenih za konvencionalne analize tokova snaga.

Drugi blok ima funkciju određivanja raspodele napona i tokova snaga za sva stanja EES čija se statička sigurnost analizira, dakle, reč je o konvencionalnome modelu tokova snaga. U konkretnom slučaju,



Slika 1. Dijagram toka studijskih analiza statičke sigurnosti

upotrebljen je poznati postupak [11], što zajedno sa prethodno izloženim postupcima, omogućuje uspešnu unifikaciju programske podrške za analizu sigurnosti, veoma važnome praktičnom aspektu njenog razvoja. Dobijeni se rezultati raspodele unose u posebne datoteke koje, zajedno sa prethodno pomenutom datotekom, čine ulazne datoteke za analize sigurnosti.

Funkcija bloka 3 jest formiranje treće po redu ulazne datoteke za analizu sigurnosti i sadrži listu karakterističnih poremećaja. Može se formirati direktno, na bazi dosadašnjih pogonskih iskustava i intuitivnosti analitičara, ali i na bazi rezultata metoda i postupaka za brzo rangiranje i selekciju kritičnih poremećaja, npr. [13-15].

Blok 4 ima zadatak da za izabrani poremećaj (jednostruki ili višestruki) odredi kvazistacionarno postdinamičko stanje nastalo dejstvom primarne regulacije napona i učestanosti. Dakle, u pitanju je matematički model definisan jednačinama (12) – (15), sa brzim raspregnutim postupkom rešavanja, posredstvom (26) i (27). Nakon dobijanja rezultata vrši se registracija narušenih radnih i sigurnosnih ograničenja. Iza toga bloka provodi se analiza potreba narednih dispečerskih akcija neophodnih za saniranje stanja EES (mere koje pripadaju kategoriji tzv. korektivnog upravljanja EES), koje bi trebalo (ako je moguće) da dovedu do ispunjenja uslova za dalji nesmetani rad sistema automatske sekundarne regulacije učestanosti i snaga razmene, odnosno proverava se je li analizirani poremećaj doveo do blokiranja njegovog rada (u uslovima našeg EES to se dešava pri pojavi prekomerne regulacione greške  $|RGS| > 200$  MW, odnosno pri promeni učestanosti u iznosu  $|\Delta f| > 0.5$  Hz). Naravno, u pomenutim uslovima i treba da dođe do tog blokiranja jer tada sekundarna regulacija nema praktičnog smisla, čime se sprečava slanje impulsa i bespotrebnog »trošenja« regulacione opreme.

Dakle, u tim je uslovima neophodno preduzimanje niza dispečerskih akcija (tzv. korektivno upravljanje), što se i radi u praksi, a to je funkcija bloka 5. Naprimera, pri pojavi većih debalansa snage na svim elektranama u kojima postoji rezerva, nalog za aktiviranje brzostartujućih agregata, naravno ako su raspoloživi, nalog za redukciju potrošnje i niz drugih mogućih naloga i akcija.

Funkcija tog bloka u računarskom programu STATIC postiže se automatski, po unapred predviđenim algoritmima upravljanja (npr. »podizanje« raspoloživih snaga generatora bar do iznosa koji garantuje uspostavljanje nesmetanog rada sekundarne regulacije), a ostavljena je mogućnost interaktivnog unošenja odgovarajućih dispečerskih akcija.

Na naredni blok 6 prelazi se, dakle, kada analizirani poremećaj nije izazvao blokadu sistema sekundarne regulacije (a to, po pravilu, nisu poremećaji koji značajnije mogu da ugroze sigurnost rada EES), ili kada je prethodno opisana funkcija bloka 5 mogla da obezbedi uslove za njegov rad. Tada je aktuelan matematički model tokova snaga opisan jednačinama

(12) — (15) i (18) i (19), koji se takođe rešava (neznatno) modifikovanim brzim raspregnutim postupkom. Nakon dobivanja rezultata određuje se i indeks sigurnosti, odnosno daje se lista narušenih ograničenja. U tom bloku, kao i u bloku 4, daju se liste sa promenama (u odnosu prema početnom ustaljenom stanju) svih relevantnih veličina, odnosno dobija se znatno detaljniji uvid u nastala nova, postdinamička stanja.

Analize sigurnosti završavaju se prema želji korisnika, odnosno kada se iscrpe sva izabrana polazna ustaljena stanja EES za koja se specificira lista karakterističnih poremećaja.

## 6. PRIMENA RAZVIJENE METODOLOGIJE NA PRIMERIMA STUDIJSKIH ANALIZA STATIČKE SIGURNOSTI EES JUGOSLAVIJE

Prva praktična iskustva primene računarskog programa STATIC sticana su na primeru EES Jugoslavije, za maksimalni režim 1985. godine, prema podlogama i podacima iz studije [23], kada se, uz sve ostale interesantne aspekte primene razvijene metodologije, utvrđivala konvergentnost brzih raspregnutih postupaka za niz karakterističnih poremećaja. Dalja iskustva sticana su takođe na primeru 400 kV-tne i 220 kV-tne, mreže Jugoslavije za stanje EES 11.02.1986. godine oko 20 h. Rekonstrukcija tretiranog režima EES ZEP-a izvršena je prema dokumentaciji Dispečerske službe ZEP-a, odnosno materijala koji je formirala Služba za studije i istraživanja RZ SOUR ZEP-a Beograd [21]. Rekonstrukcija režima za ostali deo EES Jugoslavije, izvršena je prema dokumentaciji Dispečerske službe ZJE za 20 h 11.02.1986.[22].

Kao dobra ilustracija karakteristika konvergencije razvijenih postupaka poslužiće naredna tabela 1, koja daje kretanje maksimalne greške određivanja vektora  $\Delta \bar{P}$  i  $\Delta \bar{Q}$  tokom odvijanja iterativne procedure određivanja stanja EES Jugoslavije, nakon istovremenog ispada HE Djerdap (ispalo 1000 MW i 409 Mvar) i 400 kV-tnog dalekovoda R. P. Mladost — Ernestinovo, uspostavljenog pod dejstvom primarne regulacije učestanosti. Polazni ustaljeni režim odgovara maksimalnom režimu 1985. godine, prema [23], a početna estimacija za uglove iznosi  $\delta = 0$ . U pomenutoj tabeli daju se i korekcije odstupanja učestanosti EES dobijene tokom iterativne procedure, uz napomenu da su kao konstante primarne regulacije sistema UCPTTE uzete (svesno) malo manje vrednosti od uobičajenih. Potrošači su modelovani u skladu sa relacijama (11), pri čemu je  $F_{pi} = F_{qi} = 0.002$  r. j./Hz,  $P_{li} = q_{li} = 0.2$ ,  $P_{2i} = q_{2i} = 0.3$ ,  $P_{3i} = q_{3i} = 0.5$  i  $N_{li} = N_{2i} = 1.5$ , odnosno izabrane su one njihove karakteristike koje mogu biti dovoljno indikativne za utvrđivanje svojstava konvergencije. Dakle, rezultati prikazani u tabeli 1. svedoče o veoma dobrim karakteristikama konvergencije, i to za slučaj veoma teških poremećaja, koje postaju još povoljnije ako se početna estimacija bazira na uglovima iz polaznog režima.

**Tabela 1. Kretanje maksimalne greške određivanja vektora  $\Delta \bar{P}$  i  $\Delta \bar{Q}$  i korekcije odstupanja učestanosti tokom iterativne procedure određivanja stanja EES Jugoslavije nakon ispada HE Djerdap i 400 kV-tnog dalekovoda Mladost-Ernestinovo**

Broj iteracije	maks. $[\Delta P]$ MW	maks. $[\Delta Q]$ MVAR	$\Delta (\Delta f)$ Hz
0	550.5	299.6	—
1	73.2	14.5	−0.12507
2	14.6	1.7	0.04379
3	7.5	0.87	0.00447
4	3.25	0.24	−0.00064
5	0.65	0.06	−0.00045
6	0.09	0.01	0.00009

Veoma dobre karakteristike konvergencije potvrđuje i naredna tabela 2, u kojoj se daje broj potrebnih iteracija za dobijanje stanja EES nastalog dejstvom primarne regulacije napona i učestanosti nakon pojave navedenih poremećaja.

**Tabela 2. Broj potrebnih iteracija za dobijanje rešenja sa polaznom definicijom  $P$ ,  $V$  i  $P$ ,  $Q$  čvorova, za zahtevanu tačnost 0.1 MW i 0.1 Mvar**

Redni broj poremećaja	Ispad elemenata	Broj potrebnih iteracija	Učestanost interkonekc. Hz
1.	1 agregat u TENT B	5 (3)	49.967
2.	agregata 1, 2, 3, 4 i 5 u TENT A	5 (4)	49.940
3.	agregata 1 u TENT B i 1, 2, 3, 4 i 5 u TENT A	6 (5)	49.918
4.	400 kV-tni dalekovod Mladost-Ernestinovo	(6)	50.001
5.	220 kV-tni dalekovod Piva-Sarajevo	6 (4)	50.001
6.	400 kV-tni dalekovod Djerdap-Bor	11 (6)	50.012

U njoj se takođe navode i dobijene vrednosti jedinstvene učestanosti EES. Početna estimacija za uglove i napone izvršena je na bazi veličina iz polaznoga ustaljenog stanja. U svim navedenim slučajevima parametri potrošača iznosili su:  $F_{pi} = 0.02$  r. j./Hz,  $P_{li} = 0.0$ ,  $P_{2i} = 1.00$ ,  $P_{2i} = 0.0$ ,  $N_{li} = 1.0$ ,  $F_{qi} = 0.0$  r. j./Hz,  $q_{li} = 0.0$ ,  $q_{2i} = 0.0$ ,  $q_{3i} = 1.0$  i  $N_{2i} = 1.0$ , što praktično znači da su aktivne snage potrošača linearne, a reaktivne su snage kvadratne zavisnosti od napona na njihovim krajevima. Takođe, u ispadima pod brojevima 1, 2, 3, 5 i 6. statizmi po naponu ( $s_v$ ) svih sinhronih mašina imali su vrednost 0.05 r. j., a sve slučajeve karakteriše blokiranost rada turbinske regulacije svih termoagregata. U slučajevima kada se ne tretiraju »oborene«  $Q-V$  karakteristike generatora inače dobre karakteristike konvergencije postaju još povoljnije.

nije (broj iteracije dat je u zagradama). Tako se za ispade pod brojevima 2. i 3. broj potrebnih iteracija za zahtevanu istu tačnost (0.1 MW i Mvar) smanjuje za jedan, pod brojevima 1. i 5. za dve, a za ispad pod brojem 6. broj potrebnih iteracija smanjuje se za pet. Naredna tabela 3. takođe ima funkciju da ilustruje veoma dobre karakteristike konvergencije razvijene procedure. U njoj je dato kretanje korekcija odstupanja učestanosti tokom iterativne procedure za prva tri poremećaja iz tabele 2 (ispadi u TE »N. Tesla«), s tim da je za poremećaj 1 (slučaj ispada jednog agregata u TE »N. Tesla B«), tretiran i izolovani rad EES Jugoslavije, kada su »slobodni« svi turbinski regulatori.

**Tabela 3. Kretanje korekcije odstupanja učestanosti, tokom iterativne procedure, za različite slučajeve ispada u TE »N. Tesla«**

Iteracija	$\Delta (\Delta f)$ (Hz)			
	Poremećaj 1		Poremećaj 2	Poremećaj 3
	paralelan rad sa UCPTE	izolovan rad EES Jugoslavije		
1	-0.03178	-0.14450	-0.06447	-0.09641
2	-0,00037	-0.02170	0.00435	0.01145
3	-0.00061	-0.00175	0.00023	0.00265
4	-0.00016	-0.00245	-0.0007	0.00011
5	-0.00004	-0.00088	-0.00003	-0.00018
6		-0.00032		-0.00010
7		-0.00012		

Dakle, razvijena je procedura uspešno izdržala iskušenja najtežih poremećaja. Za poremećaje koji nemaju takvu težinu logično je bilo očekivati još povoljnije konvergentne karakteristike, što se u praksi i pokazalo točnim. Naprimera, (za istu zahtevanu tačnost 0.1 MW, odnosno Mvar) pri ispada HE Bistrica (ispad injektiranja od 100 MW i 18 Mvar) broj potrebnih iteracija iznosio je tri, a isti je broj dobijen u slučaju ispada TS 400/110 Kragujevac (ispad potrošnje od 202 MW i 104 Mvar).

Nadalje, utvrđivanja je efikasnost razvijene procedure pri tretiranju različitih karakteristika potrošača. Uz prethodno navedene primere treba dodati i slučaj ispada jednog agregata TE »N. Tesla B« (poremećaj 1), kada je pretpostavljeno da potrošači imaju konstantne snage (slučajevi koji se u analizama ovog tipa po pravilu sa numeričkog aspekta smatraju najtežima). Tada je broj potrebnih iteracija iznosio takođe pet, a u slučaju ispada dalekovoda Piva-Sarajevo broj iteracija je iznosio sedam.

Razvijena je procedura pokazala i veliku efikasnost pri obuhvatu dostignutih ograničenja po reaktivnoj snazi generatora (broj potrebnih ekstrateracija kretao se između jedne i tri, a izuzetno četiri). To se i očekivalo jer se režim EES u pogledu uglova i jedinstvene vrednosti učestanosti praktično već ustalio, a

radilo se samo o odgovarajućim korekcijama režima vezanim za potrebne korekcije napona u pojedinim generatorskim čvorovima.

Razvijena je procedura pokazala veliku efikasnost i u slučajevima preduzimanja neophodnih dispečerskih akcija (što je bilo potrebno u slučajevima ispada u TE »N. Tesla« pri poremećajima 1-3). Proračuni su polazili od stanja EES nastalih dejstvom primarne regulacije napona i učestanosti, a broj potrebnih iteracija kretao se u prethodno utvrđenim okvirima.

Za tretirana stanja nastala dejstvom neophodnih dispečerskih akcija, karakteristična je praktična obnova učestanosti odnosno njena je vrednost veoma bliska nominalnoj. Tada, s obzirom na praktično postojanje regulacionih grešaka, na »scenu« stupa automatska sekundarna regulacija učestalosti i snaga razmene. Stanje EES, nastalo dejstvom sekundarne regulacije određuje se potpuno analogno kao prethodno stanje, dakle primenom razvijenoga brzog raspregnutog postupka, (26) i (27), s tim da se odgovarajuće regulacione greške određuju potpuno raspregnuto. Do traženoga novog stanja EES dolazi se veoma brzo, sa malim brojem potrebnih dodatnih ekstrateracija (u konkretnim slučajevima taj broj nije prelazio četiri), jer se praktično radilo o odgovarajućim izmenama voznih redova pojedinih elektrana.

U sklopu raspoloživog prostora, u ovom je radu težište, dakle, bilo na numeričkim apsketima razvijene procedure, sa čime obavezno počinje svaka promocija nove metodologije. Ostali, takođe veoma interesantni aspekti primene razvijene metodologije na konkretnim primerima EES Jugoslavije (npr. indeks sigurnosti, odnosno narušavanje relevantnih ograničenja i dr.), nalaze se u [24]. Oni će, također na odgovarajući način, biti prezentirani jugoslavenskoj stručnoj i naučnoj javnosti.

## 7. ZAKLJUČAK

U radu je dat razvoj i primeri praktične primene metodologije za studijske analize statičke sigurnosti EES bazirane na određivanju raspodele napona i tokova snaga u karakterističnim postdinamičkim kvazistacionarnim stanjima. U odnosu prema prisutnim raspoloživim prilazima tom problemu, učinjene su sledeće dopune i poboljšanja:

- poboljšanja matematičkih modela tokova snaga (tretiranje ograničenja po aktivnoj i reaktivnoj snazi generatora kao odgovarajućih zavisnosti od relevantnih veličina, za razliku od dosadašnjih prilaza, u kojima su pomenuta ograničenja imala unapred zadate, konstantne vrednosti, kao i uvažavanje slučajeva generatora koji imaju »oborenu«  $Q-V$  karakteristiku, u skladu sa primenjenim zakonom regulacije pobude);
- značajno poboljšanje tehnike rešavanja formiranih modela tokova snaga (razvijeni brzi raspregnuti postupci rešavanja, koji asociraju na dobro poznati Stott-Alsacov, postupak, razvijenog za potrebe konvencionalnih tokova snaga);

- obezbeđena sukcesivnost određivanja karakterističnih postdinamičkih kvazistacionarnih stanja (algoritmovanjem se sve tri faze procesa računanja — određivanje efekta primarne regulacije napona i učestanosti, efekata dispečerskih akcija, ako su one bile neophodne, kao i efekata sistema automatske sekundarne regulacije učestanosti i snaga razmene, obavljaju sukcesivno, jedinstvenom numeričkom procedurom);
- uvedena je faza analize sigurnosti, u kojoj postoji mogućnost generisanja niza (potrebnih) dispečerskih akcija (inkorporirana je mogućnost preduzimanja odgovarajućih dispečarskih akcija automatski, po unapred pripremljenim algoritmima upravljanja ili interaktivno, za poremećaje, čije posledice to zahtevaju).

Materijalizaciju razvijene metodologije studijskih analiza statičke sigurnosti EES čini modularno organizovan prototipni računarski program STATIC, razvijen u Institutu »Nikola Tesla«. Stečena prva iskustva praktične primene razvijene metodologije pri analizi sigurnosti EES Jugoslavije, govore o njenoj efikasnosti i pri tretiranju najtežih višestrukih poremećaja. Nova iskustva, koja se očekuju od dalje nje primene za potrebe pogona i upravljanja EES Jugoslavije, biće interesantna ne samo za autora ovog rada.

## LITERATURA

- [1] DEBS A. S., BENSON A. R., »Security assessment of power systems«, Engineering foundation conference on system engineering for power, Henniker, W. H, USA, August 1975, pp 144–158.
- [2] STOTT B., »Review of load-flow calculation methods«, Proc. IEEE Vol 62 No 7, July 1974, pp. 916–929.
- [3] OKAMURA M. et al. »A new power model and solution method including load and generator characteristics and effects of system control devices«, IEEE Trans., Vol. PAS–94, No 3, May–June 1975, pp. 1042–1049.
- [4] SAADAT M. H., »Steady state analysis of power systems including the effects of control devices«, Electr. Power Sys. Res. Vol 2 No 2, June 1979, pp. 111–118.
- [5] ČALOVIĆ M. S., STREZOSKI V. C., »Calculation of steady state load flows incorporating system control effects and consumer self-regulation characteristics«, Electr. Power and Energy Syst. Vol 2 No 2, April 1981, pp. 65–74.
- [6] STREZOSKI V. C., VIKTOR L. A., »Jedan matematički model za proračun stacioniranih režima povezanih elektroenergetskih sistema« Elektroprivreda br. 7–8, 1984, s. 308–317.
- [7] STREZOSKI V. C., ČALOVIĆ M. S., »Steady–state security analysis assuming large generation/load disturbances« Proc. of 9<sup>th</sup> Congres of IFAC, Budapest, July 1984, pp. 7–12.
- [8] LIŠEEV M. S. i dr. »Metodika proračuna posthvarijskih režima elektroenergetskih sistema« (članak na ruskom), Električstvo No 11, 1983, str. 18–23.
- [9] LUKAŠOV, E. S. i dr. »Dugotrajni prelazni procesi u elektroenergetskim sistemima« (knjiga na ruskom) Izd. »Nauka«, Novosibirsk, 1985.
- [10] TINNEY W. F., HART, C. »Power flow solution by Newton's method«, IEEE Trans. Vol PAS 86, Nov. 1967, pp. 1449–1460.
- [11] STOTT, B., ALSAC O., »Fast decoupled load flow«, IEEE Trans., Vol PAS–93, No 3, May/June 1974, pp. 859–867.
- [12] ŠTARKLJ J., »Statičke karakteristike sinhronih generatora za proračune stacionarnih režima u elektroenergetskom sistemu posle narušavanja elektroenergetskog bilansa i promene učestanosti«, XVII Savetovanje energetičara Jugoslavije, Struga 1985, referat 32.08.
- [13] EJEBE G. C., VOLLENBERG B. F., »Automatic contingency selection« IEEE Trans. Vol. PAS-98, No. 1 Jan./Feb 1979, pp. 97–104.
- [14] IRISARRI G., SASSON A. M., LEVENER D., »Automatic contingency selection for on-line security analysis — Real time test« IEEE Trans. Vol. PAS–98, No. 5, Sept/Oct 1979, pp. 1552–1557.
- [15] IRISARRI G., SASSON A. M., »An automatic contingency selection method for on-line security analysis«, IEEE Trans. Vol. PAS–100, No 4, April 1981.
- [16] STOTT B., »Power system dynamic response calculation«, Proc., IEEE Vol. 67, No 2, February 1979, pp. 219–241.
- [17] POPOVIĆ D. P., »Brzi raspregnuti postupak određivanja raspodela napona i tokova snaga u studijama kratkotrajnih dinamičkih procesa elektroenergetskih sistema«, Automatika br. 1–2, 1987.
- [18] POPOVIĆ D. P., »An efficient decoupled procedure for solving the load flow problems during long-term dynamic processes in power system« Electrical Power and Energy System, Vol. 9, No 3, July, 1987.
- [19] POPOVIĆ D. P., »Brzi raspregnuti postupak za analizu statičke sigurnosti elektroenergetskih sistema«, XXXI. jugoslavenska konferencija za ETAN, Bled, 1987.
- [20] POPOVIĆ D. P., »Jedan prilaz studijskim analizama statičke sigurnosti elektroenergetskih sistema « V jugoslavensko savetovanje VAES, Ljubljana, 1987.
- [21] Služba za studije i istraživanje RZ SS SOUR ZEP-a »Podloge za proveru modela iz Studije statičke sigurnosti ZEP-a
- [22] Dispečerska služba ZJE, Osnovni pokazatelji režima EES Jugoslavije 11. 02. 1986. u 20 h.
- [23] Institut »Nikola Tesla«, »Studija statičke i dinamičke stabilnosti u mreži 220 i 400 kV Jugoslavije za 1985 i oko 1990. godine«, Beograd, 1985.
- [24] Institut »Nikola Tesla«, »Studija statičke sigurnosti EES ZEP-a I deo: Razvoj i primena metodologije za studijske analize statičke sigurnosti EES ZEP-a«, Beograd, 1987.

**THE METHODOLOGY SUPPLEMENTS TO ANALYSIS OF STATICAL RELIABILITY OF POWER SYSTEMS**

In the article is presented a methodology for analysis of statical reliability of power systems. In addition to up-to-date methods, it is added a model of power flows in characteristic post dynamic quasi stationar conditions with physical constraints. It is developed a fast spread model for successive solutions. A model is tested on examples of Yugoslav power system.

**BEITRÄGE ZU METHODIK DER STUDIENANALYSEN DER STATISCHEN SICHERHEIT DER ELEKTROMAGNETISCHEN SYSTEME**

Man spricht über eine wirkungsvolle Methodologie der Studienanalysen der statischen Sicherheit der elektromagnetischen Systeme. Im Verhältnis zu den bisherigen Betrachtungsweisen wurde eine entsprechende Modell- Ergänzung der Kraft- Läufe in charakteristischen postdynamischen quasistationären Zuständen veröffentlicht. Dabei wurden die physischen Eigenschaften der behandelten Phänomene beachtet und schnelle Vorgänge ihrer schrittweisen Lösungsmöglichkeiten entwickelt. Die Eigenschaften einer entwickelten Methodologie wurden an Beispielen des elektromagnetischen Systems Jugoslawiens gegeben.

**ПРИЛОЖЕНИЯ К МЕТОДИКЕ НАУЧНЫХ АНАЛИЗОВ СТАТИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Излагается эффективная методология научных анализов статической надежности электроэнергетических систем. По отношению к предшествующим подходам выполнено соответствующее дополнение моделей потоков мощности в характеристических по стдинамических квази стационарных состояниях, а учитывая физические свойства рассматриваемых феноменов, выраотаны скоростные расчленные методы их последова ьного решения. Свойства разработанной методологии подтвержден на примере электроэнергетиэской системы Югославии.

Naslov pisca:

**Dr. Dragan Popović, dipl. inž.**  
**Institut »Nikola Tesla«,**  
**11000 Beograd,**  
**Viktora Igoa 3, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis  
1987 – 11 – 13





# SOUR **MONTING** **RO ENERGETIKA** ZAGREB

RO ZA IZGRADNJU I MONTAŽU  
OBJEKATA I ENERGETSKIH POSTROJENJA  
41000 ZAGREB, Kesterčankova 1

## Predstavništva:

**MONTING RO ENERGETIKA**  
**38000 PRIŠTINA**  
Dardanja 9/a pt 277  
Telefon: 038/42-900

»INGRA-MONTING«  
**DÜSSELDORF**  
Telefon: 21184788  
Telex: 172114560

»MONTING«-ZAGREB  
**PRAG**  
Telefon: 297223; 292918  
Telex: 122065

## Telefoni:

Centrala	041/217-700
Direktor	222-499
Komercijalni sektor	214-960
Tehnički sektor	218-798
Financijski sektor	218-479
Telex: 21473 Mont yu	

## VRŠI IZGRADNJU I MONTAŽU:

- termoelektrana, toplana, energana, hidroelektrana, nuklearnih elektrana, te u sklopu istih montira sva pripadajuća postrojenja, kao kotlovska, turbinska, postrojenja za tretman industrijskih voda, mazutna gospodarstva i drugu pripadajuću opremu
- naftna, petrokemijska i procesna postrojenja
- metalurška, rudarska i postrojenja za proizvodnju obojenih metala
- čeličnih konstrukcija, unutrašnjih i vanjskih razvoda svih medija unutar termoelektrana, toplana, nuklearnih elektrana, hidroelektrana, naftnih, procesnih i metalurških postrojenja



**PROIZVODNI POGON U DUGOM SELU — PROIZVODNJA SILOSA I ČELIČNIH KONSTRUKCIJA**

- remonte i održavanje termoelektrana, hidroelektrana, nuklearnih elektrana, kotlovskih i turbinskih postrojenja, postrojenja za tretman industrijskih voda, mazutnih gospodarstva s rezervoarima, te remont i održavanja unutrašnjih razvoda
- remonte i održavanja naftnih, petrokemijskih, procesnih i metalurških postrojenja
- predsušionice i sušionice za drvo, različitih tipova i za različite režime sušenja, postrojenja za zaštitu čovjekove okoline
- antikorozivnu zaštitu čeličnih konstrukcija i opreme

## PROIZVODI:

- čelične konstrukcije, cijevne mostove, stepeništa i galerije, različitih tipova i za različite namjene
- predfabricira cjevovode svih dimenzija i kvaliteta, izrađuje fazonske dijelove za energetska i druga postrojenja
- posude, rezervoare, gazometre raznih tipova, namjena i za različite medije
- projektira u suradnji sa Institutom za drvo — Zagreb, i proizvodi predsušionice i sušionice za drvo, različitih tipova i za različite režime sušenja
- raznu specijalnu ne standardnu energetska i drugu opremu za različite svrhe i namjenu

# ANALIZA POTROŠNJE ENERGIJE U JUGOSLAVIJI I SR HRVATSKOJ

## II. dio: Struktura potrošnje energije u domaćinstvima SR Hrvatske

Mr. Damir Pešut — mr. Jakša Topić, Zagreb

UDK 621.311.1.005

PRETHODNO SAOPĆENJE

Analizira se korisna i finalna potrošnja energije u domaćinstvima SR Hrvatske te se zaključuje da one ostvaruju različite brzine rasta. Potrošnja energije promatrana je u ovisnosti o većem broju različitih utjecajnih veličina.

**Ključne riječi:** finalna energija, korisna energija, domaćinstva, uslužna djelatnost, toplinske potrebe, električna energija, fosilna goriva.

### 1. UVOD

U prvom je dijelu ovog članka komentirana primjena agregatnih, globalnih pokazatelja u usporednoj analizi potrošnje energije u Jugoslaviji i Hrvatskoj prema nekoliko odabranih zemalja. Analizirana je ukupna potrošnja finalne energije te potrošnja finalne energije domaćinstava. Ustanovljeno je da takvi agregatni pokazatelji, unatoč prednosti što ih se može brzo i lako odrediti, često navode na pogrešne zaključke o efikasnosti upotrebe energije.

S naftnim šokom iz 1973. godine u svijetu počinje intenzivniji razvoj postupaka za analizu i planiranje energijskog sistema, među njima i onoga za analizu potrošnje energije. S jedne strane razvijaju se sofisticirani ekonometrijski postupci koji nastoje utvrditi čvrstu formalnu vezu potrošnje energije i nekoliko bitnih utjecajnih veličina. S druge strane razvijaju se postupci strukturnog analiziranja potrošnje, koji su u svome matematičkom obliku krajnje jednostavni, ali zato obuhvaćaju velik broj veličina koje utječu na potrošnju energije. I dok se prvi postupci iscrpljuju dokazivanjem kvalitete koeficijenata regresije i intervala prihvatljivosti, strukturni se postupci analize osnivaju na kvalitetnim bazama podataka i ekspertnom znanju i iskustvu energetičara. Jedan takav postupak primjenjen je u analizi potrošnje energije u domaćinstvima SR Hrvatske i detaljno razređen u studiji Instituta za elektroprivrdu »Analiza potrošnje energije u domaćinstvima« Zagreb, 1987. godine. U članku je dan skraćeni prikaz analize i njezinih rezultata da bi se ilustrirale mogućnosti postupka strukturne analize potrošnje energije.

Za analizu potrošnje energije u domaćinstvima SR Hrvatske koristit ćemo se modelom opisanim u PRILOGU. A takav modelski pristup odgovara MEEDE metodologiji, koju je krajem sedamdesetih godina razvio IIASA (International Institute for Applied Sys-

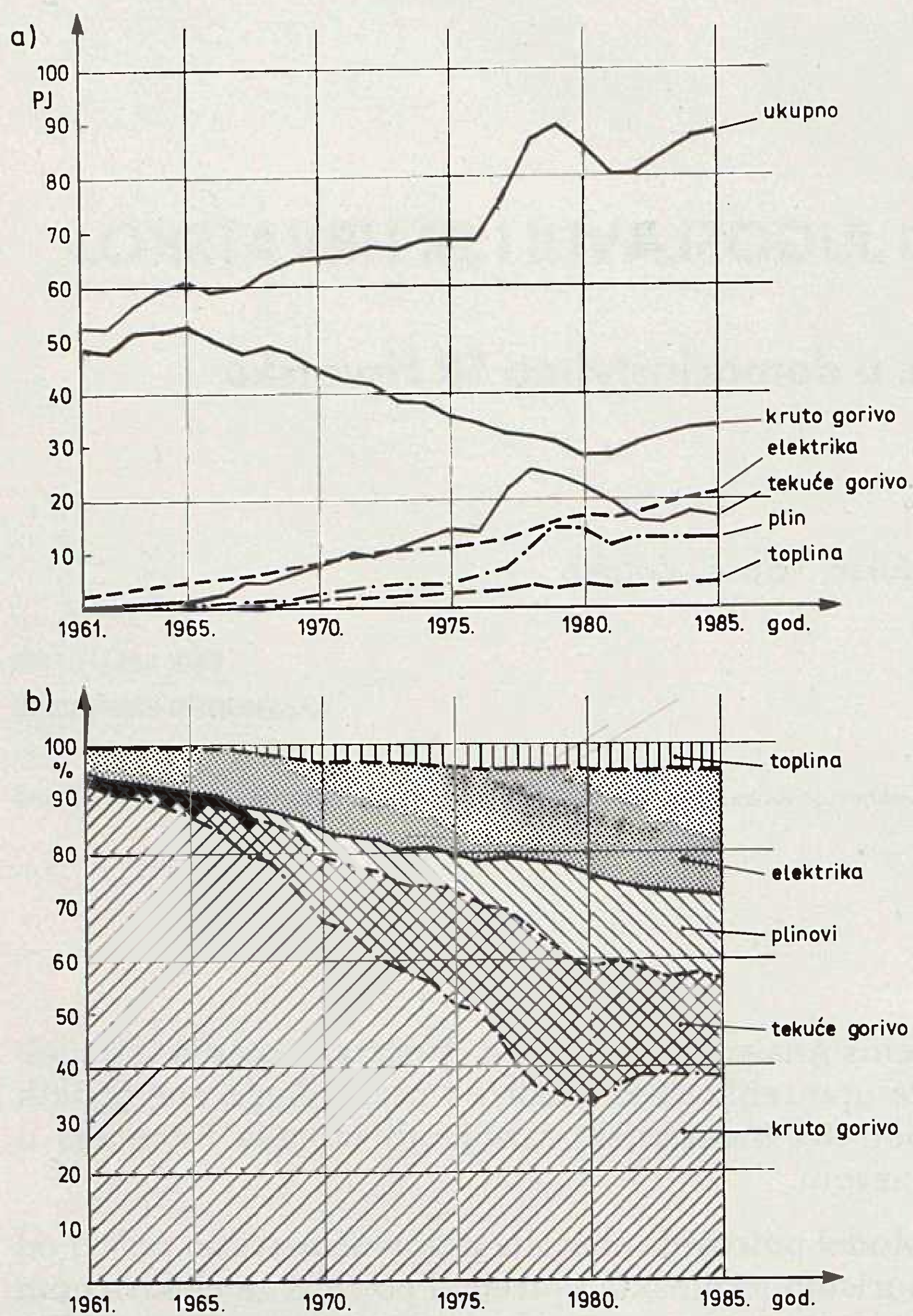
tems Analysis, Laxenburg, Austria), i otad se sve češće upotrebljava za analize i predviđanja energijskih potreba industrijski razvijenih zemalja i zemalja u razvoju.

Model potrošnje energije u domaćinstvima polazi od korisnih toplinskih potreba i potreba za električnom energijom za netoplinSKU namjenu. Korisnim toplinskim potrebama smatraju se potrebe za toplinom dobivenom iz trošila upotrebom finalne energije za zadovoljenje potrebe grijanja prostorija, pripremu sanitarne tople vode i kuhanje. Finalna energija je energija koju potrošač kupuje u obliku energenata: drvo, električna energija, toplina iz centraliziranoga toplinskog sistema (CTS) ili fosilno gorivo (tekuće, plinovito ili kruto). Veza između finalne i korisne energije jest **efikasnost upotrebe** energenta na trošilu. Korisne toplinske potrebe mogu se zadovoljavati sa svakim od navedenih energenata, a potrošnja električne energije za netoplinSKU namjene (za rasvjetu, kućanske aparate), nema alternative.

Na temelju dostupnih i raspoloživih podataka i opisanog modela ocijenjen je razvoj strukture potrošnje energije u domaćinstvima SR Hrvatske od 1961. do 1985. godine. U nastavku donosimo skraćeni oblik te analize.

### 2. RAZVOJ POTROŠNJE FINALNE ENERGIJE U DOMAĆINSTVIMA I USLUŽNOJ DJELATNOSTI SR HRVATSKE

Razvoj potrošnje finalne energije u domaćinstvima i uslužnoj djelatnosti SR Hrvatske prikazan je na slici 1. U promatranom je razdoblju iz raspoloživih podataka za SR Hrvatsku moguće razlučiti samo zbroj finalne potrošnje energije u domaćinstvima i uslužnoj djelatnosti.



Slika 1. Potrošnja finalne energije u domaćinstvima i uslužnoj djelatnosti u SR Hrvatskoj

Iz slike 1. vidljivo je da je u razdoblju 1961–1976. god. ukupna finalna potrošnja praktički kontinuirano rasla (prosječna godišnja stopa porasta bila je 1,79%). U razdoblju 1976–1979. god., dakle za tri godine, potrošnja se povećala za oko 30%, i na tom je nivou bila i 1985. god.

U strukturi potrošnje pojedinih energenata (sl. 1. b) vidljivo je da se udio potrošnje krutih goriva u finalnoj potrošnji u domaćinstvima i uslužnoj djelatnosti od 1961. do 1980. god. smanjuje. Naime, u 1961. god. udio krutih goriva iznosio je 93%, 1970. god. pao je na 68%, a 1980. na 33%. U tom se razdoblju kruta goriva zamjenjuju drugim energentima, tekućim i plinovitim gorivima te električnom energijom i toplinom iz javnih toplana (CTS).

Međutim, nakon 1980. god. odnosno od 1980. do 1985. god. potrošnja krutih goriva se povećava, a udio u finalnoj potrošnji raste na 38%. Istovremeno

se potrošnja tekućih goriva smanjuje, a potrošnja električne energije raste po stopi 4,19%.

### 3. RAZVOJ ODREDNICA POTROŠNJE KORISNE ENERGIJE U DOMAĆINSTVIMA SR HRVATSKE

Razina energijskih potreba domaćinstava u primijenjenom modelu (PRILOG A) svodi se na broj stanovnika i stanova, odnosno njihovu površinu. Te su veličine za SR Hrvatsku točno utvrđene u godinama popisa stanovništva i stanova. Za tu su analizu iskoristeni rezultati popisa iz 1961, 1971. i 1981, s tim da su prema procjeni i na temelju podataka koji se svake godine evidentiraju i objavljuju u Statističkim godišnjacima obavljene interpolacije za razdoblje 1975. do 1985. godine.

Broj stanovnika SR Hrvatske nakon drugoga svjetskog rata relativno je sporo rastao, a praćen je koncentracijom stanovništva u većim gradskim centrima te dezagrarizacijom sela (1981. godine samo je 14,5% stanovništva poljoprivredno, a u gradskim naseljima živi 50,8% stanovništva).

U razdoblju između popisa od 1961. do 1981. godine, broj stanova rastao je znatno brže nego broj stanovnika, a neusporedivo brže ukupne kvadrature stanova, a postignuta je kvadratura po stanovniku iznosila 20,7 m<sup>2</sup> i 3,2 stanovnika po stanu u 1985. godini. U istoj su godini ti pokazatelji za Zapadnu Njemačku 2,5 stanovnika po stanu i 35 m<sup>2</sup> po stanovniku!

Sa stanovišta energijske potrošnje, bitna je razlika između jednoobiteljskoga ili dvoobiteljskoga samostojećeg stambenog objekta i stambene zgrade sa znatno više stanova. Međutim, za SR Hrvatsku nije nam bila dostupna statistika prema toj klasifikaciji, pa je napravljena podjela na stanove sa centralnim grijanjem i stanove sa sobnim grijanjem. Prema rezultatima elaborata (L 17), korisna je potrošnja energije za grijanje prostorija prosječnoga centralno grijanog stana u SR Hrvatskoj (uzimajući u obzir razlike u četiri klimatske zone) u razdoblju od 1961. do 1971. bila oko 2,5 puta veća od prosječnoga sobno grijanog stana. Udio centralno grijanih stanova do 1971. bio je neznatan, a do danas je porastao na 20% (tabl. 1). Prema (L 18), na kraju 1981. god. statističkim je uzorkom određen udio centralno grijanih stanova. U SFRJ je iznosio 17%, u Sloveniji čak 50%. U Zapadnoj Njemačkoj taj je udio 1985. godine bio već 73%.

Kvadraturom uslužne djelatnosti smatra se površina zgrada i trgovina ugostiteljstva i turizma, javnog prometa, društveno-političkih zajednica i organizacija,

Tablica 1. Broj stanovnika i stanova te karakteristike stambenog standarda SR Hrvatske od 1961. do 1985. godine

Godina	Broj stanovnika (10 <sup>6</sup> )	Broj stanova (10 <sup>6</sup> )	Centralno grijani stanovi (u %)	Sobno grijani stanovi (m <sup>2</sup> /stan)	Centralno grijani stanovi (m <sup>2</sup> /stan)	Broj stanovnika po stanu	Kvadratura prostora uslužne djelat. (10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> )
1961.	4,1597	1,0152	0,55	50,0	62,5	4,10	11,84
1971.	4,4260	1,1950	3,43	52,0	71,0	3,70	15,20
1975.	4,4963	1,2762	6,81	56,3	66,6	3,52	16,80
1985.	4,6262	1,4441	19,41	65,3	70,6	3,20	20,60

kulturnih, prosvjetnih i informacijskih ustanova, zdravstvenih ustanova, prostora za fizičku kulturu te ostalih poslovnih zgrada i zgrada društvenog standarda.

U statističkim se godišnjacima mogu naći površine izgrađenih objekata uslužnih djelatnosti u svakoj godini, ali, nažalost, ne i ukupna kvadratura. Stoga je navedena kvadratura procijenjena.

#### 4. OCJENA RAZVOJA SPECIFIČNE POTROŠNJE KORISNE ENERGIJE ZA PRIPREMU TOPLE VODE, KUHANJE U DOMAĆINSTVIMA I TOPLINSKE POTREBE U USLUŽNOJ DJELATNOSTI

Potrošnja korisne energije za pripremu tople vode i kuhanje u domaćinstvima svedena je na stanovnika, a ukupna toplina u uslužnoj djelatnosti na jedinicu površine. Na temelju raspoloživih podataka nemoguće je odrediti točne iznose tih specifičnih potrošnji, pa je na temelju određenih iskustvenih potrošnji i veličina iz literature napravljena procjena (tabl. 2). Koначно, te su veličine usklađene pri »zatvaranju« potrošnje energije u domaćinstvima i uslužnoj djelatnosti modelom iz PRILOGA A.

**Tablica 2. Specifična potrošnja korisne energije za dobivanje tople vode i kuhanje u domaćinstvima te za toplinske potrebe u uslužnoj djelatnosti SR Hrvatske**

	Godina				
	1961.	1971.	1975.	1980.	1985.
topla voda MJ/stanovnik	800	1100	1100	1200	1200
kuhanje MJ/stanovnik	800	900	950	1000	1000
toplina usl. djel. MJ/m <sup>2</sup>	300	350	350	400	400

Prema (L 20) utvrđeno je da je 1972. godine četveročlano domaćinstvo, koje je kuhalo samo na plin, trošilo 12 boca od 10 kg ukapljenog plina godišnje, što uz efikasnost upotrebe na plinskom štednjaku od 0,7 znači 985 MJ po članu domaćinstva. To odgovara razini potrošnje korisne energije za kuhanje po stanovniku iz tablice 2.

Prema (L 21) moguće je utvrditi da je potrošnja korisne topline za dobivanje tople vode u 1975. godini iznosila:

SAD	6 300 MJ/stanovniku
Zapadna Evropa (9 zemalja)	2 100 MJ/stanovniku
Istočna Evropa (6 zemalja) bez SSSR-a)	1 300 MJ/stanovniku

Ocjena za SR Hrvatsku niža je i od iznosa potrošnje tople vode po stanovniku Istočne Evrope, što se donekle može objasniti znatno toplijom klimom, ali i podatkom da je 1981. god. u SR Hrvatskoj samo 54% stanova imalo kupaonicu te da je samo 70% bilo priključeno na javni vodovod.

Razina potrošnje topline po m<sup>2</sup> uslužne djelatnosti ocijenjena je prema analizama iz (L 17).

#### 5. RAZVOJ PARAMETARA POTROŠNJE FINALNE ENERGIJE U DOMAĆINSTVIMA SR HRVATSKE

Gledano prema pojedinim energentima, samo je za potrošnju električne energije prema statistici moguće razdvojiti potrošnju u domaćinstvima od one u uslužnoj djelatnosti. Uz pretpostavku da se praktično sve ogrjevno drvo troši u domaćinstvima i da se, s obzirom na relativno malen udio topline iz CTS-a, procjenom te raspodjele ne čini veća greška, ostaje problem ocjene raspodjele fosilnih goriva. Zbog nedovoljnosti podataka potrošnja fosilnih goriva promatra se globalna, kao zbroj potrošnje krutih, tekućih i plinovitih goriva.

Osim samog izdvajanja ukupne potrošnje finalne energije u domaćinstvima, zanimljivo je utvrditi i strukturu energenata u zadovoljavanju toplinskih potreba za grijanje prostorija, pripremu tople vode i kuhanje.

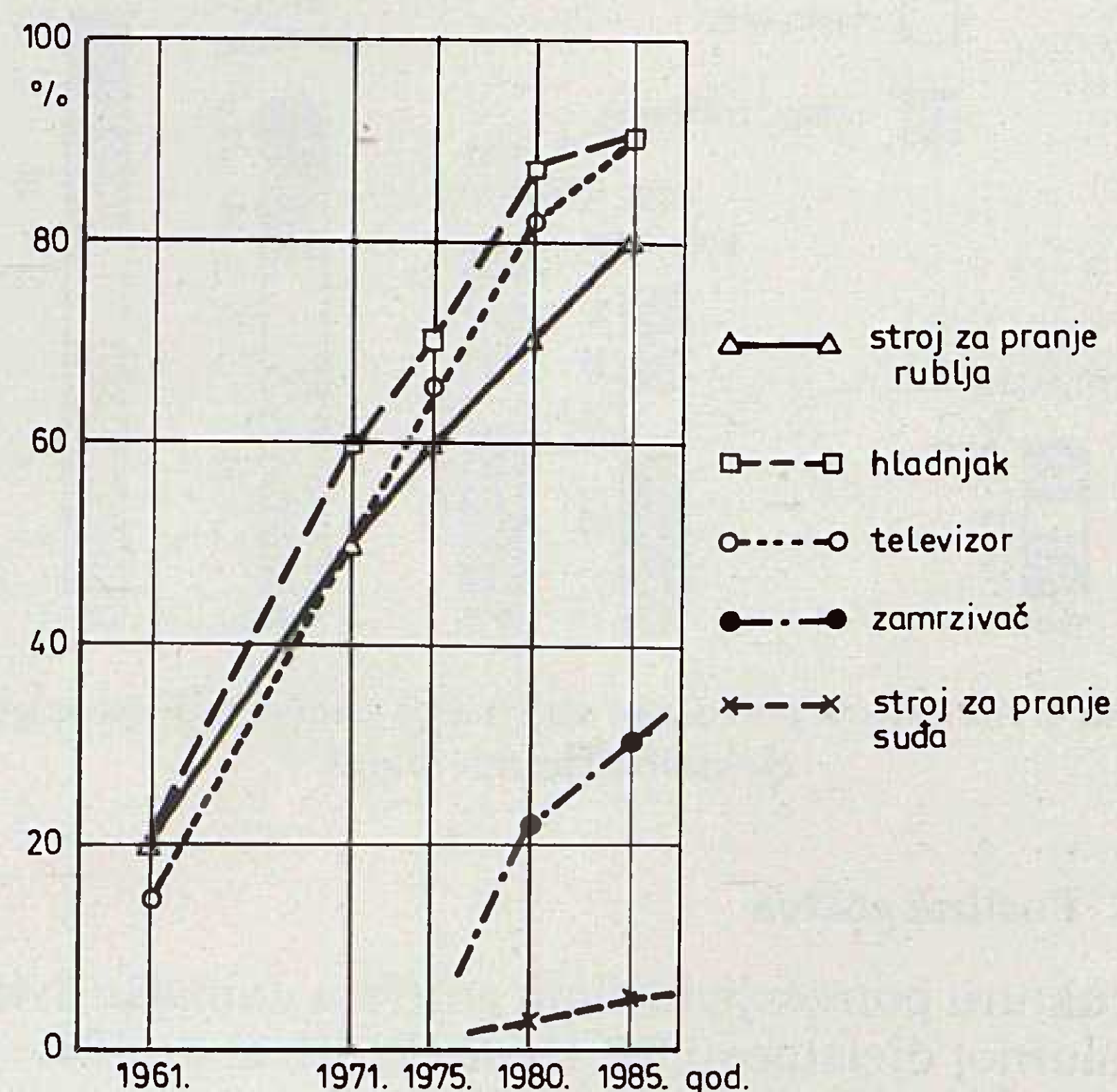
U nastavku su komentirani parametri energetske upotrebe pojedinih oblika energije potrebni za spomenute analize.

##### 5.1. Električna energija

Potrošnja električne energije u domaćinstvima svrstana je u dvije osnovne grupe: potrošnju za toplinske i potrošnju za netoplinke svrhe, a analizirana je kao potrošnja po prosječno elektrificiranom domaćinstvu.

Ocijenjena prosječna potrošnja električne energije pojedine kategorije potrošnje, tj. uređaja, produkt je zastupljenosti i normativa godišnje potrošnje.

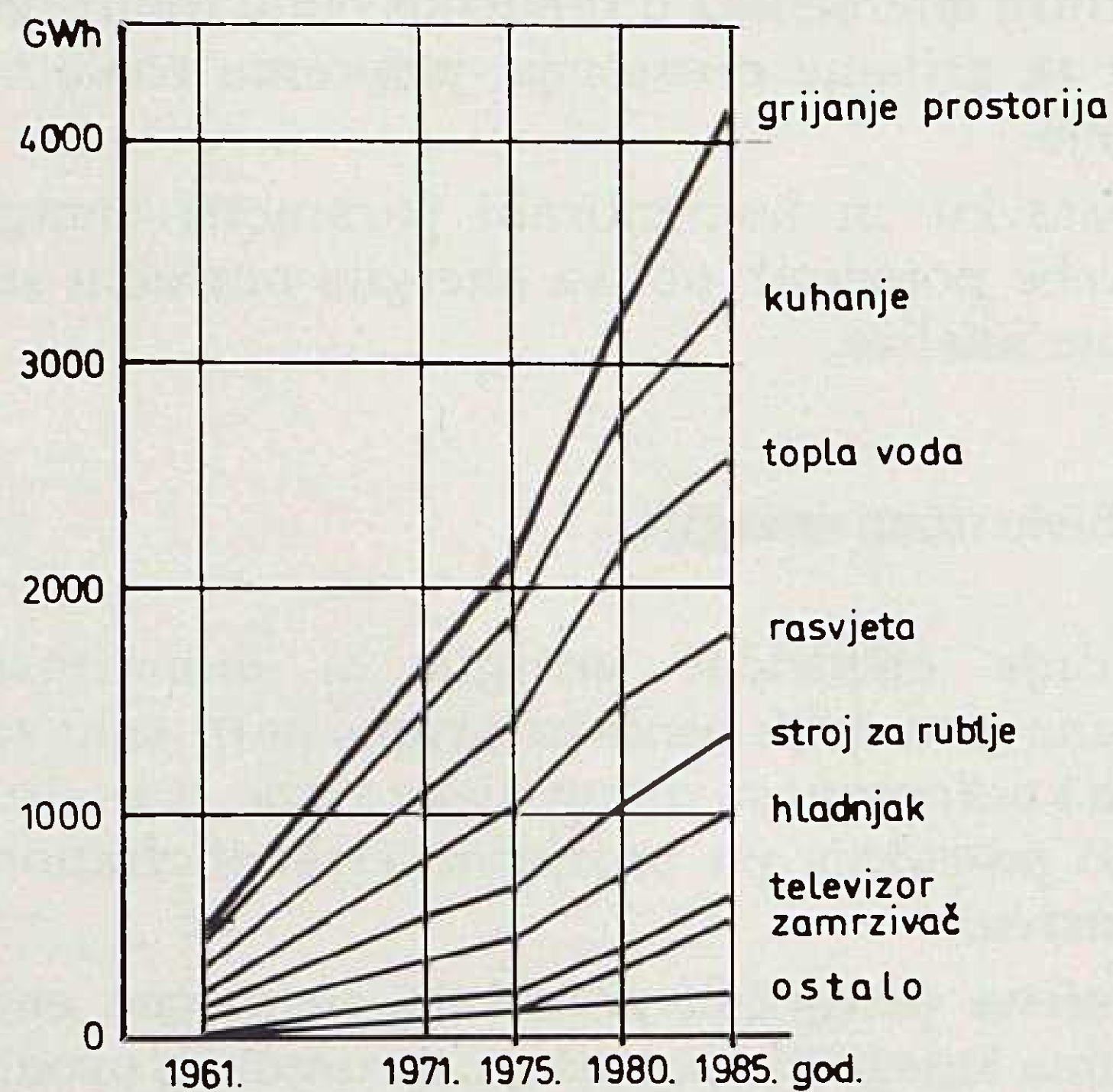
Zastupljenost osnovnih električnih kućanskih aparata za netoplinSKU namjenu u domaćinstvima SR Hrvatske u razdoblju od 1961. do 1985. godine porasla je sa manje od 20% na više od 80% (slika 2), što je ujedno i razina zastupljenosti stroja za pranje rublja,



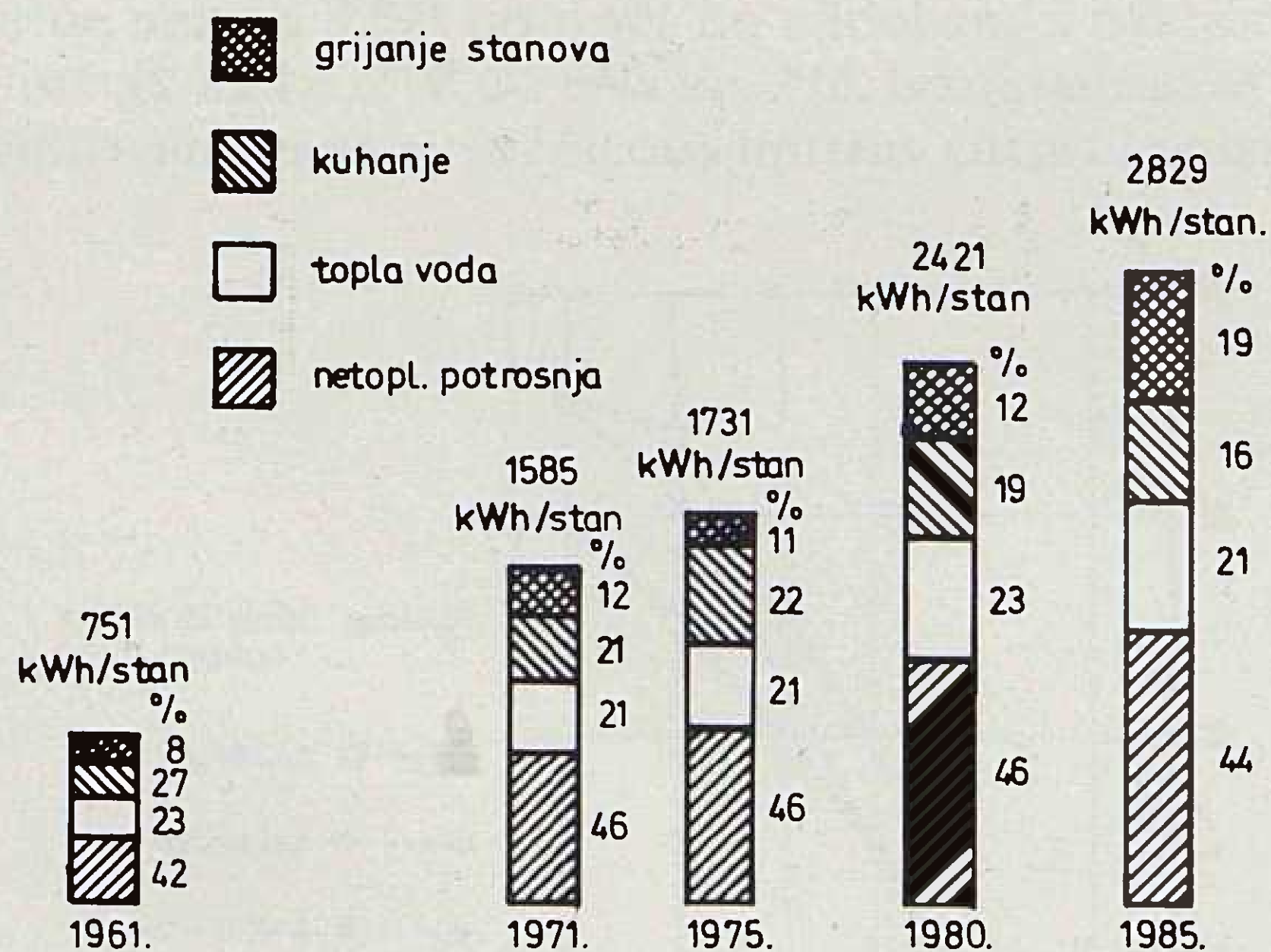
**Slika 2. Zastupljenost električnih kućanskih aparata za netoplinSKU namjenu**

hladionika i televizora (L 24) u Zapadnoj Njemačkoj. Nakon 1975. godine naglo raste broj domaćinstava sa zamrzivačem. Taj udio u kratkom vremenu doseže razinu zapadnoevropskih zemalja.

U cijelome promatranom vremenskom razdoblju nisu utvrđene bitnije strukturne promjene u odnosu toplinske i netoplnske potrošnje električne energije. Naime, toplinska je potrošnja stalno bila viša od 50% (slika 3. i 4). Dio toplinske potrošnje karakterizira nagli rast udjela grijanja prostorija od 1980. do 1985. sa 12% na 19%. Prema (L 23) u spomenutom je razdoblju u SR Hrvatskoj prodano onoliko termoakumulacijskih peći koliko u cijelome prethodnom razdoblju, dakle do 1980. godine! U netoplnskoj je potrošnji električne energije najbitnija promjena naglo i izrazito povećanje potrošnje zamrzivača (sl. 3).



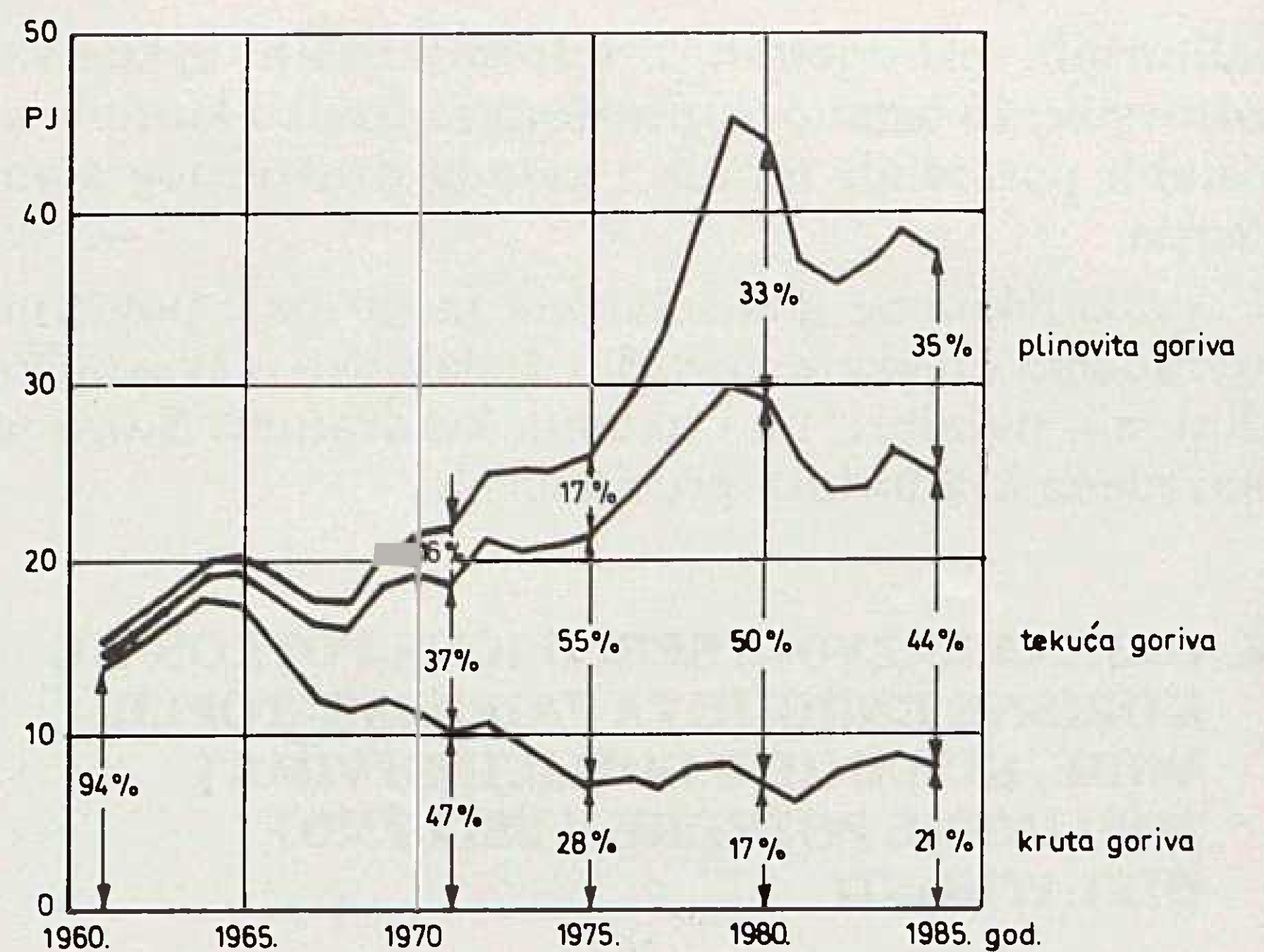
Slika 3. Struktura potrošnje električne energije u domaćinstvima



Slika 4. Struktura potrošnje električne energije po prosječno elektrificiranom stanu

## 5.2. Fosilna goriva

Strukturu potrošnje fosilnih goriva u domaćinstvima i uslužnoj djelatnosti SR Hrvatske (sl. 5) do 1965. godine karakterizira gotovo isključivost upotrebe krutih goriva, a zatim do 1979. godine brzi rast udjela tekućih goriva te nagli pad udjela krutih. Poslije 1979.



Slika 5. Struktura potrošnje fosilnih goriva u domaćinstvima i uslužnoj djelatnosti SR Hrvatske

godine zastupljenost tekućih goriva se smanjuje, plinovitih raste.

Tako analizirana struktura fosilnih goriva potrebna je radi prve aproksimacije efikasnosti upotrebe fosilnih goriva u domaćinstvima — za grijanje prostorija, pripremu tople vode i kuhanje, te za toplinske potrebe u uslužnoj djelatnosti. Naime, efikasnost upotrebe pojedinih oblika energije, uključujući i fosilna goriva — ugljen, derivate i plin, određena je prema izvorima (L 21), (L 24), (L 25) i navedena u iznosima, kao u tablici 3. Za fosilna je goriva utvrđena agregatna efikasnost upotrebe prikazana u tablici 4.

Tablica 3. Efikasnost upotrebe pojedinih finalnih oblika energije (u %)

	Ugljen	Naftni derivati	Plin	Električna energija	Ogrjevno drvo
industrija (direktno zagrijavanje)	35–45	45	60–75	80	
promet (saobraćaj)	5–6	22–25		80	
— željeznički		20–28			
— cestovni		do 20			
— zračni					
domaćinstva					
— grijanje	40–55	65	75	100	35–45
— topla voda	30–40	50	60	80	25–35
— kuhanje	10–20		70	75	10–15
usluge	55	65	75	95	

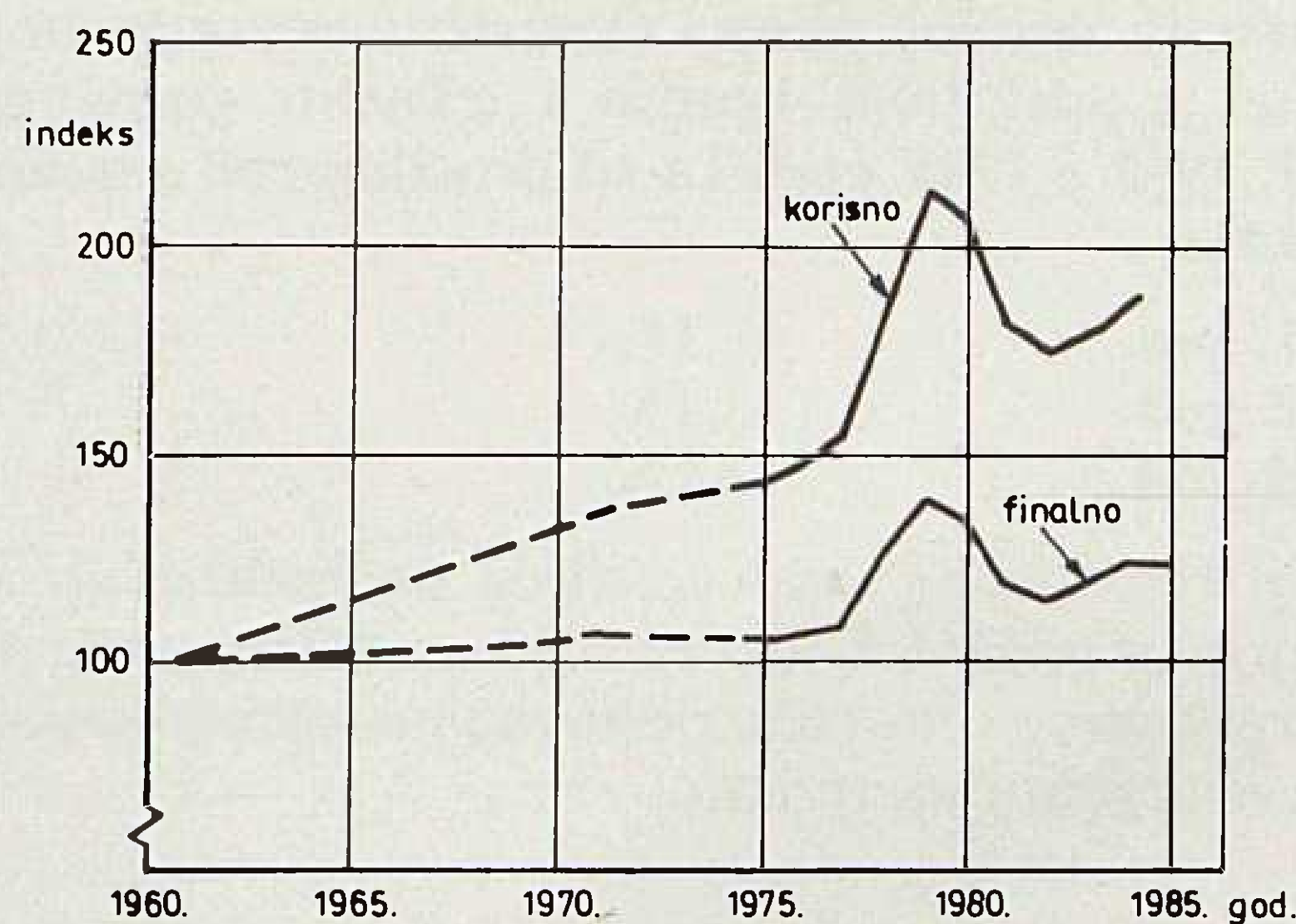
Tablica 4. Efikasnost upotrebe fosilnih goriva

	Godina				
	1961.	1971.	1975.	1980.	1985.
grijanje prostorija	0,50	0,59	0,61	0,64	0,63
dobivanje tople vode	0,40	0,50	0,50	0,53	0,53
kuhanje	0,45	0,70*	0,70	0,70	0,70
toplinske potrebe uslužne djelatnosti	0,55	0,65	0,65	0,68	0,68

\* Nakon 1970. god. uzeto je u obzir samo kuhanje na plin, a pretpostavlja se da se kruta goriva (ugljen) za kuhanje upotrebljavaju zimi, kada kuhanjem neiskorišteni dio topline grije prostorije.

## 6. POTROŠNJA ENERGIJE ZA GRIJANJE STANOVA

Na temelju izloženih polaznih veličina i pretpostavki, primjenom modela iz PRILOGA A te »zatvaranjem« finalne potrošnje domaćinstava i uslužne djelatnosti baš na potrebama grijanja stanova, slijede specifične potrošnje korisne i finalne energije po prosječnom stanu u SR Hrvatskoj (sl. 6, tbl. 5).



Slika 6. Potrošnja korisne i finalne energije po prosječnom stanu u SR Hrvatskoj

Uočava se da je u dvadesetogodišnjem razdoblju između popisa 1961. i onoga 1981, porast potrošnje finalne energije po stanu samo 19%, a za korisnu energiju čak 81%. Razlog tome je bitna promjena strukture energenata u zadovoljavanju potreba za grijanjem prostorija, točnije, efikasnost njihove upotrebe. Dok je još 1961. pa do 1965. godine u strukturi dominiralo ogrjevno drvo i kruta fosilna goriva (s najmanjom efikasnošću), već od 1971. nadalje udio efikasnijih tekućih i plinovitih fosilni goriva stalno raste. Također raste i potrošnja električne energije i topline iz CTS-a, čija je korisna energija za grijanje prostorija jednaka finalnoj. Prema tome, potpuno je jasno da je porast korisne potrošnje energije prava mjera rasta standarda, tj. grijanja stanova.

Tablica 5. Potrošnja finalne i korisne energije za grijanje prosječnog stana u SR Hrvatskoj

Godina	Finalna potrošnja (Mj/stan)	Korisna potrošnja (MJ/stan)
1	2	3
1961.	26 795	10 334
1971.	28 488	14 085
1975.	28 119	14 816
1976.	28 560	15 306
1977.	29 219	16 237
1978.	33 867	19 405
1979.	37 511	22 002
1980.	35 982	21 330
1981.	31 853	18 694
1982.	31 000	18 107
1983.	31 882	18 588
1984.	33 348	19 521
1985.	33 277	19 330

## 7. ODNOS POTROŠNJE KORISNE ENERGIJE ZA GRIJANJE STANOVA I DRUŠTVENO-EKONOMSKOG RAZVOJA

Rast potrošnje korisne energije za grijanje stanova funkcija je rasta životnog standarda i utjecaja klimatskih uvjeta.

Utjecaj klimatskih uvjeta moguće je obuhvatiti težinskim stupanj-danima za SR Hrvatsku (tbl. 6), određenim kao zbroj stupanj-danija regija Zagreb, Osijek, Rijeka i Split, ponderiranih udjelom kvadrature stanova pojedine regije u ukupnome stambenom fondu SR Hrvatske prema popisu iz 1981.

Posebno je obrađeno razdoblje od 1975. do 1985. godine jer smo samo za to razdoblje raspolagali srednjim dnevnim temperaturama pojedinih regija. Osim toga to je razdoblje naglog rasta zatim pada specifične potrošnje energije za grijanje, što smo nastojali povezati s društveno-ekonomskim razvojem.

Tablica 6. Težinski stupanj-dani SR Hrvatske

Godina	
1975.	2541
1976.	2690
1977.	2506
1978.	2814
1979.	2619
1980.	2941
1981.	2635
1982.	2636
1983.	2604
1984.	2558
1985.	3002

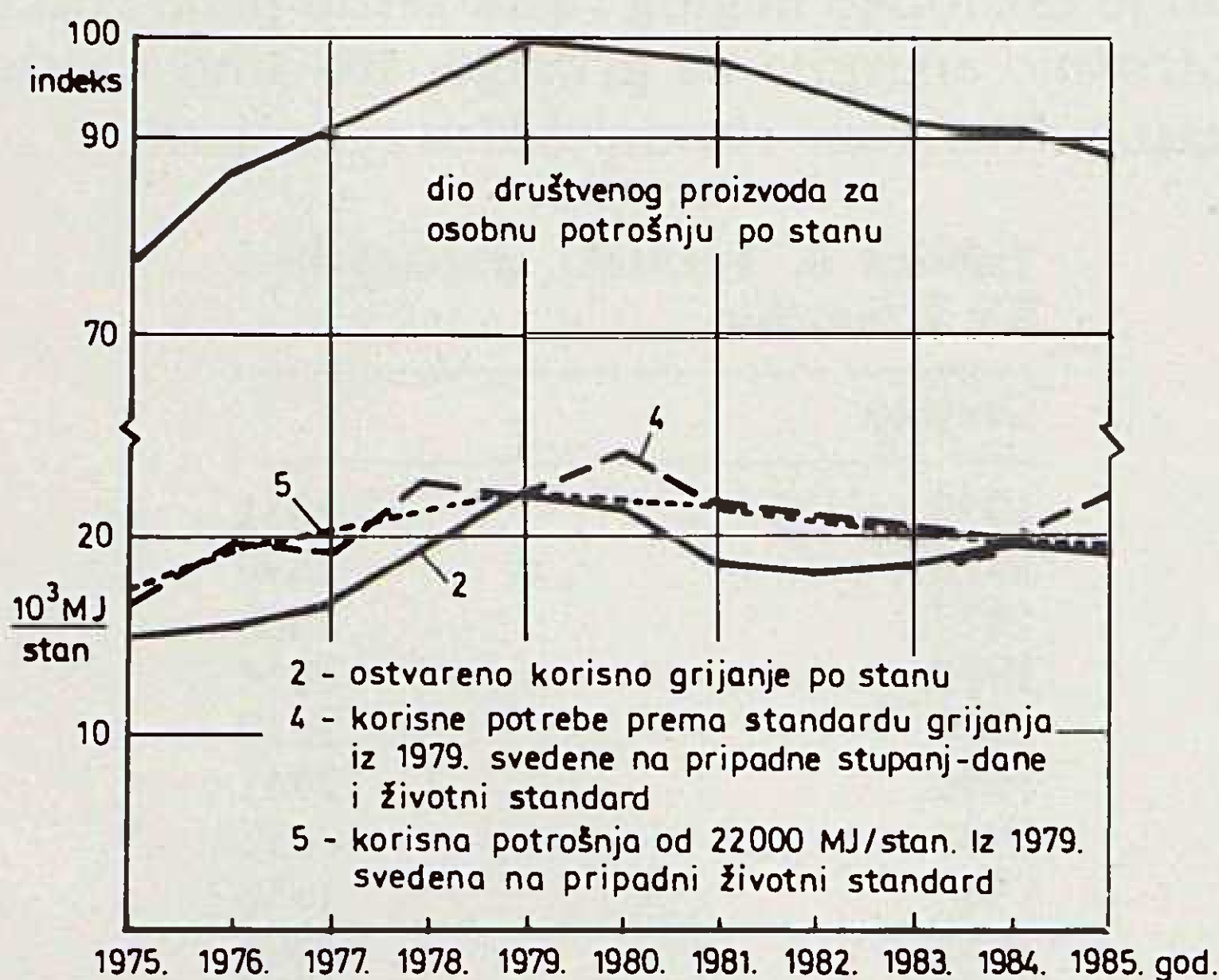
Kao mjera razvoja životnog standarda odabran je dio društvenog proizvoda koji pripada osobnoj potrošnji sveden na stan, tj. uvjetno domaćinstvo (broj stanovnika po stanu), naravno u stalnim cijenama (tbl. 7).

Tablica 7. Društveni proizvod SR Hrvatske i dio koji pripada osobnoj potrošnji sveden na stan, u cijenama iz 1980. godine

Godina	Društveni proizvod (10 <sup>9</sup> ; cij. 1980)	Udio osobne potrošnje (u %)	Dio društvenog proizvoda za osobnu potrošnju sveden na stan	
			(10 <sup>3</sup> din/stan)	indeks (1979. = 100)
1975.	291,6	54,7	125,0	78
1976.	326,2	55,0	138,6	87
1977.	353,2	54,2	145,8	91
1978.	380,3	54,0	154,2	96
1979.	404,8	53,4	160,2	100
1980.	410,5	52,7	158,6	99
1981.	416,5	51,8	156,2	98
1982.	411,0	51,6	151,7	95
1983.	404,7	51,4	147,2	92
1984.	413,3	50,2	145,3	91
1985.	415,0	49,6	142,5	89

Vidi se da je dio društvenog proizvoda za osobnu potrošnju po stanu (sl. 7) naglo rastao u razdoblju od 1975. do 1979. godine i da je postigao maksimum 1979. godine. Nakon toga počeo se konstantno sma-

njivati sve do 1985. godine. Godine 1979. također je, prema slici 7, postignut i maksimum specifične potrošnje korisne energije za grijanje prostorija. Ako se zbog toga 1979. godina odabere kao referentna godina analize razdoblja od 1975. do 1985. godine, uzevši u obzir težinske stupanj-dane za SR Hrvatsku, slijedi potrošnja korisne energije u pojedinim godinama svedena na standard grijanja iz 1979. godine (sl. 7). Nadalje primjenom indeksa rasta dijela društvenog proizvoda za osobnu potrošnju po stanu, kao mjere razine životnog standarda, dobiva se procjena specifične potrošnje korisne energije za grijanje stanova u pojedinim godinama, temeljena na pretpostavci postojanja povezanosti potrošnje energije, odabrane mjere razine životnog standarda i varijacija stupanj-dana u pojedinim godinama.



Slika 7. Odnos promjena specifične potrošnje korisne energije za grijanje stanova i mjere životnog standarda

Iz te se analize uočava da potrošnja korisne energije za grijanje prostorija po prosječnom stanu u SR Hrvatskoj prigušeno prati hladnije zime s većim brojem stupanj-dana. Naime, prema slici 7, potrošnja energije po stanu (2) nije znatnije porasla u hladnijim zimama 1978, 1980. i, pogotovo, 1985. godine, kao krivulja potreba svedenih na standard grijanja iz 1979. godine (4). Razlog za to je velik broj (oko 30%) stanova u podneblju toplijih i blažih zima i niska zastupljenost centralno grijanih stanova u toku cijelog razdoblja 1975 — 1985. Bez utjecaja varijacija temperature u pojedinim godinama, potrošnja iz 1979. godine, svedena na dinamiku razvoja dijela društvenog proizvoda za osobnu potrošnju po stanu (5), pokazuje da je u razdoblju naglijeg rasta društvenog proizvoda i životnog standarda od 1975. do 1979. godine rast potrošnje energije za grijanje bio još brži. To je rezultat stagnacije potrošnje energije za grijanje u prvom petogodištu sedamdesetih godina, a osim toga normalno je očekivati da se efekti bržega privrednog rasta s određenim vremenskim pomakom odražavaju na rast životnog standarda.

Nakon 1979. godine počinje razdoblje stagnacije društvenog proizvoda i smanjenje udjela osobne potrošnje te teškoća s opskrbom energentima. Zime 1981, 1982, 1983. i 1984. godine bile su blage i na razini one iz 1979. godine. Izrazito hladne bile su 1980. i,

posebno, 1985, kada ostvarena potrošnja nije pratila potrebe prema krivulji (4). Dio društvenog proizvoda za osobnu potrošnju, sveden na uvjetno domaćinstvo, od 1979. godine konstantno pada, (sl. 7), a 1985. god. pao je za 11% u odnosu prema 1979. god. Potrošnja po stanu od 22 000 MJ iz 1979. godine, svedena na tako smanjenu mjeru životnog standarda, odlično se slaže s ostvarenjima za 1984. i 1985. godinu. Zbog toga razlika između krivulja (5) i (2) označava procjenu smanjenja potreba energije za grijanje stanova zbog redukcija zemnog plina i električne energije, te problema s opskrbom krutim i tekućim gorivima za 1981, 1982. i 1983. god. Ta su procijenjena smanjenja iznosila:

1981. god.	13,3%
1982. god.	13,4%
1983. god.	8,2%

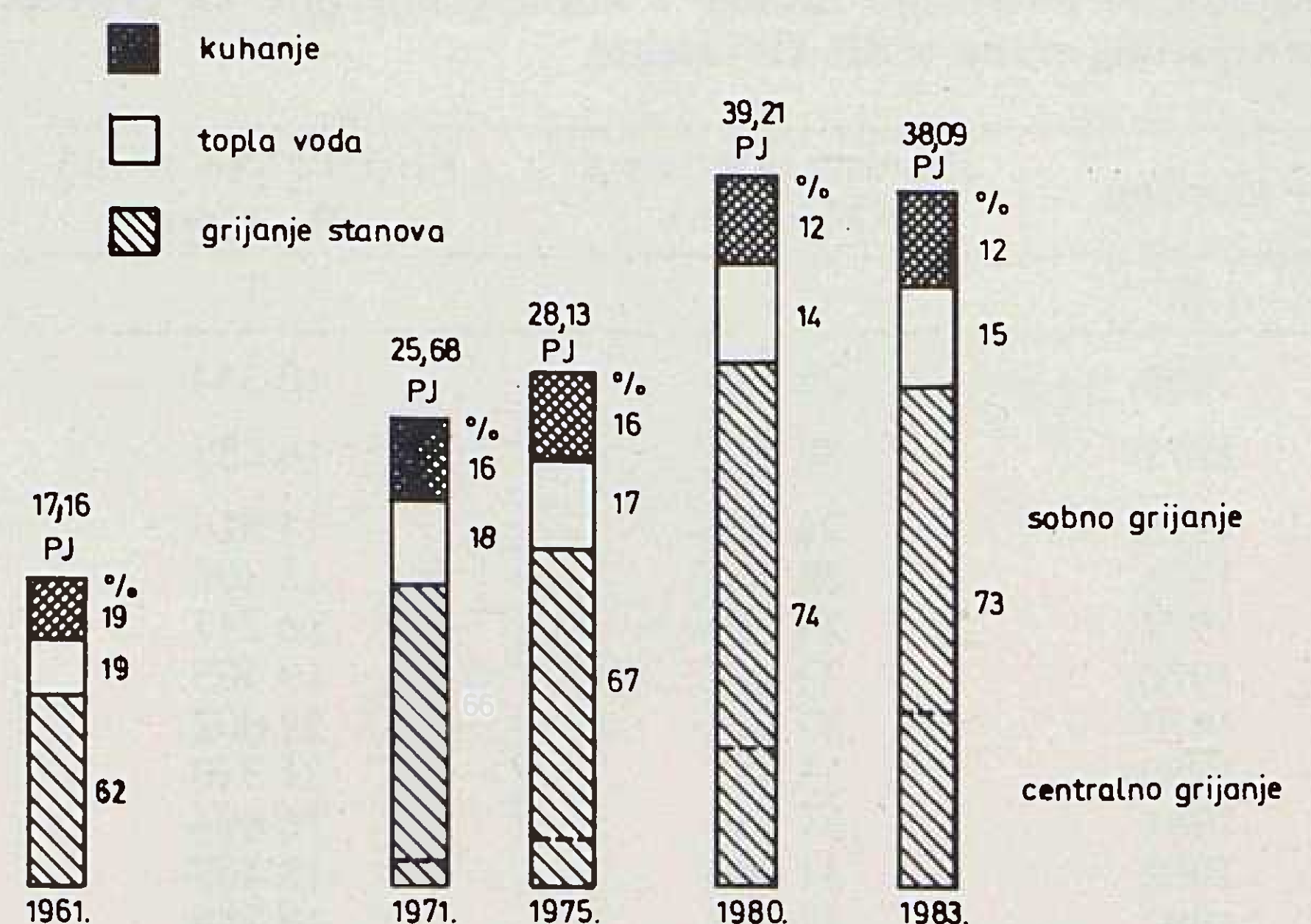
**Napomena:** Nažalost, zbog nedostatka podataka nije moguće točnije utvrditi smanjenje potrošnje energije zbog redukcija odnosno nedostataka pojedinih energenta na tržištu.

## 8. STRUKTURA POTROŠNJE ENERGIJE U DOMAĆINSTVIMA

Struktura potrošnje energije analizirana je na razini korisne energije da bi se izdvojio utjecaj različitih efikasnosti upotrebe pojedinih finalnih oblika energije i njihove strukture te, nakon toga, i na razini finalne potrošnje.

### 8.1. Struktura potrošnje topline u domaćinstvima

Povećanje broja stanovnika, porast stambenoga i životnog standarda u SR Hrvatskoj u razdoblju od 1961. do 1981. godine praćen je udvostručenjem toplinske potrošnje u domaćinstvima (sl. 8). Dinamiku te potrošnje karakterizira usporenje u prvoj polovici sedamdesetih godina i nagli rast u drugoj polovici. Privredna depresija nakon 1979. godine, pad životnog standarda i teškoće s osiguranjem energenata

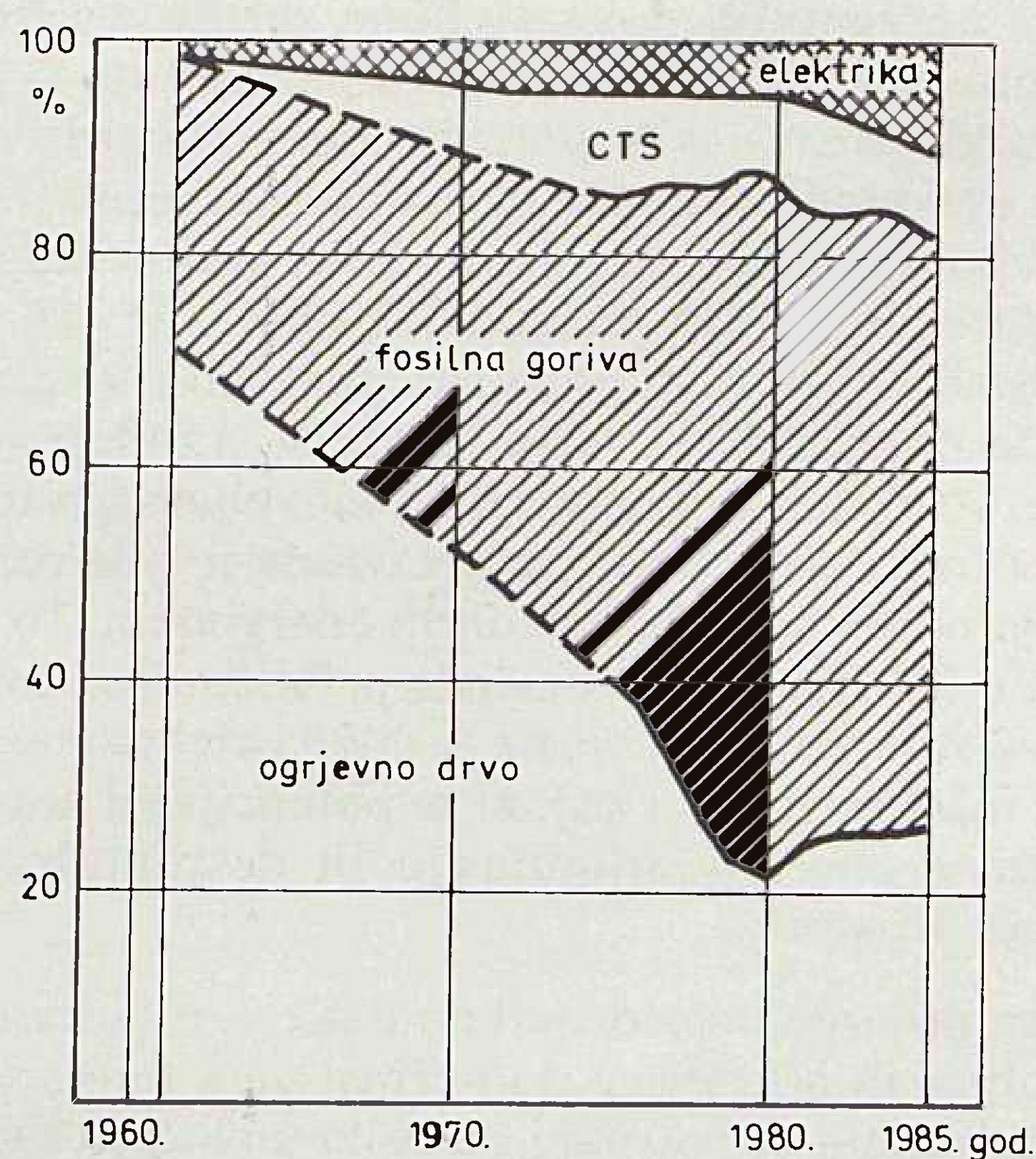


Slika 8. Struktura potrošnje korisne energije za toplinske potrebe u domaćinstvima SR Hrvatske

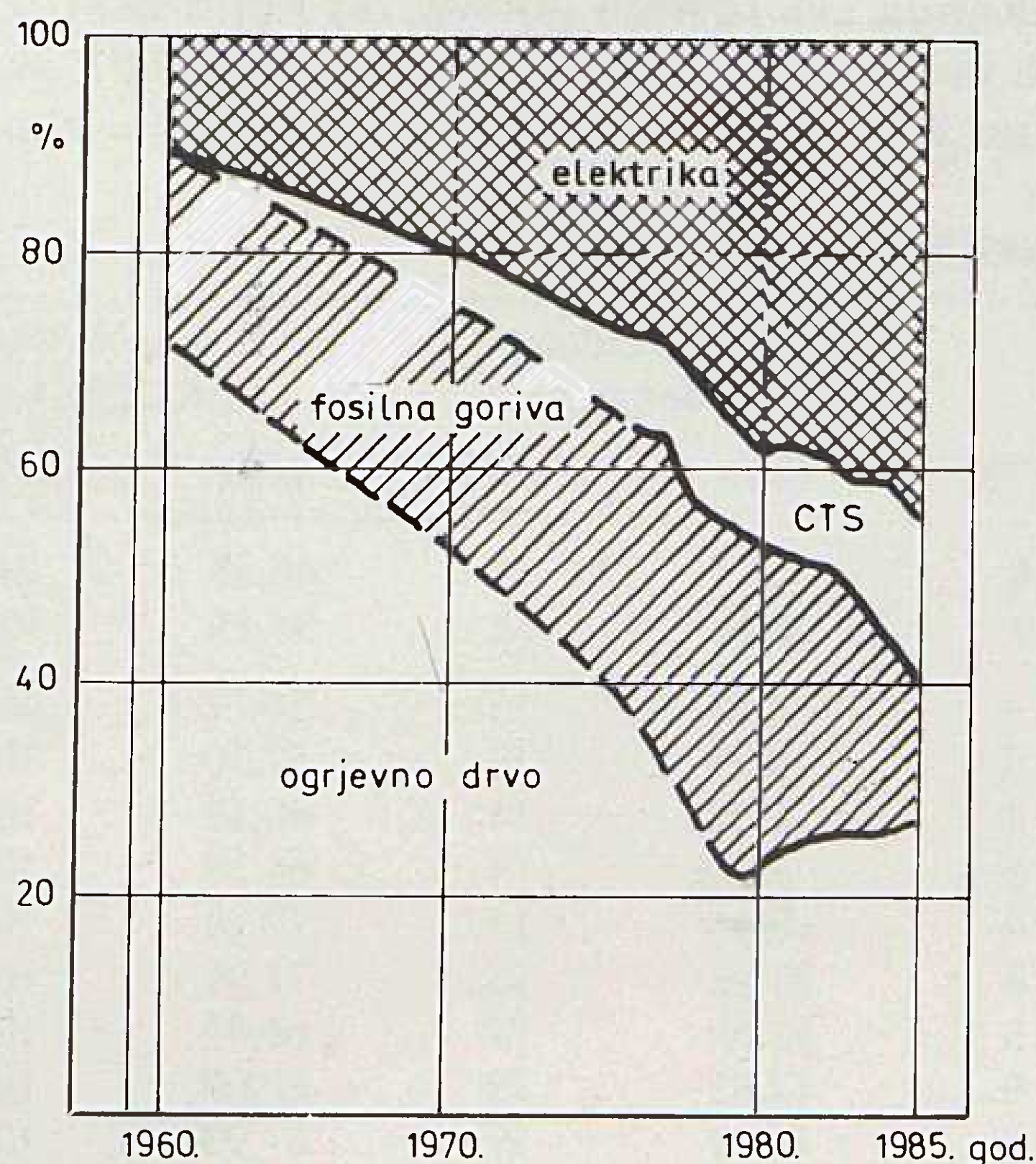
izazivaju apsolutni pad toplinske potrošnje u domaćinstvima, koja 1985. godine još nije dosegla razinu iz 1979. godine.

U ukupnoj toplinskoj potrošnji najbrže je rastao standard grijanja (sl. 7), koji danas pokriva 73% toplinske potrošnje. Higijenski standard (priprema tople vode) rastao je sporije, što odgovara i rastu udjela stanova s kupaonicom, koji je 1971. godine iznosio 41%, a 1981. god. 57%. S obzirom na klimatske karakteristike SR Hrvatske i njima određene potrebe grijanja, nisku zastupljenost stanova s centralnim grijanjem i kupaonicama, relativno je visok udio topline za kuhanje u, ukupnim toplinskim potrebama (oko 12%) u odnosu prema većini zemalja Zapadne i Istočne Evrope.

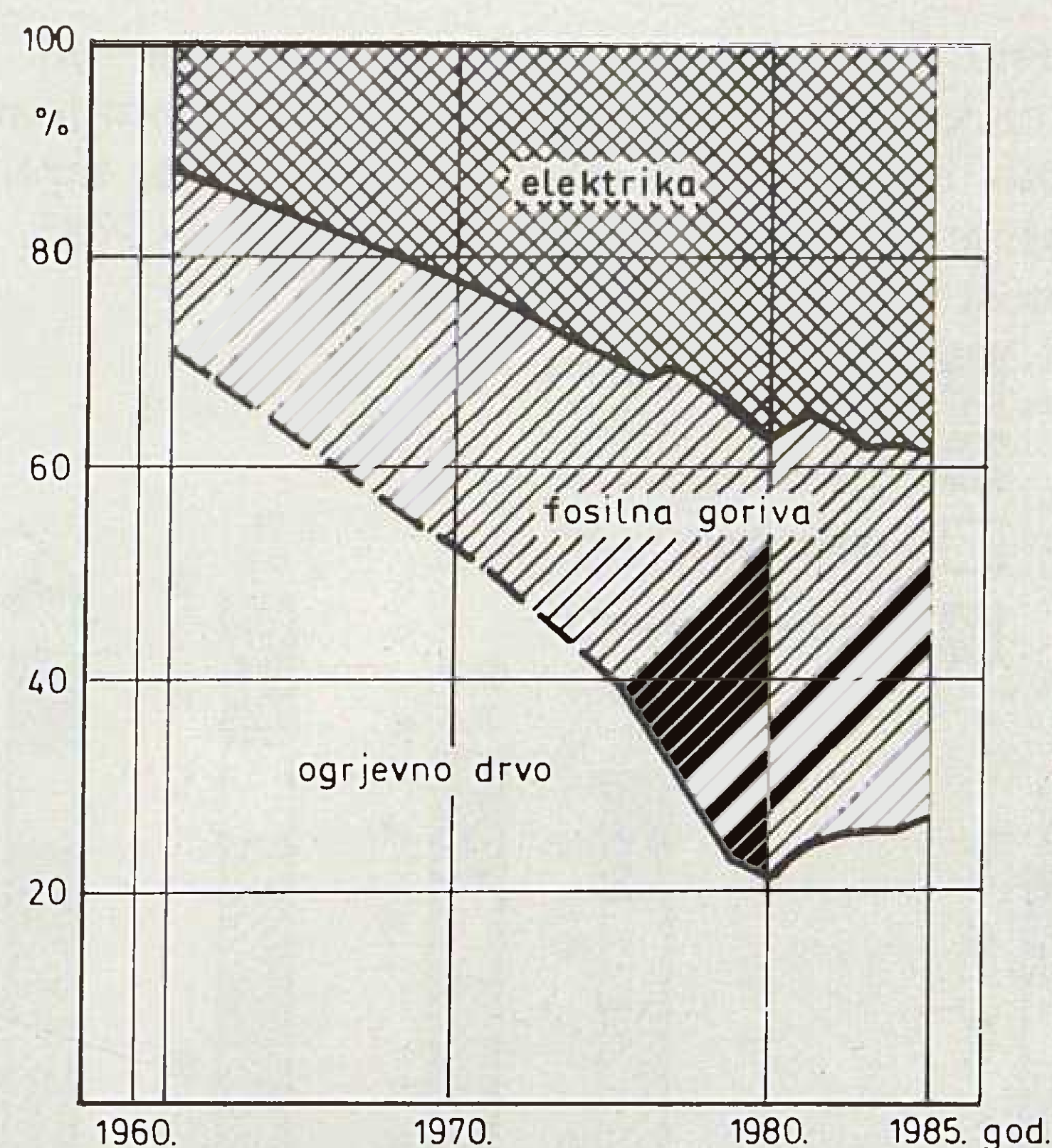
Primijenjenim je modelom određena i struktura pojedinih oblika energije u potrošnji korisne toplinske



Slika 9. Struktura pojedinih oblika energije u zadovoljavanju korisnih toplinskih potreba za grijanje stanova



Slika 10. Struktura pojedinih oblika energije u zadovoljavanju korisnih toplinskih potreba za pripremu tople vode



Slika 11. Struktura pojedinih oblika energije u zadovoljavanju korisnih toplinskih potreba za kuhanje

energije za grijanje stanova, pripremu tople vode i kuhanje (sl. 9, 10. i 11).

Ogrjevno je drvo 1961. god. zadovoljavalo oko 70% toplinskih potreba domaćinstava, a do 1980. godine taj je udio naglo pao na 22%, a zatim se do 1985. godine povećao na 27%.

U grijanju prostorija ogrjevno je drvo do 1980. godine zamijenjeno fosilnim gorivima, koja 1979. god. čine 65%, te djelomično električnom energijom i toplinom iz CTS-a. Nakon 1980. godine udio fosilnih goriva u grijanju stanova smanjio se na štetu ogrjevnog drveta i električne energije.

Od 1980. do 1985. god. udio električne energije u grijanju prostorija udvostručio se sa 5% na 10%.

U pripremi tople vode električna je energija zbog vrlo sporog povećanja broja stanova s centralnim grijanjem zauzimala sve veći dio, pa se danas više od 40% tople vode priprema pomoću električne energije.

U strukturi potrošnje topline za kuhanje ogrjevno je drvo s vremenom ravnomjerno zamijenjeno električnom energijom i fosilnim gorivima. Modelom je ocijenjeno da je danas udio električne energije malo niži od 40%. Prema (L 21), 1981. god. procjenjivalo se da će taj udio 1985. godine iznositi:

u SAD	53%
u Zapadnoj Evropi	30%
u Istočnoj Evropi	25%
u SSSR-u	16%,

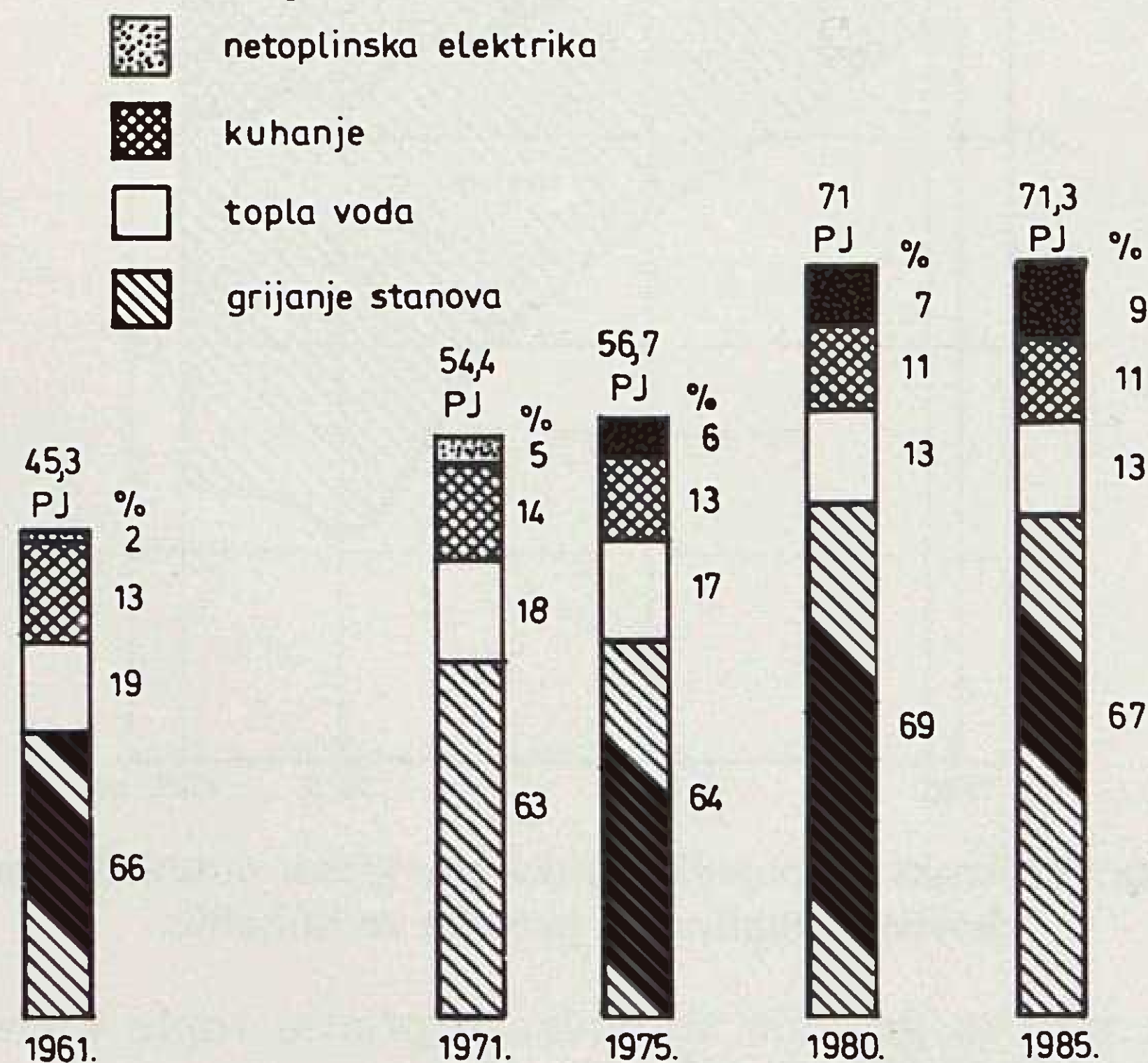
što, osim u SAD, znači znatno veći udio fosilnih goriva u zadovoljavanju toplinskih potreba kuhanja.

## 8.2. Struktura finalnih oblika energije u domaćinstvima

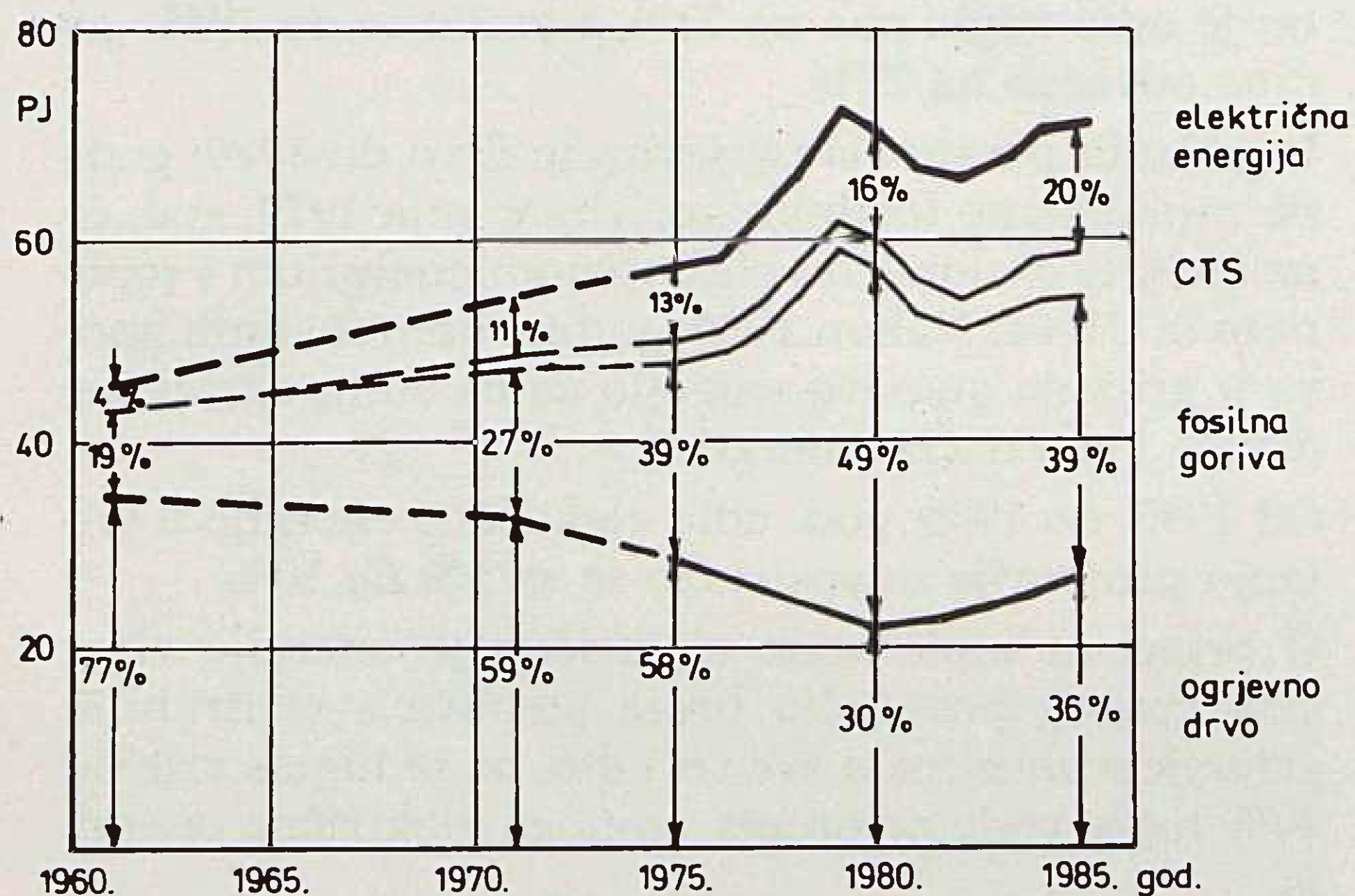
U strukturi finalne potrošnje energije prema namjeni, uključujući i potrošnju električne energije za ne-toplinske potrebe (sl. 12) na grijanje prostorija kao



pretežnu kategoriju otpada malo manje od 70%. Udio električne energije za netoplinsku namjenu postepeno raste, pogotovo zbog smanjenja toplinske potrošnje nakon 1979. godine, pa taj udio 1985. godine iznosi 9%.



Slika 12. Struktura potrošnje finalne energije u domaćinstvima SR Hrvatske prema kategorijama potreba



Slika 13. Struktura finalnih oblika energije u domaćinstvima SR Hrvatske

Konačno, na slici 13. i u tablici 8. prikazan je strukturni razvoj finalnih oblika energije predanih domaćinstvima. Udio ogrjevnog drveta pao je od 1961. do 1980. godine sa 77% na 30%, a udio fosilnih goriva naglo je porastao, pogotovo nakon 1975. godine, a 1979. postigao je maksimum od 50%. Nakon te godine zastupljenost fosilnih goriva polako se spušta a 1985. iznosi 39%. Udio ogrjevnog drveta ponovo se povećava do 36%. U cijelome promatranom razdoblju udio električne energije stalno raste i 1985. godine iznosi 20%.

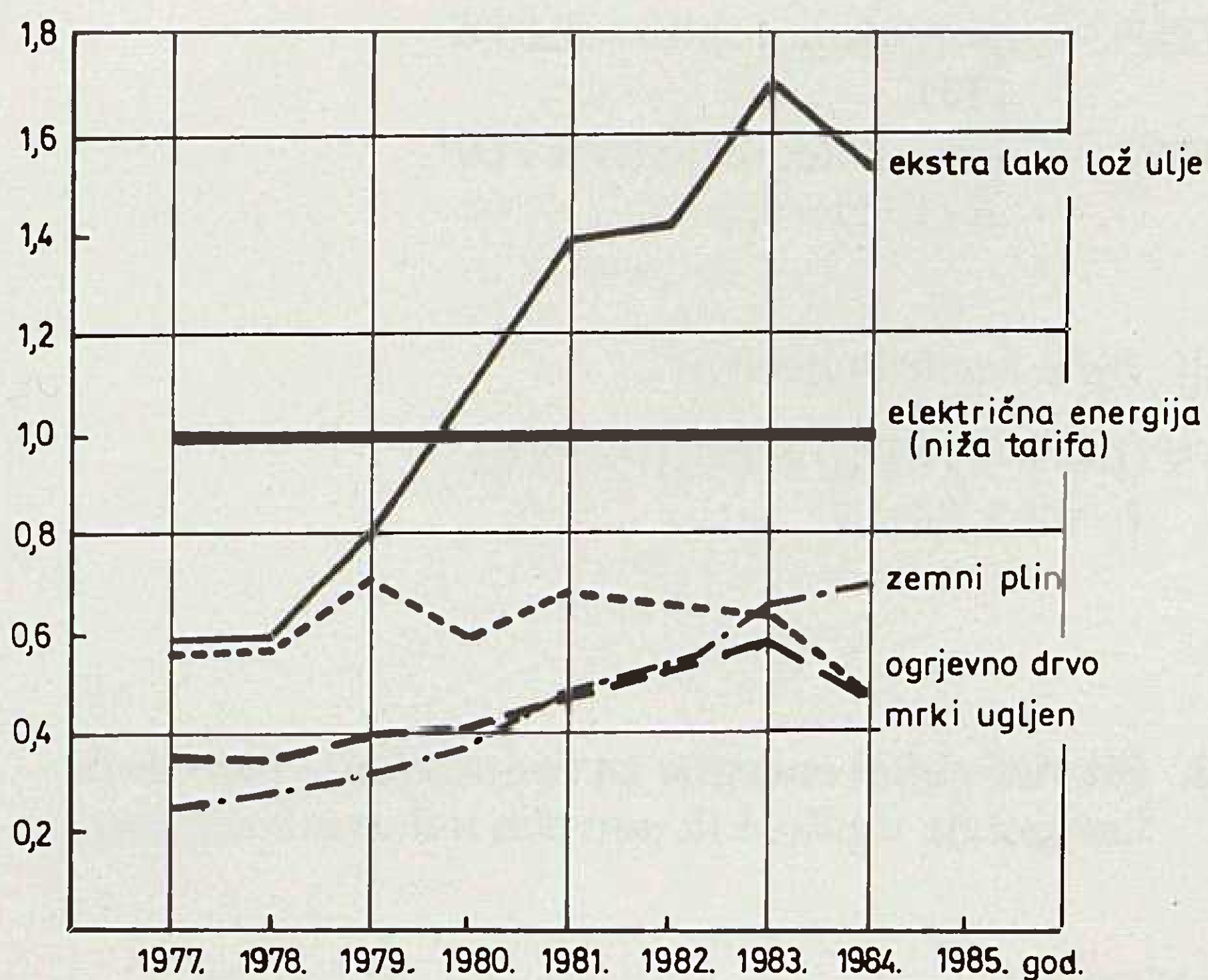
### 8.3. Utjecaj pariteta cijena energenata na strukturu njihove potrošnje u domaćinstvima

U poglavlju 7. pokazano je da je razinu potrošnje energije u domaćinstvima u osnovi moguće povezati čak i s agregatnim pokazateljima razine društveno-ekonomskog razvoja. Struktura energenata u zadovoljavanju energijskih potreba domaćinstava također je djelomično vezana za razinu razvijenosti društva. Udio ogrjevnog drveta do 1980. godine naglo se smanjivao. To je bio rezultat kontinuirane urbanizacije. Stalni rast zastupljenosti pojedinih kućanskih aparata pokazatelj je rasta životnog standarda. Međutim, struktura energenata u zadovoljavanju toplinskih potreba domaćinstava uglavnom je bila rezultat razvoja odnosa cijena pojedinih energenata. Te su se cijene u SR Hrvatskoj razvijale približno kao na slici 14. Kao referentna odbrana je cijena električne energije u nižoj tarifi, ona kojom se potencijalni korisnici električne energije stimuliraju ili destimuliraju za grijanje prostorija.

Naime, grijanje prostorija kao najizrazitija kategorija toplinskih potreba u domaćinstvima najpodložnija je promjeni energenata i trošila u slučaju bitnijeg poskupljenja nekog energenta u odnosu prema konkurentnim energentima. U razdoblju 1977–1984. godine, u odnosu prema električnoj energiji relativno su poskupila sva fosilna goriva, od kojih ekstra lako lož ulje i apsolutno od 1980. god. Nakon 1981. godine ogrjevno je drvo relativno jeftinije i u odnosu prema

Tablica 8. Struktura finalnih oblika energije u domaćinstvima SR Hrvatske

God.	Ogrjevno drvo		Fosilna goriva		CTS		Električna energija		Domaćinstva UKUPNO	
	(PJ)	(u %)	(PJ)	(u %)	(PJ)	(u %)	(PJ)	(u %)	(PJ)	(u %)
1961.	34,78	77	8,67	19	0	0	1,93	4	45,38	100
1971.	32,37	59	14,66	27	1,48	3	5,94	11	54,45	100
1975.	28,22	50	18,68	33	2,16	4	7,65	13	56,71	100
1976.	26,64	46	20,71	36	2,34	4	8,01	14	57,70	100
1977.	25,14	42	24,03	40	2,51	4	8,50	14	60,18	100
1978.	23,72	36	30,16	45	3,20	5	9,30	14	66,38	100
1979.	22,39	31	36,43	50	2,96	4	10,46	15	72,24	100
1980.	21,13	30	35,11	49	3,30	4	11,52	16	71,06	100
1981.	21,97	33	29,75	45	3,15	5	11,60	17	66,47	100
1982.	22,85	35	28,03	42	3,07	5	12,05	18	66,00	100
1983.	23,76	35	28,35	42	2,97	4	12,82	19	67,90	100
1984.	24,70	35	29,01	41	3,41	5	13,43	19	70,55	100
1985.	25,69	36	27,67	39	3,41	5	14,56	20	71,33	100



Slika 14. Paritet cijena energenata na pragu kućanstava u SR Hrvatskoj

električnoj energiji i prema svim fosilnim gorivima. Uz uvažavanje utjecaja poremećaja u opskrbi fosilnim gorivima od 1980. do 1983. godine, takvi su se odnosi cijena direktno odrazili na promjenu strukture energenata u zadovoljavanju potreba za grijanje prostorija (sl. 9) tako da je dio fosilnih goriva zamijenjen električnom energijom i ogrjevnim drvetom. Naravno, i relativna se promjena odnosa cijena pojedinih fosilni goriva odrazila na njihovu strukturu, što je vidljivo iz slike 5.

## 9. ZAKLJUČAK

Izloženi primjer strukturne analize potrošnje energije u domaćinstvima SR Hrvatske upozorava na sljedeće:

- \* Analiza je bazirana na vrlo velikom broju podataka o ostvarenoj potrošnji energije te o društveno-ekonomskom, demografskom i tehnološkom razvoju. Unatoč tome što su mnogi iznosi utjecajnih veličina procijenjeni, takva analiza omogućuje određivanje dosega utjecaja svake odrednice energetske potrošnje.
- \* Analizom se korisna potrošnja topline razlikuje od potrošnje finalnih energenata za zadovoljavanje korisnih potreba, a na primjeru SR Hrvatske pokazano je kako struktura energenata i dugoročni razvoj efikasnosti upotrebe energenata na trošilima može značiti bitnu razliku u brzini rasta korisne i finalne potrošnje energije. To zapravo znači da na ostvarenjima utvrđena ovisnost finalne potrošnje energije i bilo kojeg pokazatelja ekonomskog razvoja u budućnosti neće vrijediti.
- \* Na primjeru SR Hrvatske pokazano je da je razina korisnih toplinskih potreba u domaćinstvima funkcija životnog standarda, klimatskih uvjeta, navika i običaja, a struktura energenata rezultat je energetske politike, koja se najbolje očituje u odnosima njihovih cijena.

\* Analiza potrošnje električne energije u domaćinstvima gotovo je nemoguća ako se ne odvoji potrošnja za toplinske namjene od one za netoplinske.

\* Raščlanjivanje potrošnje energije na više odrednica omogućuje kvantitativno prepoznavanje utjecajnih veličina i na taj način onemogućuje prebacivanje utjecaja na neke manje važne odrednice, što je pri analizi pomoću agregatnih pokazatelja gotovo uvijek slučaj.

## PRILOG A

### MATEMATIČKI MODEL ODREĐIVANJA STRUKTURE POTROŠNJE ENERGIJE U DOMAĆINSTVIMA

U modelu je korisna toplinska energija u domaćinstvima svrstana u tri kategorije: grijanje prostora, priprema tople vode i kuhanje. Netoplinske potrebe električne energije, naravno, analizirane su u finalnom obliku.

Predviđena su četiri finalna oblika energije: drvo, električna energija, toplina iz CTS-a (centralizirani toplinski sistem) i fosilna goriva. Fosilna se goriva analiziraju globalno kao zbroj tekućih i plinovitih goriva te svih vrsta ugljena.

Sve potrošnje energije odnose se na godišnje iznose!

#### 1. Korisne potrebe toplinske energije

##### a) Toplinske potrebe za grijanje stanova

$$SH = SH(1) + SH(2) \quad (TJ)$$

$$SH(i) = DW \cdot PRESH(i) \cdot ARSH(i) \cdot SHDW(i) \quad (TJ)$$

$$i = 1, 2$$

- $i = 1$  — indeks centralno grijanih stanova
- $i = 2$  — indeks sobno grijanih stanova
- $SH$  — toplinske potrebe za grijanje stanova
- $DW$  — broj stanova ( $10^6$  stanova)
- $PRESH(i)$  — relativan udio stanova tipa (i) u ukupnom broju stanova  $DW$
- $ARSH(i)$  — prosječna kvadratura stana tipa (i) ( $m^2$ /stan)
- $SHDW(i)$  — toplinske potrebe za grijanje po  $m^2$  stana tipa (i) ( $MJ/m^2$ )

##### b) Toplinske potrebe za pripremu tople vode

$$HW = DW \cdot HWCAP \cdot CAPH \quad (TJ)$$

$HWCAP$  — potreba tople vode po stanovniku ( $MJ$ /stanovnik)

$CAPH$  — broj stanovnika po stanu (stanovnik/stan)

c) *Toplinske potrebe za kuhanje*

$$COOK = PO \cdot COOKCA \quad (TJ)$$

$PO$  — broj stanovnika ( $10^6$  stanovnika)

$COOKCA$  — potrebe topline za kuhanje po stanovniku (MJ/stanovnik)

d) *Toplinske potrebe uslužne djelatnosti*

$$THSER = ARSER \cdot SHSER \quad (TJ)$$

$ARSER$  — prostorna kvaratura uslužne djelatnosti ( $10^6$  m<sup>2</sup>)

$SHSER$  — toplinske potrebe po m<sup>2</sup> uslužne djelatnosti (MJ/m<sup>2</sup>)

2. **Udjeli pojedinih oblika finalne energije u kategorijama toplinskih potreba**a) *Udio ogrjevnog drveta*

$$RDR = DRVO \cdot ETADR / (SH + HW + COOK)$$

$DRVO$  — finalna potrošnja ogrjevnog drveta (TJ)

$ETADR$  — prosječna efikasnost upotrebe ogrjevnog drveta za sve toplinske potrebe u domaćinstvima

$$PD(j) = RDR \quad j = 1, 2, 3$$

$PD(j)$  — relativan udio ogrjevnog drveta u zadovoljenju toplinskih potreba za kategorije:  
 $j = 1$ , grijanje prostorija  
 $j = 2$ , toplu vodu  
 $j = 3$ , kuhanje  
 $j = 4$ , toplina u uslužnoj djelatnosti

b) *Udio električne energije*

$$US(1) = SH$$

$$US(2) = HW$$

$$US(3) = COOK$$

$$US(4) = THSER$$

$$PE(j) = ELDO \cdot REL(j) \cdot ETAEL(j) / US(j) \quad j = 1, 2, 3$$

$$PE(4) = ELSER \cdot ETAEL(4) / US(4)$$

$ELDO$  — ukupna potrošnja električne energije u domaćinstvima (TJ)

$ELSER$  — ukupna potrošnja električne energije u uslužnoj djelatnosti (TJ)

$REL(j)$  — relativan udio potrošnje električne energije za kategoriju (j)

$ETAEL(j)$  — efikasnost upotrebe električne energije za kategoriju (j)

c) *Udio CTS-a*

$$PT(j) = TOP \cdot RTO(j) / US(j)$$

$$j = 1, 2, 3, 4$$

$TOP$  — potrošnja topline iz CTS (TJ)

$RTO$  — udio kategorije (j) u  $TOP$   
 $RTO(3) = 0$ .

d) *Udio fosilnih goriva*

$$PF(j) = 1 - (PD(j) + PE(j) + PT(j)) \quad j = 1, 2, 3, 4$$

3. **Finalni oblici energije za zadovoljenje pojedinih kategorija toplinskih potreba u domaćinstvima**a) *Ogrjevno drvo*

$$DRV(j) = US(j) \cdot PD(j) / ETADR \quad (TJ)$$

$$j = 1, 2, 3$$

b) *Električna energija*

$$ELE(j) = US(j) \cdot PE(j) / ETAEL(j) \quad (TJ)$$

$$j = 1, 2, 3, 4$$

c) *Toplina iz CTS-a*

$$CTS(j) = US(j) \cdot PT(j)$$

$$j = 1, 2, 3, 4$$

d) *Fosilna goriva*

$$FOS(j) = US(j) \cdot PF(j) / ETAF(j) \quad (TJ)$$

$$j = 1, 2, 3, 4$$

$ETAF(j)$  — efikasnost upotrebe fosilnih goriva za kategorije (j)

4. **Korisna i finalna potrošnja energije u domaćinstvima**

— Toplinske potrebe u domaćinstvima

$$TD = SH + HW + COOK \quad (TJ)$$

— Finalna potrošnja energije za toplinske potrebe u domaćinstvima

$$FDT = \sum_{j=1}^3 DRV(j) + ELE(j) + CTS(j) + FOS(j) \quad (TJ)$$

— Potrošnja električne energije za netoplinske potrebe u domaćinstvima

$$ELN = ELDO \cdot \left(1 - \sum_{j=1}^3 REL(j)\right) \quad (TJ)$$

— Ukupna finalna potrošnja energije u domaćinstvima

$$FD = FDT + eln \quad (TJ)$$

## LITERATURA

- [1] Annual Bulletin of  
— General Energy Statistics for Europe  
— Electric Energy Statistics for Europe  
— Gas Statistics for Europe  
— Coal Statistics for Europe  
United Nations, New York, 1970-1984.
- [2] Energy Policies and Programmes of IEA Countries 1985  
OECD, 1986.
- [3] Coal Information 1985, OECD, 1986.
- [4] Energetski bilans SFRJ 1981-1985, Savezni zavod za statistiku, Beograd
- [5] Energetski godišnjak Jugoslavije 1980, Institut za ekonomiku industrije, Beograd, 1982.
- [6] Interni podaci za potrošnju malih potrošača u SR Hrvatskoj
- [7] J. ZAPLOTNIK, M. WEBER: »Možnosti racionalizacije porabe električne energije v Sloveniji«, Elektroinštitut Milan Vidmar, Ljubljana, 1984.
- [8] »Ekonomika uključivanja MTK sistemov v distribucijsko omrežje«, Elektroinštitut Milan Vidmar, Ljubljana, 1982.
- [9] MIROSLAV BALLING: »Energetske podloge za dimenzioniranje distributivnih mreža «Elektra-Zagreb«, Zagreb, 1962.
- [10] VLADIMIR STENGL, DRAGAN BOROJEVIĆ: »Neka mogućnosti za analizu energetskih karakteristika kućanstva«, Energija, br. 7-8, 1965.
- [11] RIHARD SCHENNER, RUDOLF ŠIMUNEC: »Mjerenje otporenja i potrošnje električne energije u gradskim kućanstvima«
- [12] JOSIP MOSER: »Idejno rješenje električne mreže grada Skopja«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1977.
- [13] JOSIP NEVEŠČANIN: »Sekcioniranje supstitibilnih oblika široke potrošnje i analiza stanja i dosadašnjeg razvoja gradskog elektrodistributivnog sustava u razdoblju 1975-1985. god.«, Split, 1985.
- [14] PETAR POTIĆ, SLOBODAN JOKSIMOVIĆ, ĐORĐE KALIĆ: »Racionalno korišćenje električne energije u sistemu SR Srbije«, Elektrotehnički institut »Nikola Tesla«, Beograd, 1984.
- [15] Savjetovanje o energiji, Zbornik referata, Opatija, 1985. i 1986.
- [16] Savjetovanje o racionalizaciji korišćenja električne energije, Zajednica jugoslavenske elektroprivrede, Obrenovac, 1984.
- [17] Z. KOMERIČKI: »Potrošnja energije kod malih potrošača«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1975.
- [18] Tržišne informacije, Zavod za tržišna istraživanja, Zagreb, 1982.
- [19] D. PEŠUT, I. ŠIMURINA: »Struktura potrošnje električne energije i projekcija do 2020. godine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.
- [20] B. VIDAS: »Potrošnja naftinih derivata kod malih potrošača (1961-1972)«, INA institut, Zagreb, 1973.
- [21] Materijali sa »IAEA Training Course in Electricity Demand Forecasting«, Argonne, Illinois USA, 1985.
- [22] Tržišna informacija, Zavod za tržišna istraživanja, Zagreb, 1986.
- [23] Snabdjevenost domaćinstva trajnim potrošnim dobrima, Statistički bilten 1302, St. 5, Beograd, 1982.
- [24] H. SCHAEFER: »Struktur und Analyse des Energieverbranch der Bundesrepublik Deutschland«, Resch-Verlag, München, 1980.
- [25] Program za racionalizaciju proizvodnje, transformacije, transporta i potrošnje energije u SR Sloveniji, Republički komitet za energetiku SR Slovenije, 1978.
- [26] Statistički godišnjaci SFRJ za 1975, 1980, 1986. godinu, Savezni zavod za statistiku
- [27] Statistički godišnjaci SR Hrvatske za 1978. i 1985. godinu, Republički zavod za statistiku
- [28] Anketa o porodičnim budžetima radničkih domaćinstava, Statistički bilteni 965. i 1441, Savezni zavod za statistiku
- [29] Godišnjak elektroprivrede Hrvatske 1984, Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske
- [30] Statistical Yearbook 1979/80, United Nations, New York, 1981.
- [31] Grupa autora: Ekonomika Jugoslavije, opći dio, Informator Zagreb, 1980.

**ANALYSIS OF POWER CONSUMPTION IN YUGOSLAVIA AND SR CROATIA  
STRUCTURE OF POWER CONSUMPTION IN HOUSEHOLDS SR CROATIA (II PART)**

In the article are analysed effective and final power consumptions in households of SR Croatia and it is concluded that it develops with different grades. Power consumption is analysed as a complex model with several impact factors.

**ANALYSE DES ENERGIEVERBRAUCHS IN JUGOSLAWIEN UND DER SR KROATIEN  
STRUKTUREN DES ENERGIEVERBRAUCHES IN DEN HAUSHALTEN DER SR KROATIEN**

Im Artikel analysiert man den nützlichen und finalen Energieverbrauch in den Haushalten der SR Kroatien. Man stellt fest, daß er mit einer unterschiedlichen Geschwindigkeit wächst. Der Energieverbrauch wird in Abhängigkeit einer Anzahl verschiedener Einflußgrößen betrachtet.

**АНАЛИЗ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЮГОСЛАВИИ И СР ХОРВАТИИ**

В статье анализируется полезное и финальное энергопотребление в хозяйствах СР Хорватии и делается вывод, что оно повышается с различными скоростями. Энергопотребление рассматривалось в зависимости от большого числа влияющих величин.

Naslov pisaca:

**Mr. Damir Pešut, dipl. inž.**

**Mr. Jakša Topić, dipl. inž.**

**Institut za elektroprivredu,**

**41000 Zagreb,**

**Proleterskih brigada 37,**

**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis

1988-02-26

# TPK

INDUSTRIJA TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA,  
PROCESNE OPREME I KOTLOVA s n. sol. o. OOUR-a,  
ZAGREB



Telefon: (041) 216-666

\*

Telegram: TEPEKA — Zagreb

\*

Telex: 21-319 YU TPK ZG

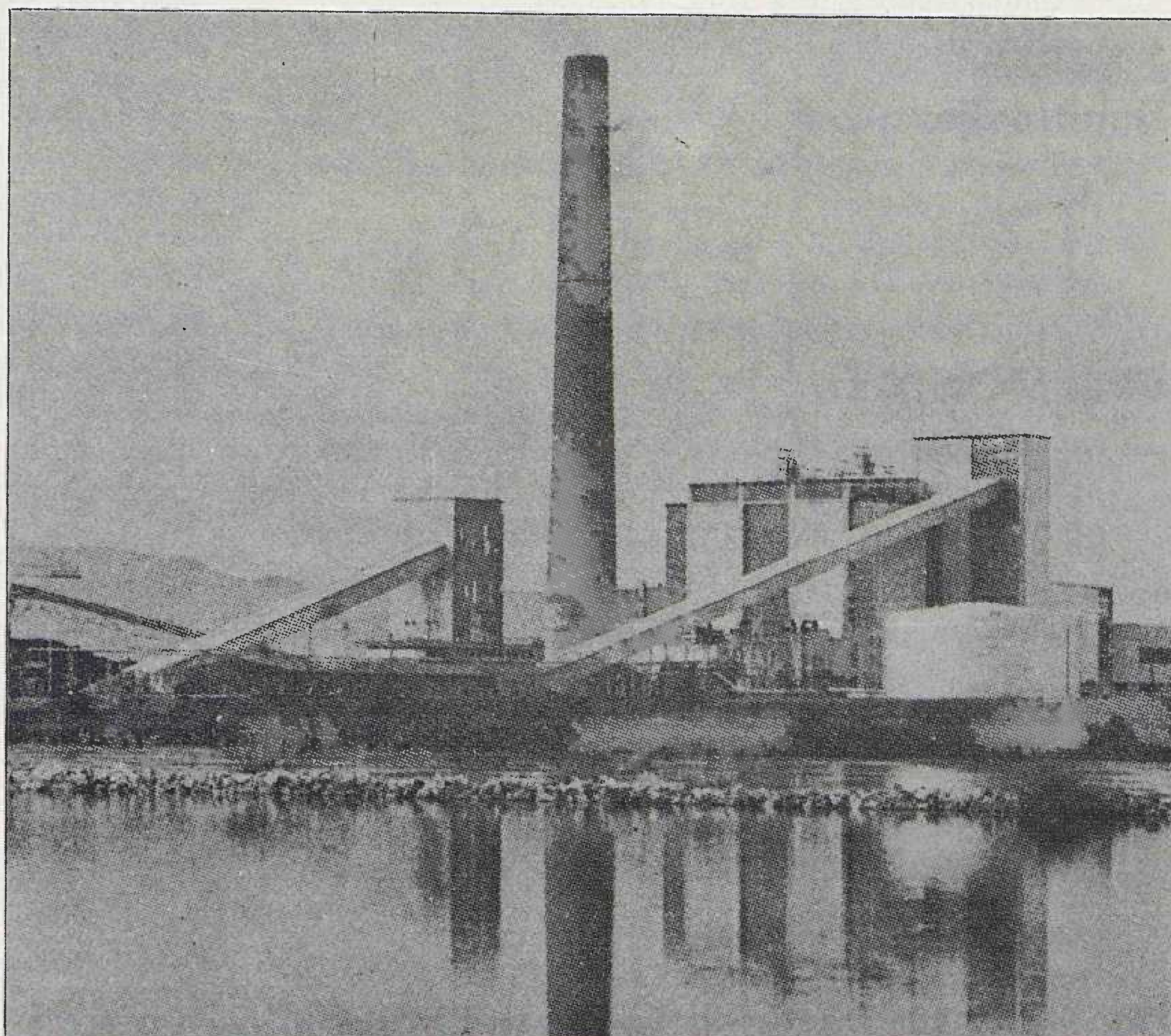
## Projektira

## Proizvodi

## Konstruira

## Montira

## Izvodi



### STACIONARNE KOTLOVE

po vlastitoj dokumentaciji i u suradnji do najvećih učina, tlakova i temperatura pare ili vode: za centralna grijanja • za daljinska grijanja • za tehnološke procese • za pogon parostrojeva • za baznu energetiku

### BRODSKE KOTLOVE

po vlastitoj dokumentaciji i po licenci: glavne: • pomoćne: na naftu, na ispušne plinove, kompozitne itd.

### ELEMENTE KOTLOVA

bubnjeve • cijevne sisteme • zagrijače vode • zagrijače zraka • pregrijače pare • čelične konstrukcije itd.

### OPREMU KOTLOVNICA

uređaje za kemijsku pripremu vode • uređaje za toplinsku pripremu vode • cjevovode • hladnjake pare • spremnike goriva • razne posude pod tlakom • prečistače dimnih plinova • limene dimnjake • uređaje za transport goriva itd.

### UREĐAJE ZA LOŽENJE

nepokretne roštilje • pokretne roštilje • mlinska ložišta • plinska ložišta • pneumatska ložišta • ložišta za drvenu piljevinu i otpatke • ložišta za ulja • ložišta za plin • drobilice i izbacivače šljake itd.

### OPREMU ZA PROCESNU INDUSTRIJU

za petrokemijsku industriju • za farmaceutsku industriju • za prehrambenu industriju • za industriju građevinskog materijala • za metalurgiju itd.

### BRODSKU OPREMU

spremnike • bojlere • hidrofore • rashladnike • zagrijače itd.

### ARMATURE

ventile ravne, kose i kutne: zaporne, zapornoodbojne, odbojne, regulacione, sigurnosne • hvatala nečistoće • glave za napajanje • termodinamička odvajala kondenzata • kondezne lonce • vodokaze • regulatore vodostaja • ispusne pipe • slavine • priрубnice za navarivanje itd.

### ELEMENTE ENERGETSKIH UREĐAJA

posude pod tlakom • izmjenjivače topline • razne spremnike • podnice itd.

### OPREMU ZA TEHNOLOŠKE PROCESE

za zagrijavanje i toplinske obrade • za transport limova, profila i cijevi • pomoćnu za zavarivanje • za uvaljavanje cijevi itd.

### PRIBORE

za pogonska ispitivanja vode • za utvrđivanje kvalitete radiograma • za toplinska mjerenja itd.

### SERVISIRANJE ENERGETSKIH POSTROJENJA

REKONSTRUKCIJE ENERGETSKIH POSTROJENJA

### LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

defektoskopska • kemijska • metalografska • mehanička itd.

### ATESTACIJU ZAVARIVAČA

RAZVOJNA ZNANSTVENA ISTRAŽIVANJA

# PROGRAMSKI SUSTAV RIMA ZA PRORAČUN KRATKOG SPOJA U ELEKTROENERGETSKIM MREŽAMA

Mr. Davor Nevečerel, Zagreb

UDK 621.311.161  
PREGLEDNI RAD

U članku je prikazan programski sustav RIMA za proračun kratkog spoja u elektroenergetskim mrežama. Opisani su glavni programi u programskom sustavu i način zajedničkog rada. Rad s programskim sustavom prikazan je na primjeru mreže Hrvatske 1990.

**Ključne riječi:** kratki spoj, analiza elektroenergetskog sistema, programski paket.

## 1. UVOD

Programski sustav RIMA je nastao u kontinuitetu računanja kratkih spojeva u Institutu za elektroprivredu, Zagreb. On omogućuje jednostavnu provedbu proračuna kratkog spoja u nekoj zadanoj mreži u sastavu prijenosne 400, 220 i 110 kV-tne mreže Jugoslavije, kao i dobivanje izvještaja o svim ulaznim parametrima elemenata prijenosnog sistema koji promatramo. To je omogućeno skladnom komunikacijom ulaznih programa baze podataka, redukcije pasivne elektroenergetske mreže i programa za kratki spoj. O zajedničkom radu programa za redukciju i kratki spoj već je pisano [8], pa je cilj ovog članka da opisom cijeloga programskog sustava upozori na kompleksnost pristupa proračunima kratkog spoja u elektroenergetskim mrežama.

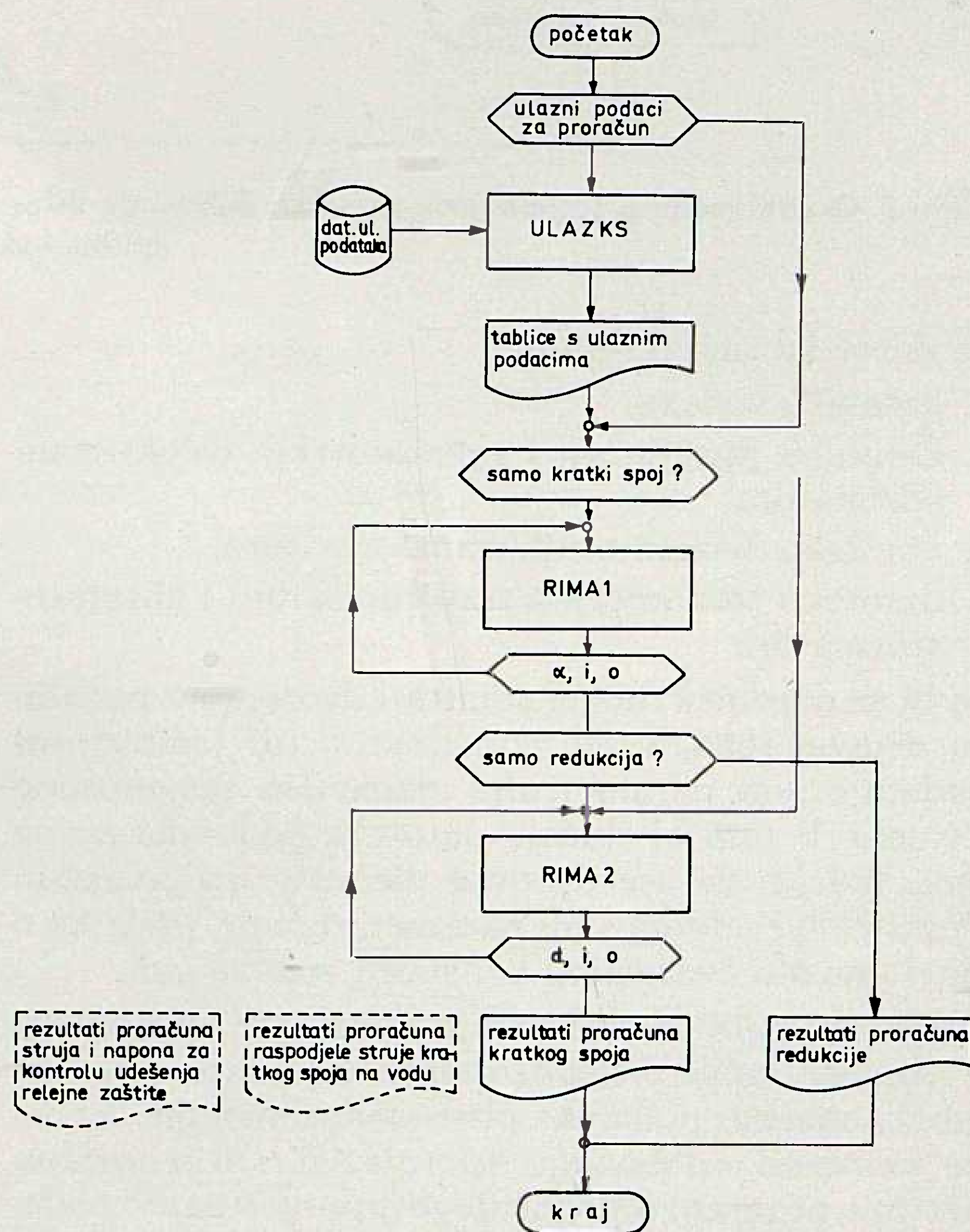
## 2. OPIS PROGRAMSKOG SUSTAVA RIMA

Programski sustav RIMA sastoji se od tri glavna programa. To su:

1. program ULAZKS za manipulaciju ulaznim podacima,
2. program RIMA1 za redukciju pasivne elektroenergetske mreže,
3. program RIMA2, za proračun kratkog spoja u pasivnim elektroenergetskim mrežama.

Programski je sustav tako koncipiran da omogućuje proračun kratkog spoja u mreži čiji su podaci pohranjeni u datoteci ulaznih podataka i programima ULAZKS i RIMA1 pripremljeni za zadani proračun. Osim toga, omogućuje neovisno aktiviranje svakoga navedenog programa zasebno, ili u nekoj međusobnoj kombinaciji, prema potrebi.

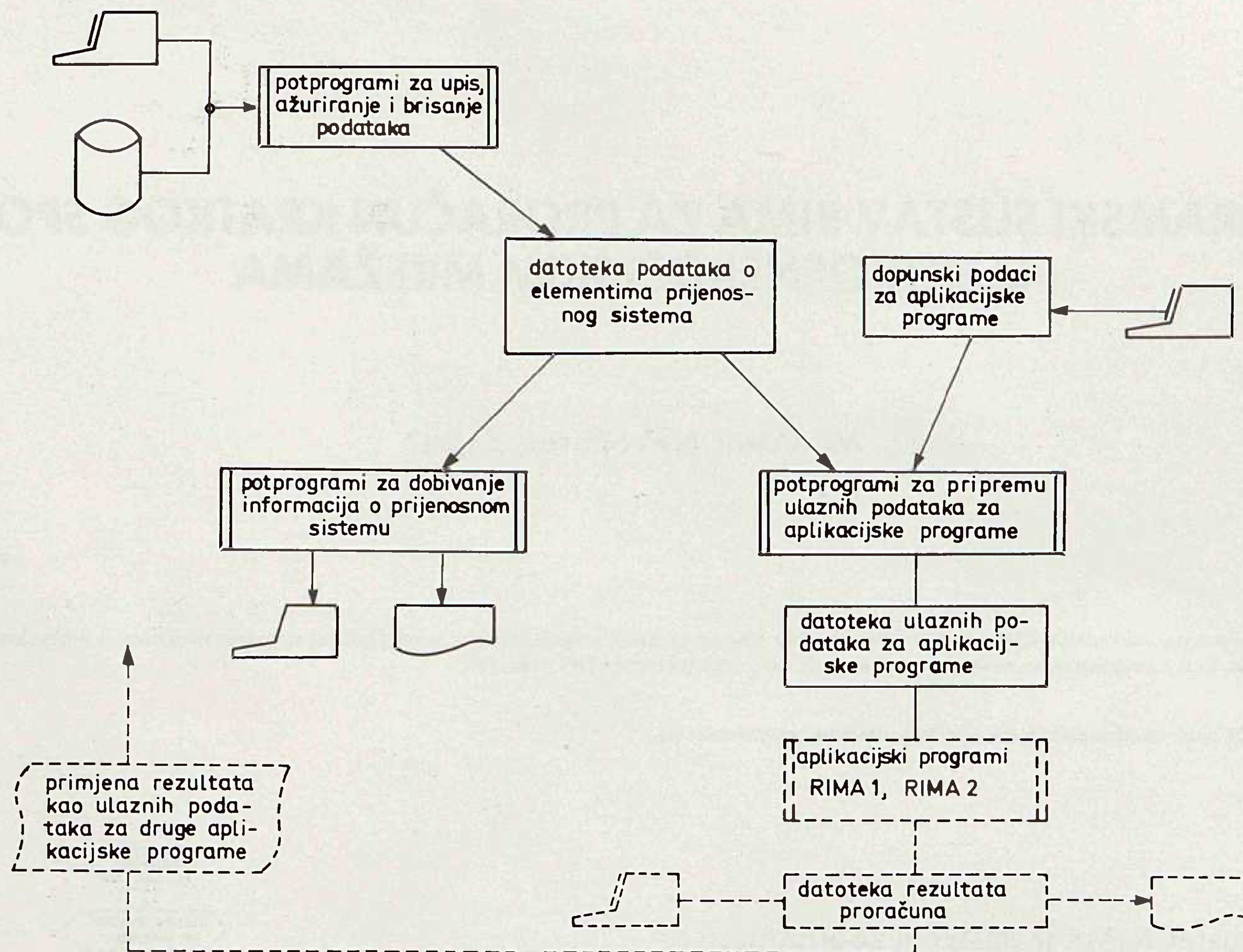
Blok-shema programskog sustava RIMA prikazana je na slici 1, na kojoj je istaknuta organizacija proračuna u sustavu simetričnih komponenata.



Slika 1. Blok-shema programskog sustava RIMA

## 3. PROGRAM ULAZKS ZA MANIPULACIJU ULAZNYM PODACIMA

Program ULAZKS za manipulaciju ulaznim podacima organiziran je slično bazama podataka. Pomoću njega se upisuju, ažuriraju ili brišu podaci elemenata prijenosnog sistema formirajući datoteku podataka o elementima prijenosnog sistema (sl. 2).



Slika 2. Organizacija primjene programa za dobivanje informacija o prijenosnom sistemu i pripremi ulaznih podataka za aplikacijske programe

Ta datoteka sadrži redom:

1. datoteku vodova,
2. datoteku generatora i generatorskih (blok) transformatora,
3. datoteku dvonamotnih transformatora,
4. datoteku tronamotnih transformatora i autotransformatora

Ta bi se datoteka mogla smatrati datotekom podataka drugog reda, s već izračunatim (ili jediničnim) nadomjesnim parametrima elemenata prijenosnog sistema. U tom bi slučaju datoteka podataka prvog reda sadržavala sve osnovne elemente za proračun električkih nadomjesnih parametara, npr. podatke o glavi stupa u proračunu konstanti vodova i sl.

Program ULAZKS omogućuje *dobivanje informacija o razmatranome prijenosnom sistemu*, npr. pomoću tablica ulaznih podataka prijenosnog sistema. Nadalje, neovisno o dobivanju informacija o prijenosnom sistemu, program omogućuje *pripremu ulaznih podataka za aplikacione programe RIMA 1 i RIMA2*. To se postiže učitavanjem dopunskih podataka za aplikacione programe, u ovom slučaju liste imena čvorova s pridruženim rednim brojevima čvorova. Prema tome, imena čvorova dovoljna su za identifikaciju svakog elementa jednoznačno definiranog prijenosnog sistema.

Ulazni podaci za aplikacione programe organizirani su kao serija blokova podataka predvođenih alfabetskim naredbama za podatke. *Upravljačke naredbe*, koje nemaju pridruženih podataka, vode izvršenje programa u željenom pravcu, a *naredbe opisa programa* prethode numeričkim podacima. Svaka na-

redba, upravljačka ili naredba opisa programa, počinje od prvog stupca i FORTRAN COMPILER čita prva četiri znaka.

Budući da se Institut za elektroprivredu u dosadašnjoj praksi koristio programom za proračun kratkog spoja »ICL 1900 Series Power System Analysis Short Circuit Program«, ulazni su se podaci nastojali organizirati tako da budu kompatibilni za oba programa. Zato su sve upravljačke naredbe i naredbe opisa programa na engleskom jeziku, što ne nosi nikakve teškoće u praktičnoj primjeni.

Svi su numerički podaci kojima se zadaju elementi mreže prikazani u per unit sistemu, čime se uvodi jednoobraznost prikaza ulaznih podataka.

#### 4. PROGRAM RIMA1 ZA REDUKCIJU PASIVNE ELEKTROENERGETSKE MREŽE

Matematički model proračuna redukcije elektroenergetske mreže baziran je na sljedećim pretpostavkama[7]:

1. mreža koju treba reducirati na zadana čvorišta je mreža u praznom hodu,
2. matrica admitancija grana je dijagonalna matrica,
3. čvor 0 je neutralna točka i pridružuje mu se najveći redni broj čvorova uvećan za 1 ( $N + 1$ ),
4. iza generatorske impedancije modelira se čvor  $0 \equiv N + 1$ .

Da bi proces eliminacije čvorova mreže mogao teći na efikasan način, razvijen je računski postupak za smanjenje računskih operacija i zahtijevane memori-

je računala. Taj se postupak temelji na broju grana po čvoru analizirane mreže i detaljnije je opisan u točki 5.1.

Nakon učitavanja ulaznih podataka dvaput se renumeriraju čvorovi mreže koji mogu poprimiti veličine 1-1000 i ne moraju biti u kontinuiranom poretku. Prvi put se renumeriraju u ulazni neprekinuti rad od 1 do N (ukupan broj čvorova mreže), jer se na taj način znatno ubrzava proračun za mreže bitno manje od 1000 čvorova. Potom se provodi ponovna renumeracija, koja se temelji na broju grana po čvoru analizirane mreže. Tako »pripravljena« mreža zatim se reducira na zadane čvorove i čvorište  $0 \equiv N + 1$ . (Čvorište  $0 \equiv N + 1$  nikada se ne reducira!)

Efikasnost postupka je funkcija konfiguracije i veličine mreže i u ovom se slučaju koristi u pripremi ulaznih podataka za proračun redukcije elektroenergetske mreže.

Program RIMA1 za redukciju pasivnih elektroenergetskih mreža baziran je na poznatoj metodi grana mreže, posebno prikladnoj za velike mreže. To je klasični postupak pretvorbe opće zvijezde u opći poligon. Električne prilike izvan područja transformacije ostaju identične. Formula transformacije za opći slučaj glasi:

$$\bar{Y}_{s-t} = \frac{\bar{Y}_{n-s} \cdot \bar{Y}_{n-t}}{\sum_{i=1}^n \bar{Y}_{n-i}} \quad (4.1)$$

gdje su s i t čvorovi grane poligona, a reducira se čvor n.

Program RIMA1 izrađen je na temelju izložene aritmetičke podloge za redukciju pasivne elektroenergetske mreže. Na slici 3. prikazana je pojednostavljena blok-shema programa RIMA1, koji se sastoji od šest glavnih potprograma. To su:

1. Potprogram ULAZR za učitavanje ulaznih podataka.
2. Potprogram RENU1, kojim se provodi prva renumeracija zadanih brojeva čvorova, koji mogu biti u rasponu 1-1000, i ne moraju biti u kontinuiranom poretku. Renumeracija se obavlja da bi se zadani brojevi čvorova mreže renumerirali u kontinuirani neprekidan uzlazni red koji počinje od 1 i završava najvećim rednim brojem čvorišta N radi kasnijeg ubrzanja proračuna za mreže bitno manje od maksimalno 1000 čvorova.
3. Potprogram REDU1, koji formira vektor impedancija grana mreže. Paralelno određuje dvije integer-matrice koje sadrže informacije za prepoznavanje i adresiranje pojedinih članova matrice impedancija grana; one su nužne u postupku koji reducira uobičajeni pristup iz sustava dvodimenzionalnih matrica na jednodimenzionalne matrice s paralelnim informacijama za prepoznavanje i adresiranje pojedinih članova različitih od nule. Zatim prelazi u račun s vodljivostima i zadanim uzdužnim granama mreže pridružuje poprečne grane mreže, uz paralelno pridruživanje  $(N + 1)$ -og rednog broja čvorištu 0. Paralelne se grane eliminiraju zamjenom za ekvivalentnu granu.

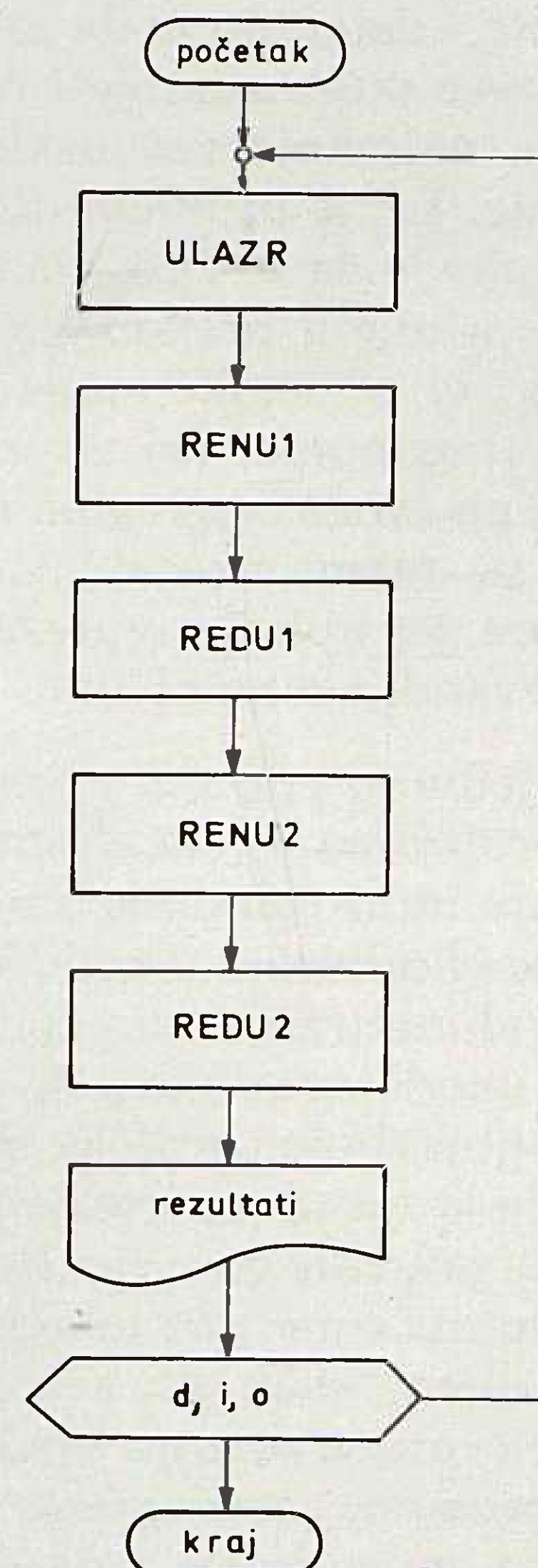
4. Potprogram RENU2 za drugu renumeraciju čvorova mreže koja se temelji na broju grana po čvoru analizirane mreže. Sličan postupak se provodi i pri proračunu kratkog spoja, jer se svaki proračun redukcije odnosno kratkog spoja pri ispisu rezultata proračuna završava ponovnom renumeracijom čvorova u skladu sa zadanim ulaznim podacima.

5. Potprogram REDU2, kojim se provodi eliminacija čvorova prema izrazu (4.1), izuzimajući čvorove navedene nakon naredbe FAULT i čvora  $N + 1$ . Paralelna eliminacija grana obavlja se blokiranjem odgovarajućeg podatka mreže pa on više ne ulazi u računski postupak.

Na kraju ciklusa za svaki se čvor vektor admitancija grana reducira brisanjem blokiranih grana mreže.

6. Potprogram za ispis rezultata reducirane mreže sa po volji zadanom numeracijom čvorišta mreže.

Blok-shemu programa RIMA 1 pokazuje slika 3.



Slika 3. Blok-shema programa RIMA 1 za redukciju pasivne elektroenergetske mreže

## 5. PROGRAM RIMA2 ZA PRORAČUN KRATKOG SPOJA U PASIVNIM ELEKTROENERGETSKIM MREŽAMA

Matematički model proračuna kratkog spoja bazira se na poznatoj metodi čvorišta [4] koja opisuje elektroenergetske mreže pomoću sustava linearnih algebarskih jednadžbi. Proračun se osniva na sljedećim pretpostavkama:

1. prije nastanka kvara mreža je u praznom hodu,



2. matrica admitancija grana jest dijagonalna matrica
3. čvor 0 je neutralna točka i iza generatorske impedancije nema numeriranog čvora
4. izvori su modelirani pomoću idealnih izvora napona i kombinacije pasivnih elemenata.

Nakon učitavanja ulaznih podataka provodi se renumeracija čvorova u oblik prikladan za računanje prema izloženom postupku. Zatim se određuje matrica admitancija čvorišta, a nakon toga se inverzija rijetke matrice iskazuje kao produkt faktora rijetke matrice.

### 5.1. Optimalna numeracija mreže

Kada je matrica koju treba transformirati rijetka, poredak u kojemu su reci razvijeni utječe na broj članova različitih od nule u rezultatnomu gornjem trokutu. Budući da poredak u kojemu su reci razvijeni utječe na broj potrebnih operacija i na broj elemenata različitih od nule, evidentno je da za svaku matricu admitancija mreže mora postojati razvijeni poredak koji zahtijeva najmanje računskih operacija i najmanje memorije. Taj je problem detaljno istraživani [1, 2] i zaključeno je da su rješenja za velike matrice u praktičnoj primjeni prekomplikirana. Međutim, pomoću jednostavne logike moguće je ostvariti poredak blizak optimalnome. Taj se postupak temelji na broju grana po čvoru originalne matrice admitancija. Za ovaj su račun izostavljene grane koje predstavljaju izvore, jer njihova reprezentacije ne zahtijeva poseban izvandijagonalni član.

Čvorovi sa samo jednom granom pridruženi su najmanjim rednim brojevima. Efekt eliminacije tih čvorova je u smanjenju mreže eliminacijom jedne grane po čvoru. Zatim se eliminiraju čvorovi s dvije grane. Svaki čvor koji je eliminiran u tom koraku briše dvije stvarne grane i uvodi jednu novu ili, ako se kao rezultat tog koraka pojavljuje paralela, modificira jednu staru granu. Na kraju tih operacije reducirana će mreža imati manje grana nego prije. Broj grana koje završavaju na ostalim čvorovima također će se slagati s originalnim brojem, osim ako se pojavi paralela, pa se broj za neke čvorove smanji. Ujedno su reci koji odgovaraju čvorovima sa tri grane u originalnoj mreži (neki od njih mogu imati sada dvije!) eliminirani jer su izbrisane tri stvarne grane i uvedene nove, ili ih je manje. Na kraju tih eliminacija mreža će imati više grana nego prije, a može ih imati i manje. Daljnje će operacije eliminacija nužno uvesti pridružene grane u mreži, sve dok postupak ne završi.

Efikasnost metode je funkcija konfiguracije i veličine mreže.

U stranoj se literaturi problemu optimalne numeracije mreže pridaje znatna pažnja. Razvijene su različite sheme numeriranja blizu optimalnih [1, 2]. Djelotvornost optimalnog sređivanja mreže može se iskazati kao omjer broja izvandijagonalnih članova različitih od nule u tablici faktora i brojeva izvandijagonalnih članova u originalnoj matrici. Minimum

tog omjera jest jedinica. U nekim se razvijenim programima kreće između 1,2 i 2,5 za matrice admitancija čvorova elektroenergetskih mreža do 1000 čvorova [2]. Omjer više ovisi o topologiji mreže nego o veličini sistema.

### 5.2. Proračun tablice faktora

Ovaj dio obrađuje prvi dio metode i općenito vrijedi za određivanje matrice brojeva iz nesingularne matrice  $A$ , koja može biti realna ili kompleksna, rijetka ili puna, a koja se dalje može upotrijebiti za dobivanje inverzne (naš slučaj), transponirane, inverzne transponirane ili svojevrsne dvostruke hibridne kombinacije tih matrica.

Shema na kojoj se bazira proračun kratkog spoja slična je metodama poznatim pod raznim imenima (Gauss, Doolittle, Choleski, Banchiewicz i dr.), a koje su različite matematičke varijante računanja osnovnog procesa trokutizacije matrice pomoću ekvivalentnih transformacija.

Osnovna je shema rastavljanja u trokut Gaussovom metodom eliminacije poznata i detaljno opisana u literaturi. Uobičajeno se rastavljanje provodi eliminacijom elemenata ispod glavne dijagonale. Međutim, sa stajališta kompjutorskog programiranja, za rijetke je matrice mnogo efikasniji postupak eliminacije po recima.

Detaljni prikaz metode proračuna već je razvijen u dosadašnjim radovima [5, 6] i ovdje ćemo prikazati samo konačni rezultat rastave simetrične nesingularne matrice:

$$\begin{matrix} d_{11} & u_{12} & u_{13} & \cdot & \cdot & \cdot & u_{1n} \\ l_{21} & d_{22} & u_{23} & \cdot & \cdot & \cdot & u_{2n} \\ l_{31} & l_{32} & d_{33} & \cdot & \cdot & \cdot & u_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdot & \cdot & \cdot & \vdots \\ l_{n1} & l_{n2} & l_{n3} & \cdot & \cdot & \cdot & d_{nn} \end{matrix} \quad (5.1)$$

Elementi iz (5.1) mogu se izraziti izrazima (5.2)

$$\begin{aligned} d_{ii} &= 1/a_{ii}^{(i-1)} \\ u_{ij} &= a_{ij}^{(i)} & i < j \\ l_{ij} &= a_{ij}^{(j-1)} & i > j \end{aligned} \quad (5.2)$$

Posljednji izraz (5.2) definira članove lijevo od glavne dijagonale i zapravo je zapis prijašnjih operacija. Prema tome, lijevi je donji trokut pomoćno polje i u konačnom razmatranju simetričnih matrica neće biti iskazan u rezultatu.

Matrična uglata zagrada u (5.1) namjerno je ispuštena da istakne kako poredak nije striktno matrica nego samo shema zapisa. U literaturi je taj rezultat često dan kao rastav inverzne matrice, ali za naša ju je razmatranja mnogo prikladnije smatrati tablicom faktora.

Izračunavanje direktnog rješenja osniva se na činjenici da se inverzija rijetke matrice može iskazati kao produkt faktora rijetke matrice. Nećemo dublje ulaziti u teorijsku podlogu ni u izvode konačnih izraza za direktno rješenje. U [2] ona je detaljno izložena, a dana su i četiri ekvivalentna postupka za određivanje direktnog rješenja. Ona vrijede za sasvim općenite slučajeve.

### 5.3. Proračun matrice impedancija čvorova

Matrica impedancija čvorova slijedi iz tablice faktora, uz primjenu sljedećih dvaju teorema:

1. inverzija produkta nesingularnih matricnih elemenata jest produkt inverznih faktora u obrnutom poretku,
2. transpozicija matricnog produkta jest produkt transponiranih faktora u obrnutom poretku.

Ako je  $A$  simetrična matrica, potrebni su nam samo  $d_{ii}$  i  $u_{ii}$  izrazi iz tablice faktora. U [2] izveden je konačni izraz za inverznu matricu.

$$\begin{matrix} U_1 U_2 \dots U_{n-2} U_{n-1} D_1 D_2 \dots D_n U_{n-1}^t \dots \\ U_2^t U_1^t = A^{-1} \end{matrix} \quad (5.3)$$

gdje su:

$D_i$ : redak  $i = (0, 0, \dots, 0, d_{ii}, 0, 0, \dots, 0)$

$U_i$ : redak  $i = (0, 0, \dots, 0, 1, -u_{i,i+1}, -u_{i,i+2}, \dots, -u_{i,n-1}, -u_{i,n})$

$U_i^t$ : stupac  $i = (-u_{1,i}, -u_{2,i}, \dots, -u_{i-1,i}, 1, 0, \dots, 0, 0)^t$

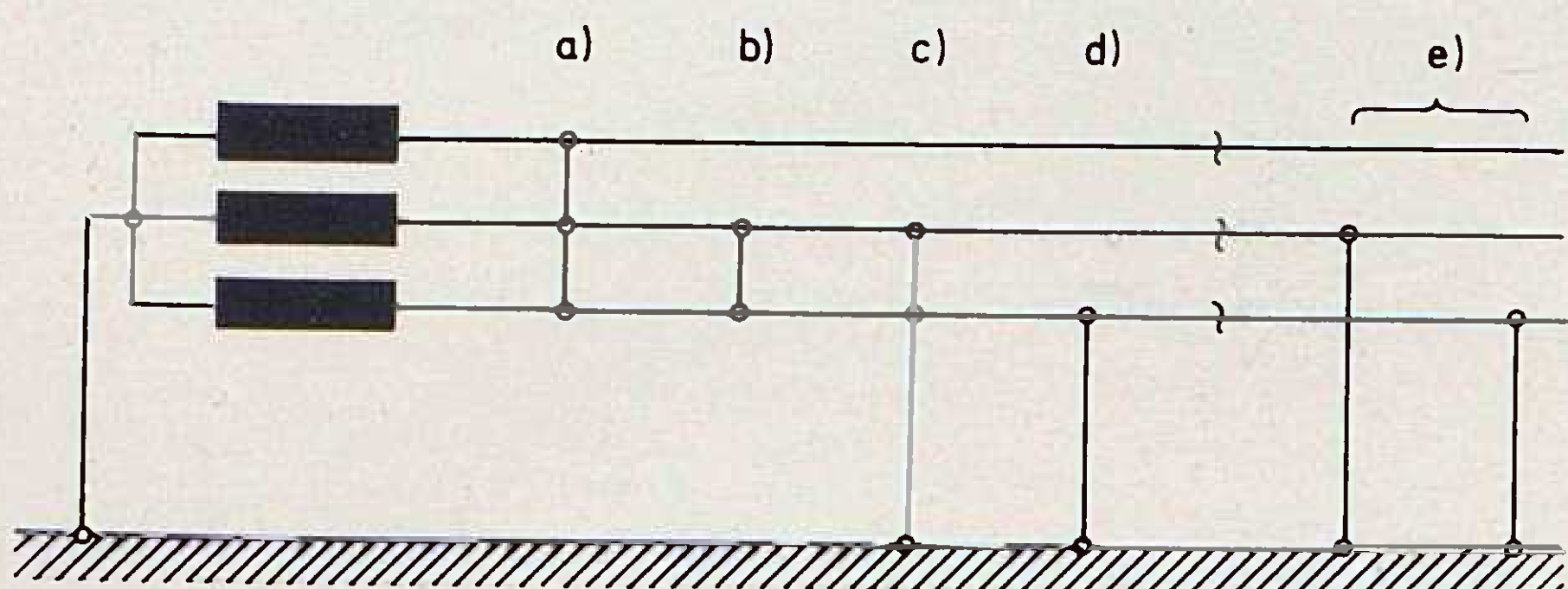
$D_i$ ,  $U_i$  i  $U_i^t$  specijalne su matrice izražene u govoru elemenata tablice faktora (5.2). To su nesingularne matrice koje se razlikuju od jediničnih matrica samo u označenom retku i stupcu.

### 5.4. Proračun kratkog spoja

U trofaznim elektroenergetskim mrežama razlikujemo pet vrsta kratkih spojeva, ovisno o broju kratkospojenih faza u kombinaciji spoja sa zemljom (v. sl. 4). To su:

- a) trolpolni kratki spoj,
- b) dvopolni kratki spoj,
- c) dvopolni kratki spoj s istovremenim spojem sa zemljom,
- d) jednopolni kratki spoj,
- e) dvostruki zemljospoj.

Tropolni kratki spoj je simetričan kvar i jednostavno se može matematički opisati na osnovi jednopolne sheme. Ostali kvarovi, od b) do e) nesimetrični su, kvarovi i njihova je matematička formulacija mnogo složenija i osniva se na proračunu simetričnih komponenata. Pritom se nesimetrični sistem nadomješta trima simetričnim sistemima direktnim, inverznim i nultim.



Slika 4. Vrste kratkih spojeva u trofaznim elektroenergetskim mrežama

Budući da su izrazi za struje kratkog spoja poznate, navest ćemo ih samo radi preglednosti.

$$\bar{I}_{k(i)} = \frac{\bar{E}_k}{\bar{Z}_k}, \quad i = 3, 2, 2z, 1 \quad (5.4)$$

gdje su:

$\bar{E}_k$  — fazna elektromotorna sila

$\bar{Z}_k$  — nadomjesna (simetrična) impedancija mreže u proračunu kratkog spoja

pri tome vrijedi:

$\bar{Z}_k = \bar{Z}_{kk}^d$ , za trolpolni kratki spoj

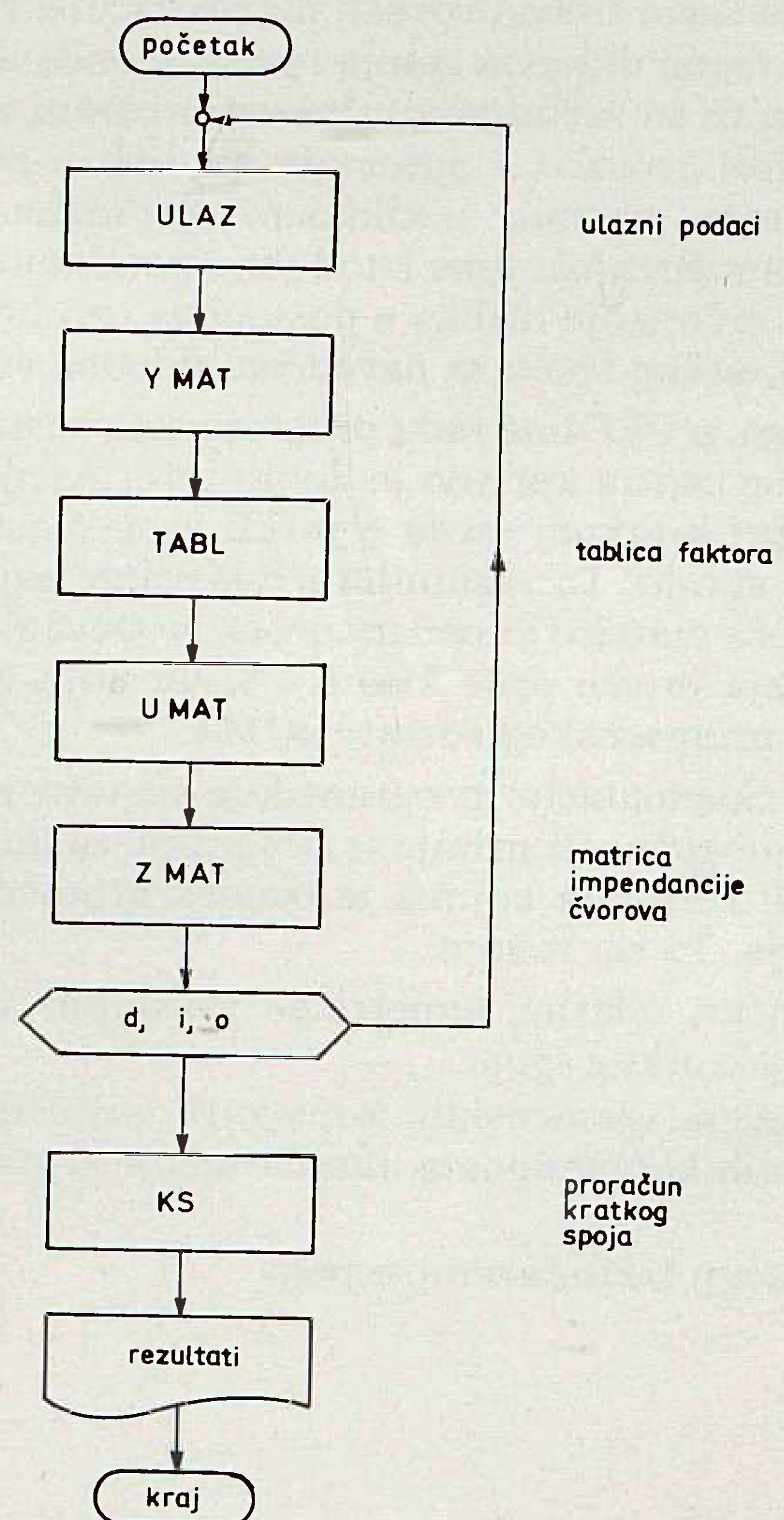
$\bar{Z}_k = (\bar{Z}_{kk}^d + \bar{Z}_{kk}^i)/3$ , za dvopoli kratki spoj

$\bar{Z}_k = |(\bar{Z}_{kk}^d + \bar{Z}_{kk}^0(1 + \bar{Z}_{kk}^d/\bar{Z}_{kk}^i))|/(-3)$ , za dvopolni kratki spoj sa zemljom

$\bar{Z}_k = (\bar{Z}_{kk}^d + \bar{Z}_{kk}^i + \bar{Z}_{kk}^0)/3$ , za jednopolni kratki spoj

(ovdje je izostavljen izraz za dvostruki zemljospoj jer nije obuhvaćen izloženim programom RIMA2).

Blok-shema programa RIMA2 za proračun kratkog spoja u pasivnim energetskim mrežama prikazana je na slici 5.



Slika 5. Blok-shema programa RIMA 2 za proračun kratkog spoja u pasivnim elektroenergetskim mrežama

## 6. OSTALE MOGUĆNOSTI PROGRAMSKOG SUSTAVA RIMA

Kao što je već ranije napomenuto, programski sustav RIMA našao je široku primjenu pri rješavanju raznih problema u analizi elektroenergetskih mreža,

posebno na području SR Hrvatske, a i Jugoslavije. Rješavanje problematike kratkog spoja u elektroenergetskim mrežama pritom se kretalo u dva pravca: dok su standardni proračuni sačinjavali većinu rješavanih problema, specifični su proračuni postavljali izvršiocima nove zahtjeve.

Prva proširenja programa uvela su mogućnost automatskog ubacivanja novih čvorišta u postojeće vodove, koji mogu biti alternativno otvoreni na jednom kraju.

Navedene nove mogućnosti programa našle su široku primjenu u rješavanju utjecaja nadzemnog voda na TT-linije, u slučajevima jednopolnih kvarova duž voda, a posebno pri proračunu prilika koje vide distantni releji u rezervnom stupnju pri kvarovima u zoni I, II. i III. stupnja štice u kvarovima na otvorenome ili zatvorenom vodu. Razvijeni programi s tog područja prošireni su topološkim analizama mreže i novi su korak u eksploataciji programskog sustava RIMA, koji se stalno razvija.

No i standardni su proračuni u nekim slučajevima zahtijevali novu organizaciju programskog sustava. Tako vrlo često treba provesti niz proračuna kratkog spoja za razna uklopna stanja mreže, a onda ih usporediti. Za tu su svrhu programi organizirani tako da se rezultati proračuna spremaju na disk, u posebno organizirane pretince, u ciklusima proračuna cijele mreže, omogućujući time istodobno paralelno tabelliranje a i računanje razlika u postocima rezultata proračuna kratkog spoja za navedena uklopna stanja.

Osim toga, u OFF-line radu programskog sustava dispečerskog centra korisno je dobiti informacije o prilikama pri kratkom spoju u mreži u ovisnosti o uklopnom stanju. To razumijeva rješavanje samo jednog stupca matrice impedancije, uz uvažavanje stvarnog stanja mreže prije kvara, i znači novu etapu u razvoju programskog sustava RIMA.

U toku eksploatacije programskog sustava razvijen je i niz mogućnosti primjene programa za dobivanje različitih rezultata kojima je osnova proračun kratkog spoja. To su, redom:

- proračun udarne, simetrične rasklopne i trajne struje kratkog spoja
- proračun vremenskih konstanti najvećih istosmjernih komponenata ukupne struje kratkog spoja
- proračun faktora zemljospoja

- proračun najvećih struja koje povećavaju potencijal uzemljivača.

Topološki orijentirani proračuni kratkog spoja jesu:

- proračun ukupnih struja kratkog spoja na sabirnicama
- proračun tzv. lokalnih struja i napona, tj. struja odnosno napona iz najbližega susjednog postrojenja
- proračun struja i napona u prvim i drugim susjednim vodovima, pri sabirničkom kvaru u postrojenju
- proračun svih struja i napona u mreži pri sabirničkom kvaru u postrojenju.

Ne postoji nikakva zapreka da se u toku eksploatacije ne udovolji i mogućim novim zahtjevima koje očekujemo u bliskoj budućnosti. To je i bila jedna od intencija u razvoju vlastitoga programskog sustava za proračun kratkog spoja.

## 7. PRIMJER PRORAČUNA

Prikazan je primjer proračuna mreže SR Hrvatske za 1990. godinu. On sadrži 220 čvorova, 415 vodova, 77 generatora, 38 autotransformatora i 136 uzemljenih transformatora 110/x. Ta se mreža sastoji od stvarne (originalne) mreže i nadomjesne mreže, koja označava utjecaj SFR Jugoslavije u odnosu prema prvim susjednim čvorištima mreže 400, 220 i 110 kV-tne mreže SR Hrvatske 1990. godine.

Nakon upisa ulaznih podataka u datoteku podataka o elementima prijenosnog sistema (v. sl. 1), program ULAZKS daje informacije o svim ulaznim podacima razmatranoga prijenosnog sistema, u ovom slučaju prijenosnog sistema Hrvatske za 1990. godinu (tablice I-IV. za vodove, elektrane, autotransformatore i transformatore 110/x). Program ULAZKS priprema i ulazne podatke za program RIMA1; u nastavku vidi prikaz ulaznih podataka za program RIMA1).

Budući da se u prikazanom primjeru ne zahtijeva nikakva redukcija na manju mrežu, proces se dalje direktno nastavlja na proračun kratkog spoja RIMA2, s neznatnim modifikacijama ulaznih podataka koje nismo prikazali. Jedna varijanta skraćenog ispisa snaga i struja trolnoga i jednopolnog kratkog spoja prikazana je u nastavku, u tablicama 1-3.

## PRIKAZ ULAZNIH PODATAKA ZA SVE ELEMENTE MREŽE, PROGRAM ULAZKS

PROGRAM RIMA1 — MREŽA SRH 1990. GODINE

TABLICA 1.		SNAGE TROPOLNOGA KRATKOG SPOJA U SVIM ČVORIŠTIMA MREŽE /MVA/							
1 TUMBRI40	9761.0	46 H-DUBRAV	1344.4	91 NIJEMCI	840.0	136 KONJSK22	6061.6	181 MAKARSKA	1124.4
2 ŽERJAV40	6410.8	47 PRELOG	1328.3	92 VIRJE	981.9	137 ZAKUČA22	4632.1	182 KARDELJE	862.1
3 MRACLI22	4775.9	48 LUDBREG	1315.2	93 MELINA40	7919.3	138 BILICE22	3552.6	183 ŽOPUZEN	1028.6

TABLICA 2.		SNAGE JEDNOPOLNOGA KRATKOG SPOJA U SVIM ČVORIŠTIMA MREŽE /MVA/							
1 TUMBRI40	8462.1	46 H-DUBRAV	1468.4	91 NIJEMCI	685.1	136 KONJSK22	6477.6	181 MAKARSKA	927.2
2 ŽERJAV40	5222.3	47 PRELOG	1311.6	92 VIRJE	854.6	137 ZAKUČA22	4764.1	182 KARDELJE	758.7
3 MRACLI22	4043.7	48 LUDBREG	1150.7	93 MELINA40	6944.1	138 BILICE 22	3649.7	138 ŽOPUZEN	898.3

REZULTATI

STR. 1

MREŽA SRH 1990. GODINE

TABLICA 3.		REZULTATI PRORAČUNA TROPOLNOGA I JEDNOPOLNOGA KRATKOG SPOJA			
NAZIV ČVORIŠTA	UDIO IZ	TROPOLNI KRATKI SPOJ 13/a/	JEDNOPOLNI KRATKI SPOJ		
			IB/A	IZ/A	3IO/A/
1 TUMBRI40	ŽERJAV40	2405/-85.0	2074/-81.8	44/ 23.2	2051/-79.4
	N-KRŠK40	4428/-85.9	3424/-82.5	416/ 85.6	2621/-78.8
	N-KRŠK40	4428/-85.9	3424/-82.5	416/ 85.6	2621/-78.8
	TUMBRI11	944/-82.2	1098/-84.4	285/262.9	1654/-88.8
	TUMBRI11	944/-82.2	1098/-84.4	285/262.9	1654/-88.8
	TUMBRI11	944/-82.2	1098/-84.4	285/262.9	1654/-88.8
	UKUPNO	14089/-85.0	12214/-82.9	0/ 0.0	12214/-82.9
2 ŽERJAV40	TUMBRI40	5566/-85.0	4366/-80.4	181/ 76.8	4036/-78.4
	ERNEST40	2128/-84.9	1574/-79.5	163/ 82.4	1272/-75.0
	ŽERJAV11	1559/-84.6	1603/-85.0	343/259.4	2267/-89.7
3 MRACLI 22	SISAK-22	3035/-81.7	2466/-79.8	92/ 76.3	2317/-77.9
	BRINJE	2089/-80.4	1490/-78.8	282/ 98.1	925/-76.9
	JAJCE-22	1047/-80.2	757/-78.5	131/ 97.2	494/-76.2
	CIRKOV22	2194/-80.9	1618/-79.3	245/ 96.7	1124/-77.5
	MRACLI11	2087/-84.3	2145/-83.6	373/ 85.2	2885/-84.0
	MRACLI11	2087/-84.3	2145/-83.6	373/ 85.2	2885/-84.0
	UKUPNO	12533/-82.1	10612/-81.0	0/ 0.0	10612/81.0

## PRIKAZ ULAZNIH PODATAKA U PROGRAMU RIMA1 odnosno, uz neznatne izmjene, RIMA2

```

1
TITL
  MREŽA SRH 1990. GODINE
BASE
  1000.0
PARA
  415 220 77 136 38 220 272 50 136
LOCA
COMP
SING
SHOR
REDN
FAUL
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
-----
211 212 213 214 215 216 217 218 219 220
NAME
  1 TUMBRI40
  2 ŽERJAV40
  3 MARCLI22
  4 SISAK-22
-----
220 ŠID
NOMI
  9 400.0 1 2 66 93 134 135 188 189 190
-----
  9 110.0 207 208 209 214 215 216 217 218 220
LINE
  1 1 2 ( 1.12499995E-02, 1.23750009E-01 ) 0.00000000E-01 1
  2 1 210 ( 4.78000054E-03, 4.98912521E-01 ) 0.00000000E-01 2
  3 2 66 ( 4.68750000E-02, 5.15625000E-01 ) 0.00000000E-01 1
  4 3 4 ( 7.27272704E-02, 3.81818175E-01 ) 0.00000000E-01 1
  5 3 98 ( 1.46033049E-01, 7.78842926E-01 ) 0.00000000E-01 1
-----
417 219 220 ( 4.45708960E-01, 1.37690103E+00) 0.00000000E-01 0
SUPE
  1 1 6 ( 6.040000E-03, 4.050000E-01) ( 1.000000E+11, 1.000000E+11) ( 1.000000E+11, 1.000000E+11)
  2 1 6 ( 6.040000E-03, 4.050000E-01) ( 1.000000E+11, 1.000000E+11) ( 1.000000E+11, 1.000000E+11)
  3 1 6 ( 6.040000E-03, 4.050000E-01) ( 1.000000E+11, 1.000000E+11) ( 1.000000E+11, 1.000000E+11)
-----
  38 213 215 ( 3.849000E-02, 6.994300E-01) ( 1.000000E+11, 1.000000E+11) ( 1.000000E+11, 1.000000E+11)
GENE
  1 4 ( 3.01347803E-02, 1.23216236E+00 ) 1
  2 9 ( 2.87396498E-02, 1.21221101E+00 ) 1
  3 14 ( 1.22073703E-01, 6.41240358E+00 ) 3
  4 28 ( 5.92929959E-01, 1.80334358E+01 ) 1
  5 28 ( 2.09269360E-01, 7.25935968E+00 ) 1
-----
  76 219 ( 1.42200999E-02, 1.59080014E-01 ) 0
INVE
GENE
  1 4 ( 3.01347729E-02, 1.40170485E+00 ) 1
  2 9 ( 2.87396424E-02, 1.39075351E+00 ) 1
  3 14 ( 1.22073822E-01, 3.59573722E+00 ) 3
  4 28 ( 5.92930079E-01, 1.55493584E+01 ) 1
  5 28 ( 2.09269419E-01, 5.95269251E+00 ) 1
-----
  76 219 ( 1.41055789E-02, 1.58091277E+01 ) 0
ZERO
LINE
  1 1 2 ( 1.05000004E-01, 2.92499989E-01 ) 2.4000000E-02 1
  2 1 210 ( 6.96087480E-02, 2.30037510E-01 ) 2.29439996E-02 2
  3 2 66 ( 4.06250000E-01, 1.18750000E+00 ) 1.08000003E-01 1
  4 3 4 ( 3.18181813E-01, 1.18181813E+00 ) 3.62032000E-03 1
  5 3 98 ( 7.30165243E-01, 2.75028896E+00 ) 1.19161801E-02 1
-----

```

**SKRAĆENI ISPIS SNAGA I STRUJA TROPOLNOGA I JEDNOPOLNOGA KRATKOG SPOJA U MREŽI SR HRVATSKE  
1990. GODINE, PROGRAM RIMA 2**

TABLICA I.

MREŽA SRH 1990. GOD. — VODOVI

STR. 1

RED. BR.	NAZIV OD	VODA DO	NAZ. NAPON /KV/	DUŽINA VODA /KM/	OZNAKA VODIČA I ZAŠTITNOG UŽETA ODN. TIP KABELA	RED. FAKTOR	JEDINIČNE KONSTANTE		
							R1 R0 /OHM/KM/	X1 X0 /* S/KM/	B1 80
1	TUMBRI 40	ŽERJAV 40	400.0	60.0	3 × 2 × 490AČ + 2 × 126AM	0,65	0.030 0.280	0.330 0.780	3.50 2.50
2	TUMBRI 40	N – KRŠK 40	400.0	47.8	2 × 3 × 2 × 490AČ + 1 × 126AW	0.70	0.016 0.233	0.167 0.770	6.90 3.00
3	ŽERJAV 40	ERNEST 40	400.0	250.0	3 × 2 × 490AČ + 2 × 126AW	0.65	0.030 0.260	0.330 0.760	3.60 2.70

TABLICA II.

MREŽA SRH 1990. GOD. — ELEKTRANE

STR. 1

POPIS ELEKTRANA (GENERATORA I TRANSFORMATORA, SPOJ YD) PRIKLJUČENIH NA MREŽE 220 I 400 KV, ZA MREŽU SR HRVATSKE 1990. GODINE												
ELEKTRANA	GENERATORI								TRANSFORMATORI			
	BR.	UN	MVA	MV	XD''%	XD'%	XD%	XI%	BR.	MVA	PR. OMJER	UK%
1 SISAK – 22	1	15.75	247.0	210.0	19.79	31.20	193.20	24.20	1	250.0	15.75/231.0	10.80
2 SISAK – 11	1	15.75	247.0	210.0	19.79	31.20	193.20	24.20	1	250.0	15.75/121.0	10.30
3 H – GOJAK	3	10.50	20.0	16.0	28.00	42.00	139.00	11.10	3	20.0	10.50/115.0	10.50

TABLICA III.

MREŽA SRH 1990. GOD. — AUTOTRANSFORMATORI

STR. 1

BR.	POSTROJENJE		BROJ	SNAGA /MVA/
1	TUMBRI 40	TUMBRI 11	3	300.0
2	ŽERJAV 40	ŽERJAV 11	1	300.0

TABLICA IV.

MREŽA SRH 1990. GOD. — MREŽNI TR. GOR. NAPONA 110 KV

STR. 1

RED. BR.	TRANSFORMATORSKA STANICA	BROJ	SNAGA /MVA/	UK O/O	Z0 /OMI/
1	MEDJUR 11	1	20.0	10.6	82.5
2	MEDJUR 11	1	31.5	10.8	52.4
3	POKUPLJE	2	40.0	10.4	72.0
137	BENKOVAC	1	20.0	10.5	149.9

## 8. ZAKLJUČAK

U članku je prikazan razvoj programskog sustava RIMA za proračun kratkog spoja u elektroenergetskim mrežama. Prikazana je blok-shema programskog sustava, iz koje je vidljivo da se programski sustav sastoji od tri glavna programa. To su: program za manipulaciju ulaznim podacima (organiziran kao baza podataka), program za redukciju i program za kratki spoj u pasivnim elektroenergetskim mrežama. Svaki je program detaljno opisan u posebnoj točki i prikazan blok-shemom. Zatim su pokazane i druge mogućnosti programskog sustava u zadovoljenju specifičnih zahtjeva pri proračunima kratkog spoja. Istaknuta je mogućnost daljnje razrade programskog sustava i navedeni su novi mogući pravci razvoja.

Na kraju je dan primjer proračuna kratkog spoja s prikazom ulaznih podataka po svim elementima mreže, primjerom ulaznih podataka za aplikacijski program RIMA1 i izvodom iz protokola računskog stroja sa skraćenim ispisom rezultata proračuna snaga i struja trolnoga i jednopolnoga kratkog spoja u mreži Hrvatske 1990. godine. To je, naravno, samo jedna varijanta ispisa programskog sustava RIMA, jer bi prikaz svih mogućnosti izlaznih rezultata bio zaista prevelik za izlaganje u ovom referatu.

## LITERATURA

- [1] NOBUO SATO, W. F. TINNEY: »Techniques for exploiting the sparsity of the network admittance matrix«, *AI-EE Transactions*, vol. 82, Dez. 1963.
- [2] W. F. TINNEY, J. W. WALKER: »Direct solutions of sparse network equations by optimally ordered triangular factorization«, *Proceeding of the IEEE*, Vol. 55, No 11, Nov. 1967.
- [3] B. STOTT, E. HOBSON: »Solution of large power-system network by ordered elimination: a comparison of ordering schemes«, *Proc. of IEE*, vol. 118, No 1, Jan. 1971.
- [4] B. STEFANINI, S. BABIĆ, M. URBIHA – FEUERBACH: »Matrične metode u analizi elektroenergetskih mreža«, udžbenik, »Školska knjiga«, Zagreb, 1975.

- [5] D. NEVEČEREL: »Suvremeni program za proračun kratkog spoja u elektroenergetskim mrežama«, IE Zagreb, 1979.
- [6] D. NEVEČEREL: »Proračun kratkog spoja na digitalnom elektroničkom računalu«, *Energija* br. 2/1983.
- [7] D. NEVEČEREL: »Redukcija pasivnih elektroenergetskih mreža« »Energija« br. 3/1984.
- [8] D. NEVEČEREL: »Proračun kratkog spoja u velikim elektroenergetskim mrežama«, referat br. 31.22, XVII Savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije CIGRE, Struga 12 – 15. 05. 1985.

### PROGRAM PACKAGE FOR SHORT CIRCUIT CALCULATION IN ELECTRIC POWER NETS

In the article is presented a program package RIMA for calculation of short circuit in electric power nets. It is described a main program and mode of processing. Application of program is presented on net of SR Croatia in 1990 year.

### PROGRAMMSYSTEM RIMA FÜR DIE BERECHNUNG DES KURZSCHLUSSES IN ELEKTROENERGETISCHEN NETZEN

Im Artikel wird das Programmsystem RIMA für die Berechnung des Kurzschlusses in elektroenergetischen Netzen beschrieben. Man spricht über Hauptprogramme im Programmsystem und die gemeinsame Arbeitsweise. Die Arbeit mit dem Programmsystem wurde am Beispiel des Netzes in Kroatien für das Jahr 1990 geschildert.

### ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА РИМА ДЛЯ РАСЧЕТА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

В статье показана программная система РИМА для расчета коротких замыканий в электрических сетях. Описаны главные программы в программной системе и способ совместной работы. Работа по программной системе показана на примере сети Хорватии 1990 года.

Naslov pisca:

**Mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb,**  
**Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1987 – 11 – 20

# NUKLEARNA ENERGIJA U ENERGETSKOJ POLITICI EVROPSKE ZAJEDNICE

Mr. Vinko Kandžija, Zagreb

UDK 621.039.5(4)

PREGLEDNI RAD

U članku se iznose sve relevantne činjenice koje su utjecale na to da Evropska zajednica svoj privredni razvoj uvelike veže za proizvodnju energije iz nuklearnih elektrana.

**Ključne riječi:** nafta, čvrsta goriva, prirodni plin, nove i obnovljene energije, termonuklearna fuzija, nuklearna energija, zaštita prirodne okoline, radioaktivni otpaci.

## 1. UVOD

Cilj ovog rada je istraživanje svih relevantnih faktora da bi se dobio odgovor na četiri pitanja koja se neminovno nameću. Ta pitanja glase:

- (1) Koliki je doprinos nuklearne energije zadovoljenju energijskih potreba Evropske zajednice?
- (2) Tko treba što raditi da ne bi došlo do nuklearnih havarija?
- (3) Može li Evropska zajednica bez nuklearne energije?
- (4) Ima li alternative za nuklearnu energiju?

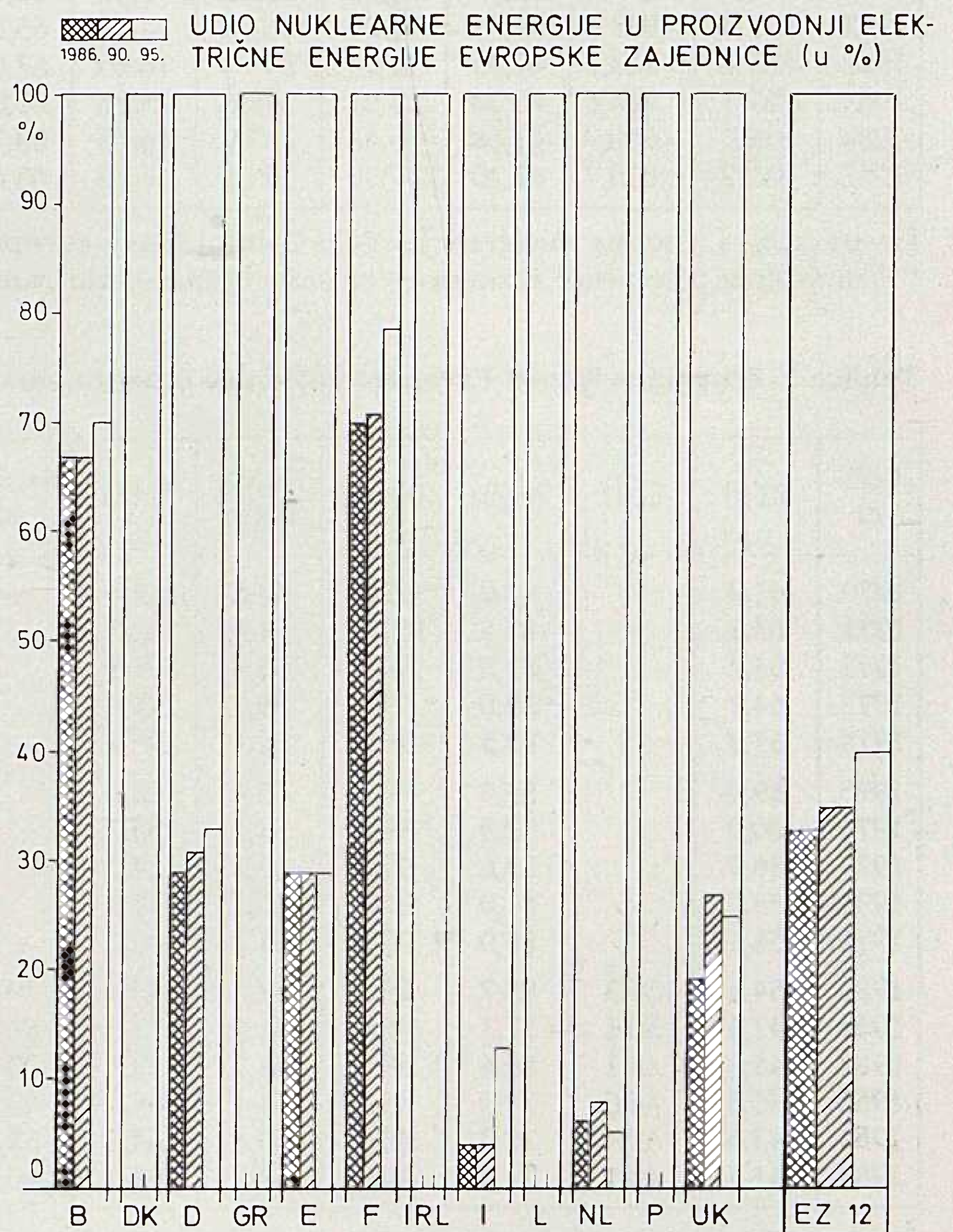
## 2. DOPRINOS NUKLEARNE ENERGIJE ZADOVOLJENJU ENERGIJSKIH POTREBA EVROPSKE ZAJEDNICE

U 1986. godini dvanaest zemalja Evropske zajednice potrošilo je više od milijarde TEP (tona ekvivalentne nafte), od čega 44% nafte, 22% ugljena, 13% nuklearne energije i 2% hidroelektrične energije.<sup>1</sup>

U ukupnoj energijskoj proizvodnji zemlja Evropske zajednice nuklearna je energija 1987. godine činila 13% (1970. godine 2%), a u proizvodnji električne energije 33%. Međutim, taj se prosjek odnosi na dvanaest zemalja Evropske zajednice, a daju ga različiti postoci dani u grafikonu. Iz njih se vidi da je u Francuskoj i Belgiji više od 70% električne energije nuklearnog porijekla a Danska, Grčka, Irska, Luksemburg i Portugal nemaju nuklearnih centrala. To, međutim, ne sprečava te zemlje da kupuju električnu energiju nuklearnog porijekla od svojih susjeda.

Upotreba nuklearne energije s ekonomskog stajališta ima četverostruko opravdanje:

- (1) Uranij čini 10% ukupnih troškova proizvedene električne energije. Taj se udio povećava na 30% za ugljen, a čak na 70% za naftu i plin, što ovisi o zemlji i cijeni tog proizvoda.
- (2) Proizvodnja nuklearne energije u svijetu pridonosi smanjenju potrošnje ostalih goriva, uključivo i nafte, i to za oko 400 milijuna TEP godišnje. To je izrazito povoljan element za privrede svih



<sup>1</sup> CE, La Communauté européenne et le problème de l'énergie, Bruxelles, 1986. str. 45.



zemalja koje uvoze energiju, a posebno za zemlje Evropske zajednice, koje su veliki potrošači (tbl. 1) i veliki uvoznici energije (tbl. 2. i 3)

- (3) Troškovi nuklearne energije vrlo malo ovise o fluktuaciji energenata na svjetskom tržištu. Osim toga, u Zajednici su vrlo kompetitivni u odnosu prema troškovima kilovatsata nafte i ugljena. Relativno nizak nivo tih troškova favorizira kompetitivnost industrije tj. potrošača električne energije i, dakle, stvaranje novozaposlenih.
- (4) Osim toga, nuklearna energija ima kvalitativni impakt tehničkoga i znanstvenog karaktera, što rezultira upotrebom tehnologije u svim fazama nuklearne aktivnosti, a time i na ostalim industrijskim područjima.

Proizvodnjom električne energije u nuklearnim centralama ne zagađuje se čovjekova okolina, osim što one ispuštaju vodenu paru. Upotreba nuklearne energije raznovrsno djeluje na energijsku bilancu i povećava stupanj zadovoljenosti energijskih potreba Evropske zajednice iz vlastitih izvora, a stroge sigurnosne mjere zaštite pridonose povećanju zaštite životne okoline.

Međutim, od sredine 70-tih godina rast elektronuklearnih programa ima tendenciju pada. Na to je djelovalo više faktora, među kojima su najrelevantniji ovi:

- (a) naftna kriza 70-tih godina negativno se odrazila na privredu zemalja Evropske zajednice, što je dovelo i do smanjenja potražnje energenata;

Tablica 1. Potrošnja vlastite energije u zemljama evropske zajednice

MLN TEP

Godina	EZ 10	EZ 12	Belgija	Danska	SR Njemačka	Grčka	Španjolska	Franuska	Irska	Italija	Luksemburg	Nizozemska	Portugal	V. Britanija
1970.	817,1		40,59	20,23	233,1	7,654		142,0	5,737	105,3	4,227	47,89		210,3
1971.	828,7		40,40	18,97	235,2	8,726		149,3	6,498	107,6	4,182	49,99		207,9
1972.	871,9		44,09	19,92	244,6	10,01		158,4	6,558	114,7	4,293	57,26		212,0
1973.	930,2		45,97	19,61	261,3	11,76		173,4	6,994	122,2	4,580	61,36		219,9
1974.	908,4		44,84	17,86	255,9	11,03		167,3	6,700	125,5	4,866	60,03		211,2
1975.	860,5		41,56	17,77	240,7	11,46		158,0	6,372	122,1	3,848	58,76		201,2
1976.	916,4		44,74	18,72	260,4	12,56		169,1	6,567	131,1	3,904	65,19		204,3
1977.	913,2		44,33	19,23	257,1	13,64		166,4	7,009	128,2	3,787	63,58		209,3
1978.	941,4		47,06	19,12	267,3	14,68		176,7	7,357	130,7	3,824	65,31		209,4
1979.	986,2		48,52	20,28	281,5	15,10		185,2	8,424	135,9	3,845	67,56		219,8
1980.	945,6	1 022,1	45,74	18,90	270,3	15,10	66,92	184,5	,109	134,4	3,628	65,02	9,528	199,9
1981.	912,4	987,6	43,33	16,84	257,8	14,76	65,80	180,5	7,952	133,0	3,164	60,66	9,373	194,4
1982.	886,4	963,7	41,33	16,94	248,8	15,20	67,01	175,2	8,093	127,2	2,980	56,72	10,38	193,9
1983.	887,1	964,6	40,34	16,21	248,8	15,86	67,04	177,3	7,970	126,5	2,844	57,62	10,45	193,6
1984.	912,2	990,9	41,88	16,48	257,9	16,18	68,38	186,5	8,334	129,4	3,025	60,19	10,37	192,3
1985.	942,2	1 020,7	42,30	19,30	265,1	16,70	68,60	194,1	8,811	130,8	3,098	60,20	9,898	202,0

Izvor: CE, L'énergie nucléaire dans la Communauté européenne, Bruxelles, 12/87.

<sup>1</sup> Proizvodnja primarnih resursa + netorazmjena + variranje zaliha primarnih resursa + transformirana energije.

Tablica 2. Stupanj ovisnosti Evropske zajednice o uvozu energije

(%)

Godina	EZ 10	EZ 12	Belgija	Danska	SR Njemačka	Grčka	Španjolska	Franuska	Irska	Italija	Luksemburg	Nizozemska	Portugal	V. Britanija
1970.	61,9		83,0	99,9	48,8	83,5		75,7	84,2	87,0	99,7	52,1		47,2
1971.	63,2		85,6	100,0	51,4	82,3		77,0	87,4	86,9	99,8	38,7		51,6
1972.	63,7		83,8	99,6	53,9	91,5		78,8	84,5	85,9	99,8	30,8		51,5
1973.	64,3		88,0	99,7	55,7	91,4		81,7	85,7	87,1	99,8	22,9		50,2
1974.	63,8		92,5	99,5	52,1	96,6		86,3	88,0	87,1	99,8	7,3		52,0
1975.	59,0		85,4	99,2	55,4	68,3		76,9	85,7	82,2	99,8	-4,7		44,4
1976.	60,0		82,9	99,0	57,4	88,1		82,1	83,3	84,1	99,8	-0,4		39,4
1977.	56,9		83,6	97,5	58,3	74,2		81,0	87,2	86,2	99,5	-2,9		25,6
1978.	55,7		81,0	97,8	56,5	77,9		77,6	87,3	84,2	99,4	6,5		21,3
1979.	55,1		88,0	97,9	57,3	82,3		81,4	83,6	86,3	99,5	4,8		12,4
1980.	54,3	56,3	85,7	98,4	57,5	85,1	79,4	79,1	79,9	86,2	99,4	7,1	99,3	6,3
1981.	47,6	50,1	77,7	95,6	51,5	77,6	81,3	70,1	72,5	85,0	99,2	5,2	91,1	-6,4
1982.	45,9	48,1	80,8	89,2	51,7	67,1	70,1	66,9	65,0	85,6	99,0	13,9	91,9	-11,3
1983.	41,5	44,0	73,9	85,6	51,1	65,4	68,8	61,5	61,9	80,5	98,7	7,0	89,8	-17,8
1984.	43,6	45,4	70,9	85,1	49,6	64,5	63,2	60,7	57,3	85,0	98,9	10,6	93,4	-11,3
1985.	41,3	43,1	71,3	79,6	50,2	64,5	60,6	57,2	54,0	83,9	99,3	5,2	90,0	-15,1

Izvor: CE, Une stratégie européenne pour l'énergie, Bruxelles 12/87.

Tablica 3. Trgovina energijom Evropske zajednice (neto uvoz + ; neto izvoz -)

(MLN TEP)

Godina	EZ 10	EZ 12	Belgija	Danska	SR Njemačka	Grčka	Španjolska	Francuska	Irska	Italija	Luksemburg	Nizozemska	Portugal	V. Britanija
1970.	525,8		35,92	21,33	115,7	6834		110,4	4,990	94,97	4,272	29,51		101,9
1971.	645,4		36,83	19,98	122,9	7,630		118,2	5,744	97,00	4,170	22,91		110,1
1972.	579,4		39,42	20,82	134,1	9,910		128,7	5,606	103,5	4,292	21,17		111,9
1973.	620,3		43,24	20,39	147,5	11,60		146,1	6,060	111,0	4,576	16,55		113,1
1974.	598,1		44,03	19,89	134,9	11,15		148,7	5,968	111,2	4,792	5,012		112,4
1975.	526,8		37,82	19,10	134,6	8,424		125,0	5,518	105,0	3,884	-3,237		90,70
1976.	569,6		39,28	18,75	150,5	11,90		143,0	5,526	114,9	3,946	-0,290		82,16
1977.	537,7		39,27	20,27	151,5	10,75		138,9	6,191	114,9	3,671	-2,167		54,34
1978.	540,6		40,32	19,82	152,5	12,22		140,7	6,488	114,7	3,797	4,922		45,15
1979.	558,7		44,85	20,31	163,2	13,44		154,6	7,084	120,1	3,906	3,592		27,53
1980.	527,5	591,8	41,25	19,05	157,0	13,55	54,37	149,1	6,535	119,4	3,611	5,302	9,882	12,72
1981.	445,4	509,0	35,82	17,44	134,3	12,24	54,65	129,2	5,802	116,3	3,084	3,649	8,957	-12,54
1982.	418,4	476,4	35,42	15,54	130,1	10,75	48,13	119,1	5,286	112,3	2,948	9,037	9,894	-22,13
1983.	377,6	434,9	31,63	14,25	128,3	10,90	47,51	110,5	4,961	104,4	2,786	4,628	9,809	-34,85
1984.	406,6	461,3	31,60	14,38	129,1	11,24	44,58	114,6	4,797	112,6	2,985	7,187	10,14	-21,90
1985.	399,4	451,7	31,80	15,70	134,5	11,70	43,20	112,5	4,770	112,6	3,100	3,600	9,100	-30,80

Izvor: Statistiques de base de la Communauté, Eurostat, Bruxelles, 1987.

- (b) zbog goleme štednje energije i njezine stroge racionalizacije potrošnja električne energije manja je od predviđene;
- (c) utjecaj političkih partija i javno mnijenje pojedinih grupa ljudi vezanih za zaštitu prirodne okoline negativno su utjecali na razvoj nuklearnih centrala.

### 3. SPREČAVANJE RIZIKA

Gradnja nuklearnih centrala mora biti u skladu s odlukama nacionalnih vlada, stavu javnog mnijenja i specifičnoj proceduri koja je u svakoj zemlji bitno različita. Različiti aspekti nuklearne sigurnosti regulirani su nacionalnim, evropskim (Euroatom) i međunarodnim (Međunarodna agencija za atomsku energiju — AIEA) normama.

Eksploatacija nuklearne energije može imati daleko-sežne posljedice za život ljudi. Stoga se na nivou Zajednice poduzimaju sve mjere zaštite da bi se spriječile određene havarije. Zaštitne mjere provode se na svim nivoima, i to: na nivou koncepcije i konstrukcije instalacija, nivou održavanja i iskorištavanja te uz stalno nadgledanje. U svakome momentu sve treba da bude spremno za sprečavanje svih eventualnih havarija i minimiziranje posljedica. Pritom su vrlo bitni neki postupci.

(1) *Zaštita od radioaktivnosti.* Norme radioaktivne zaštite u sklopu Evropske zajednice donosi Savjet ministara na prijedlog Komisije Evropske zajednice i uz prethodnu konzultaciju kvalificiranih stručnjaka. Takve je norme Savjet ministara prvi put donio 1959. godine. Norme su više puta revidirane i modificirane, a posljednja je revizija bila 1984. godine. Od međunarodnih institucija u čijoj je kompetenciji za-

štita od radioaktivnosti posebno značenje imaju Međunarodna zdravstvena organizacija (WHO)<sup>2</sup>.

Sporazum o Euratomu omogućuje Evropskoj zajednici da predlaže norme o nuklearnoj sigurnosti, kao i da nadzire njihovu primjenu. Komisija Evropske zajednice kontrolira stupanj atmosferske radioaktivnosti, radioaktivnost voda, tla i prehrambenih lanaca zemalja članica. Ako zatreba, donosi mjere za uklanjanje radioaktivnosti. Najnoviji primjer toga je Černobil, kada je Komisija:

- (a) odredila stupanj tolerantne radioaktivnosti u poljoprivrednim proizvodima. Tada je svojim postupcima podvrgla i jugoslavenske proizvode i na njih primijenila odredbe koje su vrijedile samo za istočne zemlje, iako je Zajednica od 1973. godine uvrstila Jugoslaviju u sklop globalne mediteranske politike;
- (b) uvela vrlo efikasan sistem informacija u slučaju radioaktivne opasnosti;
- (c) uvela posebnu pomoć za slučaj eventualnih havarija.

(2) *Tehnološka sigurnost.* Za sigurnost nuklearnih tehnoloških instalacija u Evropskoj zajednici odgovorne su njezine članice. Osigurava se tehničkim koncepcijama koje omogućuju uključivanje uzastopnih koraka obrane kada zatreba.

Tako se koncepcija nuklearnih elektrana prije svega mora osnivati na provjerenim tehnološkim rješenjima. Njihova se primjena mora podvrgnuti strogim i krutim pravilima.

U drugom se koraku, uzima u obzir mogućnost kvara na sistemu i greška nastala ljudskom nepažnjom. To pretpostavlja postupke otkrivanja i korekcija čime bi

<sup>2</sup> CE, La sécurité nucléaire dans la Communauté européenne, Bruxelles 5/1985. str. 17.

se isključile i spriječile male nezgode zbog dotrajalosti.

Na trećem koraku razmatra se eventualni kvar. Sistemi za nadzor moraju biti uvijek raspoloživi da bi se po svaku cijenu osiguralo otklanjanje kvara (raspad funkcije bazične sigurnosti, kontrola reaktora, izbacivanje rezidualne snage i odlaganje radioaktivne tvari).

Četvrtim se korakom razrađuju planovi za hitne slučajeve i interventni planovi u slučaju kvara, kada je usprkos svim prethodnim zaštitnim mjerama, nastalo nekontrolirano otpuštanje radioaktivnog materijala.

U sklopu Evropske zajednice zajednički se ispituju aspekti tehnološke sigurnosti, a sigurnosni se kriteriji na nivou zemalja članica harmoniziraju. Taj posao obavljaju stručnjaci nominirani od vlada zemalja članica, proizvođača električne energije, konstruktora nuklearnih centrala te istraživačkih centara. Nakon havarije u Černobilu Komisija Evropske zajednice provela je potpunu harmonizaciju sigurnosnih sistema radi potpune sigurnosti od radioaktivnosti.

(3) *Radioaktivni otpaci.* Intenzivnost, priroda i vrijeme trajanja praćenja radioaktivnih otpadaka vrlo su različiti. Zajednica je obavila klasifikaciju radioaktivnih otpadaka da bi se proveli adekvatniji postupci zaštite. Tako se otpaci slabije i srednje aktivnosti odlaze u pregradne deponije manje dubine. Otpaci kontaminirani alfa-zrakama deponiraju se u adekvatne geografske solne, glinene ili granitne formacije. Isti se način odlaganja predviđa i za otpatke visoke radioaktivnosti.<sup>3</sup>

Zemlje Evropske zajednice osiguravaju deponiranje radioaktivnih otpadaka preko nacionalnih agencija. Evropska zajednica sudjeluje u razvojnim i istraživačkim programima o odlaganju radioaktivnih otpadaka i za tu se svrhu izdvajaju golemo sredstva.<sup>4</sup>

(4) *Fizička zaštita.* Za vrijeme skladištenja, upotrebe i transporta nuklearne su tvari zaštićene od skretanja i sabotaze sredstvima kojima raspolaže svaka zemlja članica Zajednice. Osim toga, međunarodna agencija za nuklearnu energiju donijela je niz preporuka o fizičkoj zaštiti radioaktivnih otpadaka. Zemlje članice potpisale su i konvenciju koja se odnosi na fizičku zaštitu radioaktivnih otpadaka u međunarodnom transportu. Te su mjere, kao i preporuke AIEA, vrlo stroge.

(5) *Sigurnosna kontrola.* Određene materije koje se upotrebljavaju ili proizvode u nuklearnoj industriji za energetske potrebe mogu u određenim uvjetima ilegalnim putem poslužiti za proizvodnju eksploziva. Zahvaljujući vlastitome inspeksijskom organu »Sigurnosnoj kontroli Euratoma«, Evropska zajednica

garantira upotrebu nuklearnih materija u mirnodopske svrhe. Ta se kontrola koordinirana sa AIEA-om, kojem je glavni zadatak pravodobno otkrivanje i sprečavanje eventualnog skretanja nuklearne materije i njegove zloupotrebe.

#### 4. MOŽE LI EVROPSKA ZAJEDNICA BEZ NUKLEARNE ENERGIJE

U odgovoru Evropskom parlamentu Komisija evropske zajednice ispitala je sve faktore koji su potvrdili da je nuklearna energija nužan energent Evropske zajednice. Pritom su uzeti u obzir svi troškovi održavanja nuklearki: troškovi za zaštitu okoline, troškovi sigurnosnog održavanja materijala, direktni novčani troškovi i indirektni troškovi, naročito za zemlje u razvoju.

Kao potvrda tog stava navode se neki elementi. U 1986. godini nuklearna je energija služila kao energent za 13% energije i 33% električne energije koja je proizvedena u Zajednici. To je pridonijelo štednji energije koja je ekvivalentna iznosu od 130 milijuna tona nafte, a to je jednako aktualnoj globalnoj proizvodnji Evropske zajednice. Ta usporedba pokazuje koliko nuklearna energija pridonosi održavanju stabilnih i relativno niskih cijena nafte.<sup>5</sup>

Kad bi sve zemlje Evropske zajednice odbacile nuklearnu energiju kao energent, to bi izazvalo novi rast uvozne nafte i time novu eksploziju cijena, što bi se negativno odrazilo na evropsku privredu kao i u 70-tim godinama.<sup>6</sup>

Nasuprot tome, ako bi se pribjegli upotrebi drugih energetske izvora, npr, ugljena i nafte, to bi imalo katastrofalne posljedice na životnu okolinu.

Energetski izvori koji mogu zamijeniti nuklearnu energiju uglavnom su uvozni energenti trećih zemalja, onih izvan Zapadne Evrope. Međutim, ta bi preorijentacija mogla ugroziti sigurnost opskrbe energijom zemalja Evropske zajednice.

Napuštanje nuklearnih centrala u središtima Evrope postaje moralno pitanje. Međutim, drugo moralno pitanje jest dilema hoće li se, ako Zajednica napusti proizvodnju električne struje iz nuklearnih centrala, to fatalno odraziti na konvencionalne energetske resurse, što može imati katastrofalne posljedice u zemljama u razvoju.<sup>7</sup>

Osim toga, treba imati na umu da se svjetsko stanovništvo u ovom stoljeću učtverostručilo. Svake se godine broj stanovnika u svijetu uvećava za 130 milijuna. Te su milijarde ljudi i žena potrošači energije. Te astronomske brojke mogu krajem narednog stoljeća postati apokaliptične (tablica 4 i 5). To može imati katastrofalne posljedice, naročito za Evropljane koji troše sve više energije, a pritom valja imati na umu da će se svjetski konvencionalni resursi u toku narednog stoljeća iscrpiti.

<sup>3</sup> CE, Code communautaire de sécurité nucléaire, Comité économique et social, Bruxelles 1977. godine str. 23;

CE, Problèmes technologiques de sécurité nucléaire, Troisième rapport d'avancement. Bruxelles 1981. godine str. 41.

<sup>4</sup> V. Kandžija, Financiranje Evropske zajednice, »Jugoslovensko bankarstvo«, br. 5, Beograd, 1985.

V. Kandžija, Budžet Evropske zajednice, »Finansije«, br. 7 – 8, Beograd, 1986.

<sup>5</sup> V. Kandžija, Međunarodno tržište nafte, »Energija«, br. 4, Zagreb, 1986.

<sup>6</sup> CE, Les projets européens de démonstration dans le domaine de l'énergie. Bruxelles 7/1986, str. 5.

<sup>7</sup> CE, Une stratégie européenne pour l'énergie, Bruxelles 12/1984, str. 8.

Tablica 4. Potrošnja energije po stanovniku u Evropskoj zajednici

(TEP)

Godina	EZ 10	EZ 12	Belgija	Danska	SR Njemačka	Grčka	Španjolska	Franuska	Irska	Italija	Luksemburg	Nizozemska	Portugal	V. Britanija
Domaća bruto potrošnja														
1975.	3,224	:	4,257	3,464	3,893	1,302	:	3,004	2,006	2,162	10,706	4,341	:	3,605
1978.	3,488	:	4,783	3,764	4,359	1,563	:	3,317	2,222	2,275	10,676	4,646	:	3,746
1979.	3,648	:	4,930	3,969	4,593	1,630	:	3,466	2,505	2,445	10,616	4,813	:	3,929
1980.	3,484	:	4,645	3,730	4,387	1,586	0,509	3,437	2,479	2,313	9,937	4,599	0,215	3,569
1981.	3,358	2,909	4,398	3,288	4,180	1,524	0,534	3,345	2,315	2,308	8,676	4,258	0,154	3,470
1982.	3,249	3,002	4,180	3,298	4,027	1,558	1,763	3,221	2,335	2,212	8,142	3,939	1,043	2,484
1983.	3,344	3,005	4,083	3,168	4,047	1,583	1,761	3,245	2,271	2,232	7,770	4,015	1,050	3,441
1984.	3,258	3,086	4,249	3,225	4,216	1,635	1,793	3,393	2,358	2,270	8,267	4,173	1,036	3,404
Potrošnja u industriji														
1975.	0,842	:	1,274	0,520	1,008	0,361	:	0,808	0,448	0,645	7,524	0,900	:	0,884
1978.	0,852	:	1,385	0,637	1,039	0,417	:	0,837	0,503	0,639	6,868	1,005	:	0,816
1979.	0,880	:	1,414	0,646	1,086	0,448	:	0,875	0,590	0,647	6,782	1,103	:	0,838
1980.	0,839	:	1,313	0,596	1,056	0,414	0,497	0,833	0,566	0,654	6,238	0,981	0,310	0,739
1981.	0,772	0,701	1,196	0,504	0,980	0,372	0,497	0,707	0,560	0,630	4,997	0,935	0,298	0,701
1982.	0,711	0,657	1,102	0,441	0,879	0,364	0,477	0,676	0,505	0,559	4,637	0,840	0,315	0,683
1983.	0,688	0,638	1,029	0,426	0,897	0,363	0,474	0,631	0,447	0,543	4,325	0,806	0,306	0,654
1984.	0,698	0,657	1,070	0,475	0,945	0,378	0,461	0,643	0,421	0,569	4,824	0,942	0,300	0,552
Potrošnja za transport														
1975.	0,475	:	0,495	0,631	0,537	0,235	:	0,501	0,443	0,348	0,942	0,532	:	0,509
1978.	0,547	:	0,567	0,647	0,632	0,376	:	0,569	0,528	0,409	1,182	0,595	:	0,574
1979.	0,564	:	0,604	0,666	0,646	0,394	:	0,584	0,525	0,437	1,323	0,598	:	0,587
1980.	0,567	:	0,588	0,614	0,657	0,410	0,373	0,591	0,507	0,431	1,357	0,607	0,253	0,591
1981.	0,561	0,526	0,575	0,599	0,637	0,409	0,368	0,597	0,492	0,443	1,491	0,603	0,237	0,571
1982.	0,575	0,540	0,587	0,619	0,647	0,419	0,378	0,595	0,473	0,492	1,473	0,582	0,256	0,580
1983.	0,574	0,538	0,592	0,631	0,660	0,439	0,379	0,599	0,450	0,448	1,454	0,598	0,260	0,596
1984.	0,588	0,555	0,598	0,659	0,682	0,411	0,396	0,607	0,437	0,465	1,520	0,636	0,257	0,605
Potrošnja domaćinstava, trgovine, zanatstva														
1975.	0,923	:	1,232	1,627	1,157	0,292	:	0,903	0,565	0,561	1,400	1,504	:	0,923
1978.	1,014	:	1,443	1,732	1,322	0,316	:	1,010	0,618	0,583	1,731	1,502	:	0,993
1979.	1,059	:	1,477	1,851	1,397	0,314	:	1,012	0,752	0,610	1,753	1,566	:	1,057
1980.	0,979	:	1,333	1,483	1,231	0,288	0,266	0,960	0,796	0,591	1,619	1,485	0,144	1,002
1981.	0,940	0,837	1,223	1,321	1,175	0,275	0,265	0,930	0,688	0,577	1,526	1,356	0,166	0,996
1982.	0,914	0,810	1,135	1,433	1,139	0,310	0,277	0,891	0,685	0,559	1,544	1,268	0,169	0,984
1983.	0,916	0,821	1,096	1,400	1,115	0,306	0,297	0,913	0,637	0,597	1,530	1,269	0,168	0,979
1984.	0,926	0,827	1,122	1,414	1,173	0,315	0,294	0,910	0,770	0,595	1,457	1,277	0,169	0,956

Izvor: Statistiques de base de la Communauté, Eurostat, Bruxelles, 1987.

Suočena s takvom situacijom, a uzimajući u obzir i činjenicu da je glavna preokupacija Zajednice strah njezinih žitelja od mraka, Komisija Evropske zajednice procijenila je da nije oportuno napustiti proizvodnju električne energije iz nuklearnih centrala, ali da je nužno stalno bdjeti nad sigurnošću nuklearnih instalacija.<sup>8</sup>

Stoga je Komisija Evropske zajednice krajem 1987. godine donijela zajedničke energijske ciljeve do 1995. godine. U vezi s tim pri Savjetu ministara Evropske zajednice insistira se da sporazum Euratom pripadne u nadležnost Komisije Evropske zajednice.

## 5. POSTOJI LI ALTERNATIVA NUKLEARNE ENERGIJE

Što je s povratkom nafte? Prije deset godina nafta je činila dvije trećine energijske potrošnje zemalja Ev-

ropske zajednice (tbl. 6). Taj udio danas iznosi oko 45%, a do 1995 – 2000. godine trebala bi se stabilizirati oko 40%. Zajednica procjenjuje da će njezini žitelji slijediti njezinu strategiju smanjenja ovisnosti o uvozu, i to smanjenjem potrošnje nafte diversifikacijom vlastitih resursa. Više od 50% resursa nafte nalazi se na Srednjem istoku.

*Čvrsta goriva.* Prije deset godina ugljen i lignit sudjelovali su u potrošnji energenata Evropske zajednice sa oko 25%. Komisija Evropske zajednice smatra da će potrošnja ugljena rasti u korelaciji koja je prihvatljiva s obzirom na stupanj zagađenosti životne okoline.

*Prirodni plin.* Između 1973. i 1985. godine udio prirodnog plina u energijskoj potrošnji Evropske zajednice povećao se za pola, tj. sa 12% povećao se na 17% u ukupnoj energijskoj bilanci Evropske zajednice (tbl. 7). U energijskim ciljecima Evropske zajednice do 1995. godine predviđeno je zadržavanje tog nivoa. Sporazum s Norveškom o eksploataciji golemog nalazišta Troll omogućit će da se realiziraju ti ciljevi.

<sup>8</sup> CE, Les industries nucléaires dans la Communauté européenne, Bruxelles 16/1985, str. 6.

**Tablica 5. Domaća potrošnja energije u zemljama Evropske zajednice u usporedbi s važnijim trećim zemljama 1986.**  
MLN TEP

	Zemlje	Kameni ugljen i lignit	Sirova nafta	Prirodni plin	Nuklearna energija	Električna energija – primarna <sup>1</sup>	Ukupna primarna energija
	EUR 10	197,5	423,9	174,6	98,5	12,8	912,2
	EUR 12	215,6	472,3	176,6	104,4	16,6	990,9
1	Belgija	10,3	17,0	7,3	7,0	0,1	41,9
2	Danska	5,6	10,3	0,1	—	0,4	16,5
3	SR Njemačka	84,0	107,7	40,8	22,9	1,8	257,9
4	Grčka	5,2	10,4	0,1	—	0,5	16,2
5	Španjolska	17,8	39,4	2,0	6,0	2,9	68,4
6	Francuska	23,6	85,5	23,4	49,3	3,6	186,5
7	Irska	2,5	3,9	1,9	—	0,1	8,3
8	Italija	13,8	79,1	26,5	4,1	5,4	129,4
9	Luksemburg	0,1	1,0	0,3	—	0,3	3,0
10	Nizozemska	6,7	21,4	30,8	0,9	0,3	60,2
11	Portugal	0,4	9,0	—	—	0,9	10,4
12	V. Britanija	45,7	87,6	43,4	14,2	0,3	192,3
13	Turska	10,1	17,5	—	—	1,4	29,0
14	Norveška	1,0	8,2	1,2	—	8,2	18,7
15	Švedska	2,4	14,3	—	14,3	5,7	36,7
16	Švicarska	0,6	10,8	1,3	4,9	2,1	19,7
17	Austrija	9,7	13,3	8,0	—	2,4	33,5
18	Finska	4,1	8,8	0,7	5,0	1,5	20,1
19	SSSR	333,4	347,3	425,9	39,8	15,3	1 161,7
20	SAD	401,7	673,2	418,4	91,7	31,0	1 616,0
21	Kanada	25,5	68,8	50,3	14,8	20,9	180,3
22	Japan	69,9	191,1	34,2	35,5	6,3	337,0
	∅	1 969,4	2 508,5	1 360,2	328,9	170,2	6 337,2

Izvor: CE, La Communauté européenne et le problème de l'énergie, Bruxelles 12/1987.

<sup>1</sup> Električna je energija konvertirana u TEP na bazi stvarnog sadržaja energije, tj. na bazi 86 ekvivalentnih grama nafte za kWh energije (3 600 kJ/kWh).

**Tablica 6. Udio različitih izvora primarne energije u domaćoj potrošnji energije Evropske zajednice**

(%)

		Kameni ugljen	Lignit	Sirova nafta	Prirodni plin	Nuklearna energija	Električna energija – primarna	Ukupna energija
1984.								
	EZ 10	18,0	3,6	46,5	19,1	10,8	1,4	100
	EZ 12	17,9	3,8	47,7	17,8	10,5	1,7	100
1	Belgija	24,4	0,1	40,7	17,5	16,7	0,1	100
2	Danska	34,0	—	62,4	0,6	—	2,6	100
3	SR Njemačka	23,3	10,2	41,8	15,8	8,9	0,7	100
4	Grčka	6,7	25,4	64,8	0,5	—	2,9	100
5	Španjolska	18,8	7,1	57,6	3,0	8,7	4,2	100
6	Francuska	12,2	0,4	45,8	12,6	26,4	1,9	100
7	Irska	11,8	17,7	47,0	22,6	—	0,7	100
8	Italija	10,4	0,2	61,1	20,5	3,2	4,2	100
9	Luksemburg	4,3	—	32,6	9,2	—	10,0	100
10	Nizozemska	11,1	—	35,5	51,2	1,6	0,5	100
11	Portugal	3,6	—	86,6	—	—	8,7	100
12	V. Britanija	23,8	—	45,0	22,6	7,4	0,2	100
EZ 10								
	1977.	19,5	3,3	55,6	17,0	3,4	1,6	100
	1978.	18,7	3,2	55,8	17,1	3,6	1,4	100
	1979.	19,4	3,5	54,5	17,5	3,8	1,4	100
	1980.	20,4	3,9	52,3	17,9	4,5	1,4	100
	1981.	20,7	3,6	49,6	18,2	6,2	1,6	100
	1982.	21,2	3,7	48,7	17,9	7,2	1,6	100
	1983.	20,5	3,6	47,0	18,7	8,6	1,5	100
	1984.	18,0	—	46,3	19,1	10,6	1,6	100
EZ 12								
	1980.	20,1	3,2	53,9	16,7	4,5	1,6	100
	1981.	20,5	3,4	51,2	17,0	6,5	1,8	100
	1982.	20,9	3,8	50,1	16,6	7,1	1,7	100
	1983.	20,1	3,8	48,5	17,4	8,4	1,7	100
	1984.	17,9	3,8	47,7	17,8	10,5	1,7	100

Izvor: CE, La Communauté européenne et le problème de l'énergie, Bruxelles 2/1987.

Tablica 7. Energijska bilanca Evropske zajednice

(MLN TEP)<sup>1</sup>

	1980.	1982.	1984.	1985.	1986.	1987. <sup>2</sup>
<i>Proizvodnja primarne energije</i>						
Čvrsta goriva	186,5	183,8	131,8	157,9	163,8	160
mineralna ulja	91,5	115,1	144,2	149,0	146,9	146
prirodni plin	129,4	116,1	119,2	126,5	123,5	121
nuklearna energija	40,5	61,5	95,6	116,4	123,2	130–135
hidroenergija	12,6	12,6	12,2	11,8	12,0	12
U k u p n o	460,6	489,1	503,0	561,6	569,5	569–574
<i>Netouvoz</i>						
kameni ugljen	48,9	46,1	51,9	56,0	52,8	52
mineralno ulje	435,3	325,1	300,3	286,4	307,7	288–293
prirodni plin	43,5	45,8	57,9	59,3	64,3	67
električna struja	1,2	1,7	1,3	1,1	1,2	–0,3
U k u p n o	528,9	418,7	411,3	402,8	426,0	406,7–411,7
<i>Promjena stanja</i>						
kameni ugljen/koks	11,0	10,6	–16,5	–4,0	6,0	2
mineralna ulja	15,2	–11,7	–3,3	–0,8	7,7	–12
prirodni plin	3,9	3,4	2,9	3,6	3,4	2
Zalihe	23,8	24,2	21,2	23,3	26,8	26
<i>Bruto domaća potrošnja</i>						
čvrsta goriva	224,4	219,4	200,2	218,0	210,6	210
mineralno ulje	487,8	427,7	426,5	412,9	420,1	420–425
prirodni plin	169,0	158,5	174,3	182,1	184,5	186
nuklearna energija	40,5	61,5	95,6	116,4	123,2	130–135
hidroenergija	12,6	12,6	12,2	11,8	12,0	12
U k u p n o	935,6	881,3	910,0	942,4	951,6	958–968
<i>Stupanj ovisnosti<sup>3</sup></i>						
kameni ugljen	21,8	21,0	25,9	25,7	25,1	24,4
mineralna ulja	85,1	72,0	67,1	65,7	68,9	65,0
prirodni plin	25,7	28,9	33,2	32,6	34,9	36,0

Izvor: Energie in Europa, 7/1987, Kommission der Europäischen Gemeinschaften

<sup>1</sup> tone ekvivalentne nafte<sup>2</sup> procjena<sup>3</sup> netouvoz (domaća bruto potrošnja + zalihe).

Osim toga, Zajednica ima veće količine prirodnog plina do 2000. godine, a ostalo se uvozi iz Norveške, SSSR-a i Alžira.

*Nove energije.* Prema orijentaciji energijske politike Evropske zajednice, doprinos novih energetskih izvora kao što su eolijenska i solarna energija, energija vode, biomasa, treba povećati i to nastojanje stimulirati svim raspoloživim sredstvima. Međutim, s obzirom na sadašnji nivo cijena energenata, to će u ovom stoljeću biti teško ostvarivo.

Komisija procjenjuje da će se sadašnji nivo proizvodnje, koji iznosi oko 15 milijuna tona ekvivalentne nafte, utrostručiti, ali će pokriti jedva 5 do 6% potrošnje energije Evropske zajednice do 2000. godine. S obzirom na takvu realističku ocjenu Komsije, koja je fundirana i javnim mnijenjem Evropljana, Evropska zajednica i Savjet ministara Zajednice poduprijet će sva istraživanja, razvoj i demonstriranja koja će pridonijeti dugoročnijoj primjeni novih energija.

*Termonuklearna fuzija.* To je stadij u kojem se nalazila fisija prije 1945. godine, a zapravo je veliki eksperimentalni projekt. Zajedno s drugim zemljama, Zajednica se odlučila na taj veliki tehnološki izazov:

ako uspije, moguće je utjecati na znatne energijske resurse, praktički neiscrpne. Međutim, eksploatacija tih potencijala zahtijeva još mnogo znanstvenoistraživačkog rada, u što treba utrošiti golema financijska sredstva.<sup>9</sup>

*Racionalna upotreba energije.* Sigurno je da zemlje Evropske zajednice moraju racionalnije iskorištavati energiju. Za deset godina racionalnim je korištenjem uštedeno oko 25% energije. U tome je moguć još veći napredak, uz uvjet da se adekvatnije primijeni determinirana energetska politika i realnije cijene na nivou potrošača Evropske zajednice.

Zasnovana na skladnoj kombinaciji snage tržišta i mjera ekonomske politike kojom se postiže minimalna kontrola cijena, razvojem domaćih resursa te, uzimanjem u obzir problema zaštite čovjekove okoline, energetska će politika Evropske zajednice i njezinih članica postići svoju punu efikasnost do 1992. godine, godine koja će ući u anale Evropske zajednice jer će privrede zemalja Zajednice formirati veliko unutrašnje evropsko tržište, tržište na kojemu će proiz-

<sup>9</sup> CE, Le JET et la fusion nucléaire, Bruxelles 12/1987, str. 7.

vodni faktori cirkulirati na jednak način kao da je riječ o tržištu iste države, npr. Belgije.<sup>10</sup>

Istinski jedinstveno unutrašnje tržište osigurava potpunu sigurnost opskrbe, smanjenje troškova i jačanje kompetitivnosti. Stoga je nužno unapređenje istraživanja i razvoja u području energije, a naročito na području novih i obnovljivih energija. Tako je Savjet ministara za energiju Evropske zajednice 15. listopada 1986. godine prihvatio ciljeve energetske politike u kojima je zacrtan i program razvoja nuklearnih centrala do stvaranja jedinstvenog tržišta, na kojemu bi udio električne energije nuklearnog porijekla u ukupnoj potrošnji električne energije trebao iznositi oko 40%.<sup>11</sup>

U travnju 1986. godine u Evropskoj je zajednici bilo 114 nuklearnih centrala koje su proizvodile oko 1/3 električne energije Zajednice (tbl. 8).

**Tablica 8. Nuklearne elektrane u Evropskoj zajednici**

Zemlja	travanj 1986.		travanj 1987.		u izgradnji	
	broj	GWe	broj	GWe	broj	GWe
Belgija	7	5,5	7	5,5	—	—
Francuska	40	35,3	48	45,1	13	16,3
SR Njemačka	16	16,1	17	17,4	7	5,6
Italija	3	1,3	3	1,3	4	3,9
Nizozemska	2	0,5	2	0,5	—	—
Španjolska	8	5,5	8	5,5	7	6,5
V. Britanija	38	10,6	38	10,6	4	2,4
<b>Ukupno</b>	<b>114</b>	<b>74,8</b>	<b>123</b>	<b>85,9</b>	<b>35</b>	<b>34,7</b>

Izvor: C.S. Maniatopoulos, Die Kernenergie in der Europäischen Gemeinschaft: ein Jahr nach Tschernobyl, Energie in Europa, Nummer 7 Juli 1987, Kommission der Europäischen Gemeinschaften.

<sup>10</sup> V. Kandžija, Unutarregionalno tržište Evropske zajednice, »Nova trgovina«, br. 12, Beograd, 1987.

<sup>11</sup> V. Kandžija, Energetska politika Evropske zajednice, »Energija«, br. 3, Zagreb, 1987.

## 6. ZAKLJUČAK

Glavni argument kojim se Evropska zajednica rukovodila pri orijentaciji na opskrbu privrede i stanovništva energijom iz nuklearnih centrala jest činjenica da bi napuštanje nuklearne energije izazvalo golem rast potražnje klasičnih energenata, naročito nafte. To bi privrede zemalja Evropske zajednice učinilo izrazito ovisnima o inozemstvu jer bi morale uvoziti goleme količine nafte. Time bi se usporio ekonomski rast nacionalnih privreda, oslabili integracijski procesi i produljilo stvaranje jedinstvenoga evropskog tržišta koje se mora stvoriti do 1992. godine.

### NUCLEAR POWER IN THE POWER POLICY OF EUROPEAN COMMUNITY

In the article are presented relevant facts in european community for the choice of NPP as a factor for economy development.

### KERNENERGIE IN DER ENERGETISCHEN POLITIK DER EWG

Im Artikel werden alle massgebenden Tatsachen angegeben, welche die EWG beeinflussen ihre wirtschaftliche Entwicklung grösstenteils in Richtung der Energieerzeugung aus Kernkraftwerken zu entwickeln.

### ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГИЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКЕ ЕВРОПЕЙСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ

В статье приводятся все важнейшие факты, заставляющие Европейское объединение связать свое экономическое развитие большей частью с энергопроизводством атомных электростанций.

Naslov pisca:

**Mr. Vinko Kandžija, dipl. inž.  
Republički zavod za društveno  
planiranje SR Hrvatske,  
41000 Zagreb, Trg J. J.  
Strossmayera 9, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis  
1988-01-04

# IZBOR TIPA PROIZVODNIH GRUPA ZA VS ĐURĐEVAC

Krunoslav Begović, Zagreb

UDK 621.311.21 : 626/627

STRUČNI RAD

U članku su dani rezultati analize izbora tipa proizvodnih grupa za VS Đurđevac. Analiza je provedena za potrebe projekta — izbora glavne opreme, a temelji se na elaboratima ELEKTROPROJEKTA, Zagreb, travanj 1985. i INSTITUTA ZA ELEKTROPRIVREDU / ELEKTROPROJEKTA ZAGREB, ožujak 1987.

**Ključne riječi:** proizvodne grupe, turbine i generatori, glavna oprema, osnovni parametri za cijevne grupe u »Kruški« i vertikalne Kaplanove turbine s električnim generatorima.

## UVOD

Za VS Đurđevac dolaze u obzir proizvodne grupe s cijevnim turbinama u »Kruški« tipa Kaplan i proizvodne grupe s klasičnim Kaplanovim turbinama s vertikalnom osovinom.

U prvom slučaju cijevna je turbina direktno spojena s cijevnim generatorom na zajedničkoj osovini, a u drugom slučaju s klasičnim generatorom na vertikalnoj osovini.

Za donošenje odluke o izboru tipa proizvodnih grupa potrebno je analizirati:

- investicijske troškove odnosno troškove gradnje strojarnice za alternativne veličine gradnje (instalirani protok), u našem slučaju za  $Q_i = 850, 900$  i  $1000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ,
- razlike u godišnjoj proizvodnji energije
- ostale parametre koji utječu na izbor, a to su održavanje (eksploatacija), mogućnosti tipizacije komponenata opreme, dosadašnja svjetska iskustva s razmatranom opremom i tendencija budućeg razvoja.

## ODNOSI TROŠKOVA GRADNJE

Analizirani su troškovi gradnje strojarnice jer na njih utječe tip proizvodnih grupa. Na ostale objekte Vodne stepenice Đurđevac ne utječe tip grupa. To se odnosi na dovodni i odvodni kanal, branu itd.

Osim navedenih tipova proizvodnih grupa, mogu se uzeti u obzir i vodne turbine tipa »Staflo«. Zbog pomankanja iskustava u eksploataciji to rješenje nije uzeto u obzir. Osim toga, tipovi grupa »Staflo« patentirani su i domaća ih industrija ne može proizvesti.

Osnovni tehnički parametri vodnih turbina i generatora za naš slučaj dani su u tablici 1, a relativni odnosi količina radova, glavne opreme i građevinskih

troškova izgradnje za strojarnicu VS Đurđevac dani su u tablici 2.

Analiza je rađena 1987, s cijenama iz 1985. god. Budući da je riječ o relativnim odnosima, računat ćemo s tim cijenama jer su za usporedbu i donošenje odluke mjerodavni relativni odnosi.

Razlike u osnovnim parametrima cijevnih turbina te cijevnih generatora u »Kruški« u odnosu prema vertikalnim grupama s Kaplanovim turbinama i generatorima jesu za  $Q_i = 850 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  i tri proizvodne grupe (slični odnosi vrijede za  $Q_i = 1000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  odnosno četiri proizvodne grupe) sljedeći:

### 1. Parametri turbina:

- Veća brzohodnost  $n_s$  (m-kW) za oko 17,5%.
- Veća nazivna brzina vrtnje  $n$  ( $\text{min}^{-1}$ ).
- Manje dimenzije i manja ukupna masa ( $D_{MC} = 90\% D_{MK}$ ).
- Veći korisni stupanj djelovanja ( $\eta$ ) za 1–2% u širokom području (položenija krivulja  $\eta$ ).
- Manji iskop građevinske jame strojarnice (v. priložene tablice 1. i 2).

### 2. Parametri generatora:

- Veći stupanj korisnosti pri nazivnom faktoru snage.
- Nazivni faktor snage koji slijedi iz optimalnih (prirodnih) parametara generatora (električnih i mehaničkih) u cijevnih je generatora niži, a time je manja mogućnost proizvodnje jalove energije.

**Proizvodnja jalove energije u sistemu je oko osam puta jeftinija iz statičkih kompenzatora, pa tu energiju ne treba crpsti iz ovih generatora.**

- Zbog ograničenih dimenzija »Kruške« cijevni generator ima manji  $GD^2$  i može raditi u otočnom radu sa približno 50% snage.
- Suprotno tome su manje dimenzije i ukupna manja masa, a prema tome i cijena.



Tablica 1. Osnovni tehnički parametri turbina i generatora VS Đurđevac za  $Q_i = 850$  i  $1000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ 

ALT.	$Q_i$ ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )	TT (-)	Z (z)	$Q_t$ ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )	$H_d$ (m)	$H_m$ (m)	$n_s$ (m-kW)	$n$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$D_M$ (m)	$I$ (m)	$M_{t1}$ ( $10^4 \text{N}$ )	$P_t$ (MW)	$S_N$ (MVA)	$U$ (kV)	$M_{G1}$ ( $10^4 \text{N}$ )	Primjedba
(A)	850	C	3	283,3	19,0	20,0	700	125	5,6	-16,28	500	49,63	51	6,3	290	
(B)	850	K	3	283,3	19,0	20,0	598	107	6,0	-17,50	730	48,58	60	10,5	480	
(C)	900	K	4	225	21,6/19,0	22,6	565	125	5,62	-16,48	580	38,60	45	10,5	340	(grupe HE Var.)
(D)	1000	C	3	333,3	19,0	20,0	700	111	6,35	-17,49	600	58,39	60	10,5	460	
(E)	1000	K	3	333,3	19,0	20,0	598	100	6,45	-18,00	850	57,20	70	10,5	650	
(F)	1000	C	4	250	19,0	20,0	690(700)	130	5,37	-17,72	460	43,80	45,2	10,5	340	
(G)	1000	K	4	250	19,0	20,0	598	111	5,80	-16,50	650	42,87	49,4	10,5	400	

Legenda: ALT – alternativa

 $Q_i$  – instalirani protok ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )

TT – tip turbine (-)

z – broj grupa (-)

 $Q_t$  – nazivni protok po turbini ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) $H_d$  – projektirani pad (konstr.) (m) $H_M$  – najveći pad (m) $n_s$  – specifična brzina ( $\text{min}^{-1}$ )n – brzina vrtnje ( $\text{min}^{-1}$ ) $D_M$  – promjer okretnog kola (m)

I – usporedbena visina iskopa (m)

 $M_{t1}$  – masa 1 turbine ( $10^4 \text{N}$ ) $P_t$  – nazivna snaga turbine kod  $H_d$  i  $Q_t$  (MW) $S_N$  – prividna snaga generatora (MVA)

U – nazivni napon (kV)

 $M_{G1}$  – masa 1 generatora ( $10^4 \text{N}$ )

Tablica 2. Relativni odnosi količina radova, glavne opreme i građevnih troškova za strojarnicu VS Đurđevac

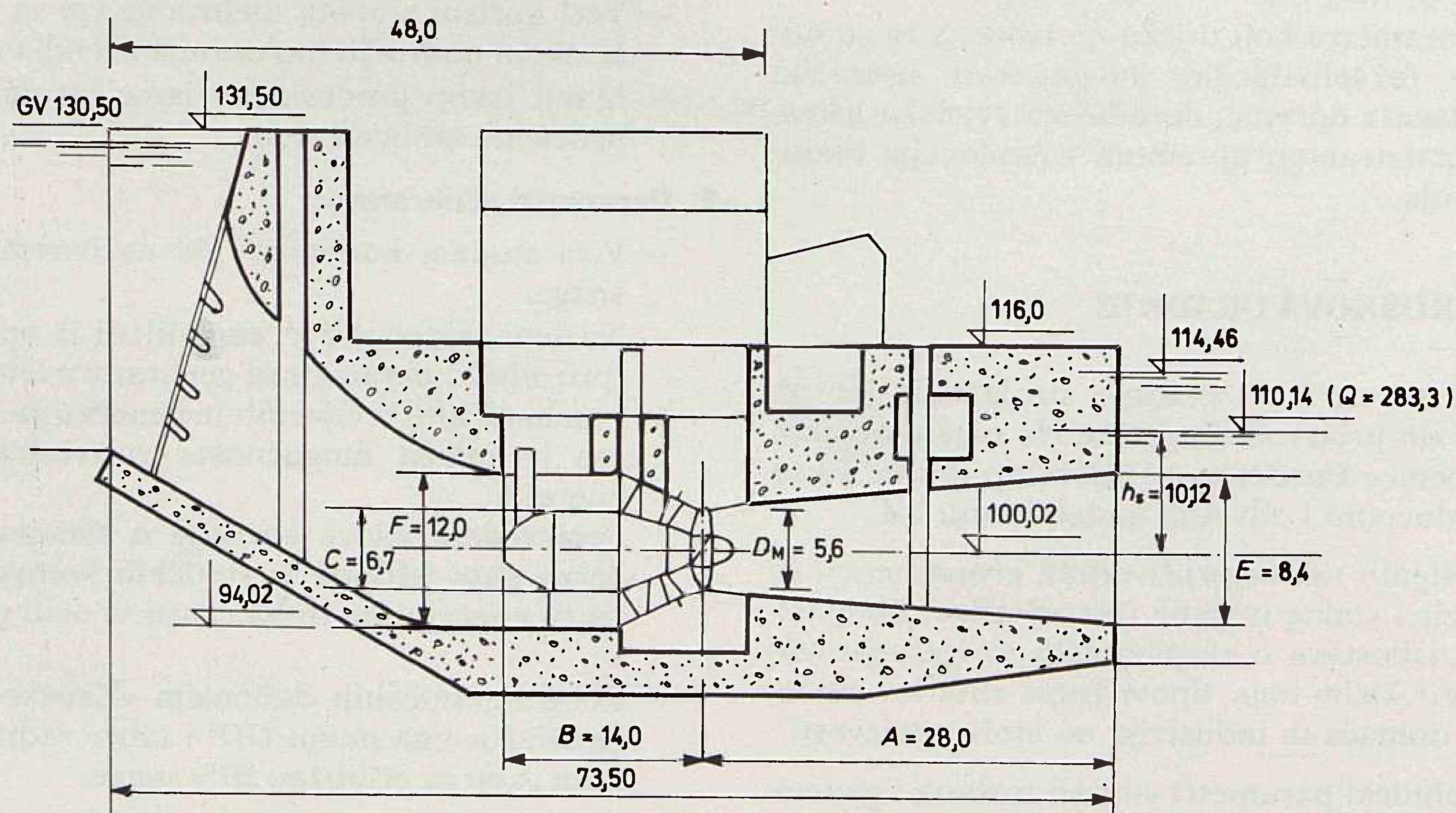
Alternativa	$Q_i$ ( $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ )	Betonski radovi ( $\text{m}^3$ )	Relati. odnos	Iskop strojarnice i dijela kanala ( $\text{m}^3$ )	Relat. odnos	Glavna oprema ( $10^4 \text{N}$ )(t)	Relat. odnos	Troškovi glavne opreme i građevnih radova ( $10^9 \text{Din}$ )*	Relat. odnos
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(A)	850	124.000	1,00	435.091	1,00	3.929	1,00	9,044.-	1,00
(B)	850	221.000	1,78	509.423	1,17	5.140	1,30	12,540.-	1,39
(C)	900	240.000	1,93	536.540	1,23	5.200	1,32	13,700.-	1,51
× C	228	—	1,00	—	—	—	—	—	1,00
× K	228	—	1,34	—	—	—	—	—	1,63

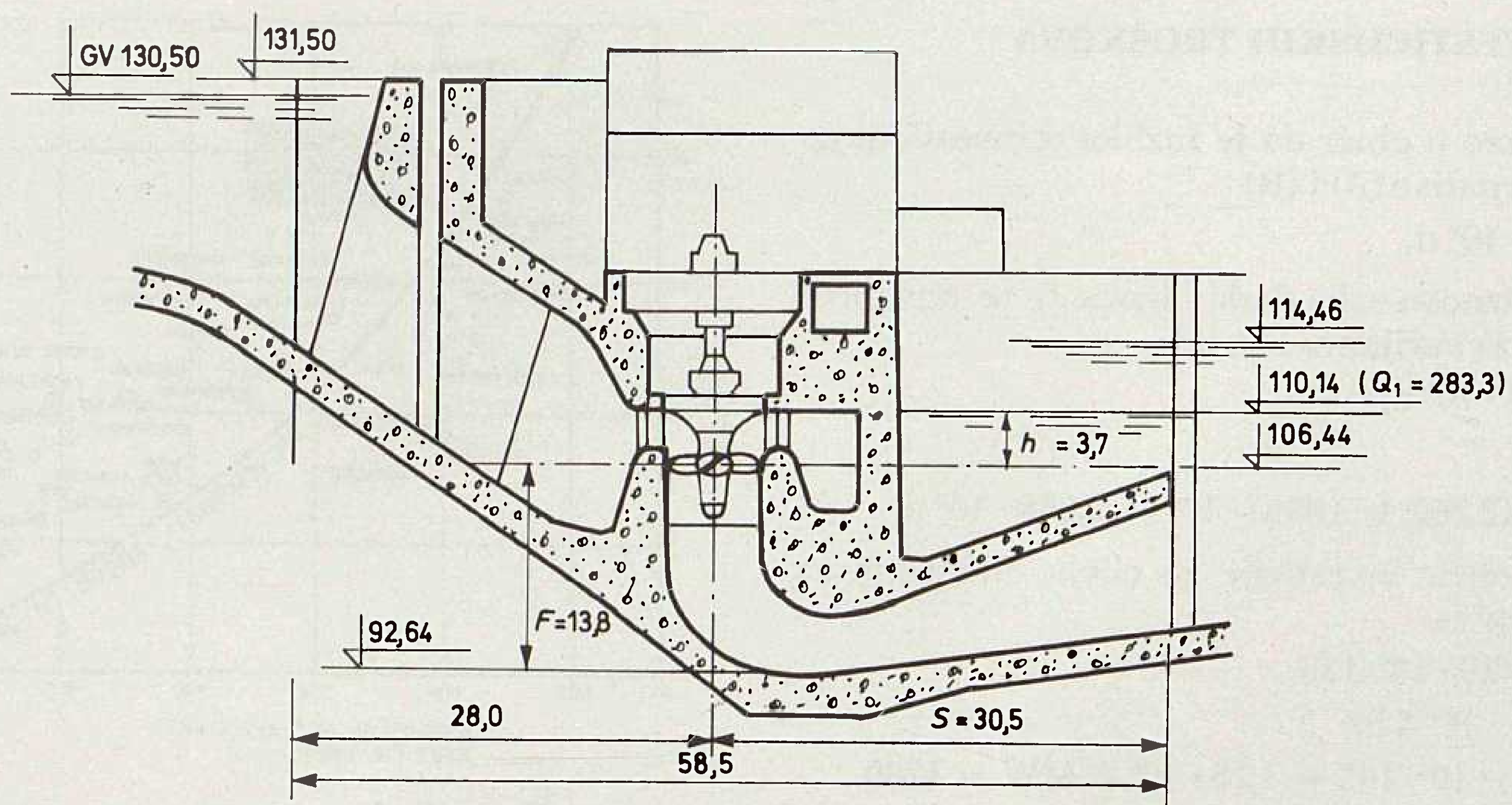
Primjedba: • odnosi prema th. karakteristikama iz priložene tablice

• alternative (A), (B) i (C) odnose se na instalirani protok odnosno primjenu cijevnih turbina u »Kruški« te vertikalnih Kaplanovih turbina

× primjer za izbor grupe za Main Canal (USA), v. Water Power oct. 1985. ( $H_d = 12,8 \text{ m}$ ,  $Q_t = 228 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ )

\*cijene s početka 1985.

Slika 1. VS Đurđevac, proizv. grupa cijevna u »Kruški«; razmak osi grupa  $\theta = 15,5 \text{ m}$



Slika 2. VS Đurđevac, proizvodna grupa Kaplanovih turbina; razmak osi grupa  $O = 37,0$  m

Odnosi troškova gradnje strojarnice slijede iz slike 1. i 2, koje daju presjek strojarnice za obje alternative te razmak osi proizvodnih grupa.

S obzirom na troškove gradnje, možemo, dakle, konstatirati sljedeće:

- odnosi su vidljivi iz tablice 2: betonski su radovi 78% veći, a relativni je odnos 1,78 u korist cijevnih proizvodnih grupa
- iskop građevinske jame strojarnice i dijela kanala: 1,17,
- glavna oprema: relativan odnos 1,3,
- troškovi opreme i građevnih radova: relativan odnos 1,39 na osnovi cijena početku 1985. Međutim, relativni odnosi ostaju jednaki,
- investicije iz tablice 2. za alternativu (A) i (B) preračunate u američke dolare (uz odnos 1 \$ = 400 din) daju:
  - a) za alternativu (A):  $22,61 \cdot 10^6$  \$,
  - b) povećanje troškova investicija za alternativu (B), tj. za vertikalne grupe, iznosi  $3,496 \cdot 10^9 / 400 = 8,74 \cdot 10^6$  \$,
- trajanje gradnje bitno je kraće, a i specifični su troškovi građenja niži radi jednostavnije i jeftinije oplate.

Budući da smo računali s cijenama iz 1985, zadržali smo i tadašnji kurs američkog dolara jer je riječ o relativnim veličinama.

### RAZLIKE U GODIŠNJOJ PROIZVODNJI ENERGIJE

- Radi boljega korisnog stupnja djelovanja grupe u »Kruški«, povećava se godišnja proizvodnja (skromno računato za  $Q_i = 850 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) za (v. sl. 3):

$$W = 15 \text{ GWh/god.},$$

što uz cijenu energije samo za gorivo iz npr. TE Si-sak 1. i 2. od

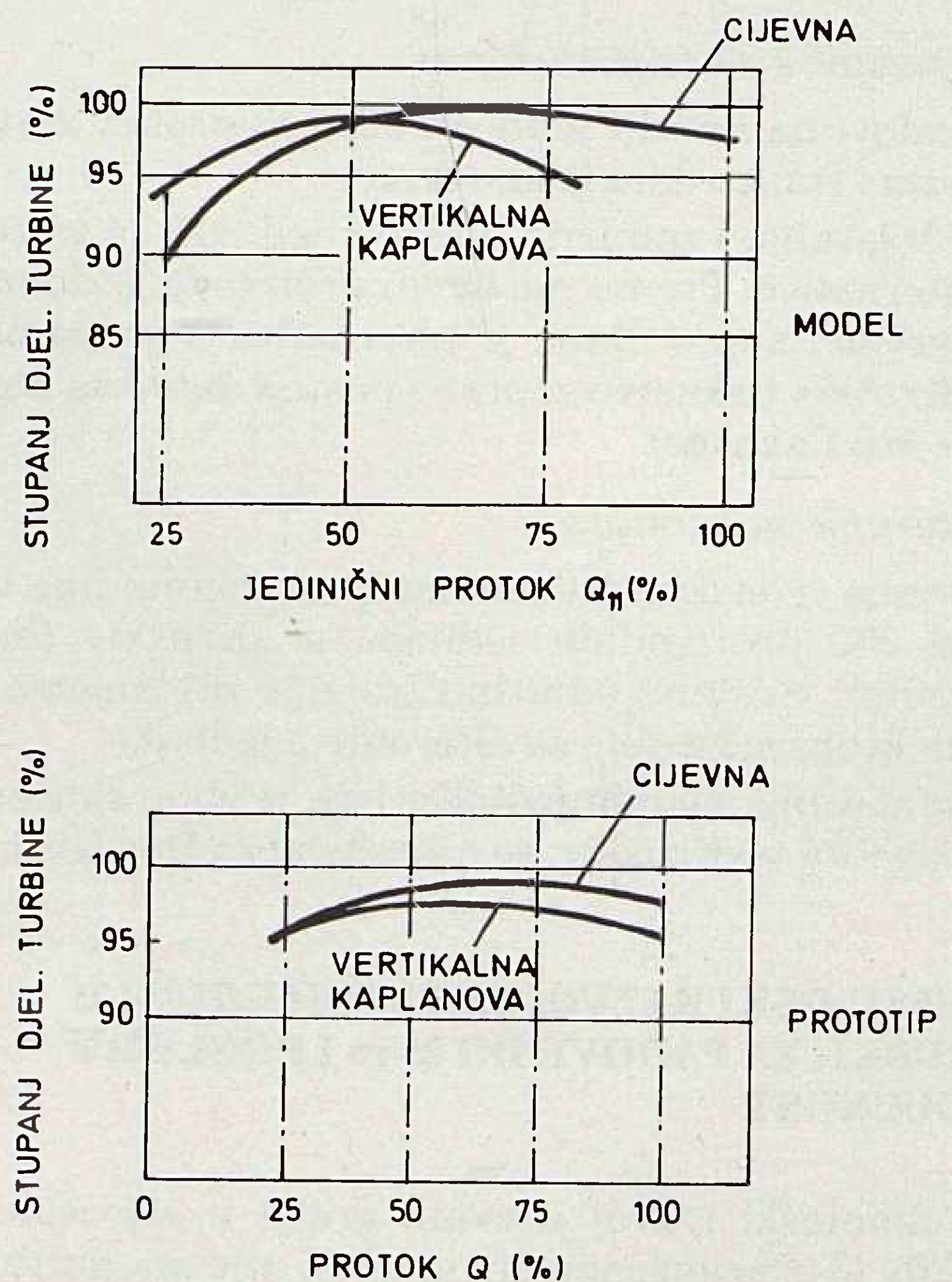
$$C_g = 18,90 \text{ din/kWh}$$

(v. elaborat IE Zagreb od 12/1986. god.) daje uštedu od

$$J_g = 283,50 \cdot 10^6 \text{ d/god}$$

ili kapitaliziranu vrijednost s kvotom godišnjih troškova od 12%

$$J_k = 283,50 \cdot 10^6 / 0,12 = 2,362 \cdot 10^9 \text{ d.}$$



Slika 3. Usporedba modela i prototipa cijevne i Kaplanove turbine

$$Q_t = 228 \text{ m}^3/\text{s}, H_d = 12,8 \text{ m}$$

$$D_m = 5,34 \text{ m}, \text{ indeks stabiliteta}$$

$$T_m/T_w = 1,6$$

(W. Power, oct. 1986)

## ODNOSI INVESTICIJSKIH TROŠKOVA

- Ako uzmemo u obzir da je razlika u investiciji između alternative (A) i (B)

$$J = 3,496 \cdot 10^9 \text{ d,}$$

onda tom iznosu valja dodati iznos  $J_K$  te, nasuprot investiciji za varijantu (A), od

$$J_A = 9,044 \cdot 10^9 \text{ d,}$$

stoji iznos

$$J + J_K = (2,362 + 3,496) \cdot 10^9 = 5,858 \cdot 10^9 \text{ d.}$$

- Uzevši u obzir investicije za cijelu elektranu za  $Q_i = 850 \text{ m}^3/\text{s}$

$$J_{850} = 74,419 \cdot 10^9 \text{ d ili}$$

$$J_{850} = 186 \cdot 10^6 \text{ \$ ili}$$

$$C_{850} = 186 \cdot 10^6 / 145 = 1,28 \cdot 10^6 \text{ \$/MW} = 1280 \text{ \$/KW.}$$

Dakle, primjenom cijevnih grupa postizemo investicijsku uštedu od  $5,858 \cdot 10^9 \text{ d}$ , pa je

$$J_{850} = 74,419 \cdot 10^9 - 5,858 \cdot 10^9 = 68,561 \cdot 10^9 \text{ d ili}$$

$$J_{850} = 171,4 \cdot 10^6 \text{ \$ ili}$$

$$C_{850} = 171,4 \cdot 10^6 / 145 = 1,18 \cdot 10^6 \text{ \$/MW} = 1180 \text{ \$/KW}$$

(uz tečaj 1 \$ = 400 d).

## OSTALI PARAMETRI KARAKTERISTIČNI ZA ALTERNATIVNA RJEŠENJA

### Održavanje i revizije turbina:

- Radovi na reviziji jednostavniji su prema austrijskim i francuskim iskustvima.
- Održavanje i zamjena dijelova jednaki su za obje alternative. Prema mišljenju proizvođača domaće opreme, nepovoljnija je alternativa s grupama u »Kruški« (iskustvo zapravo postoji samo sa 2 grupe HE Čakovec).

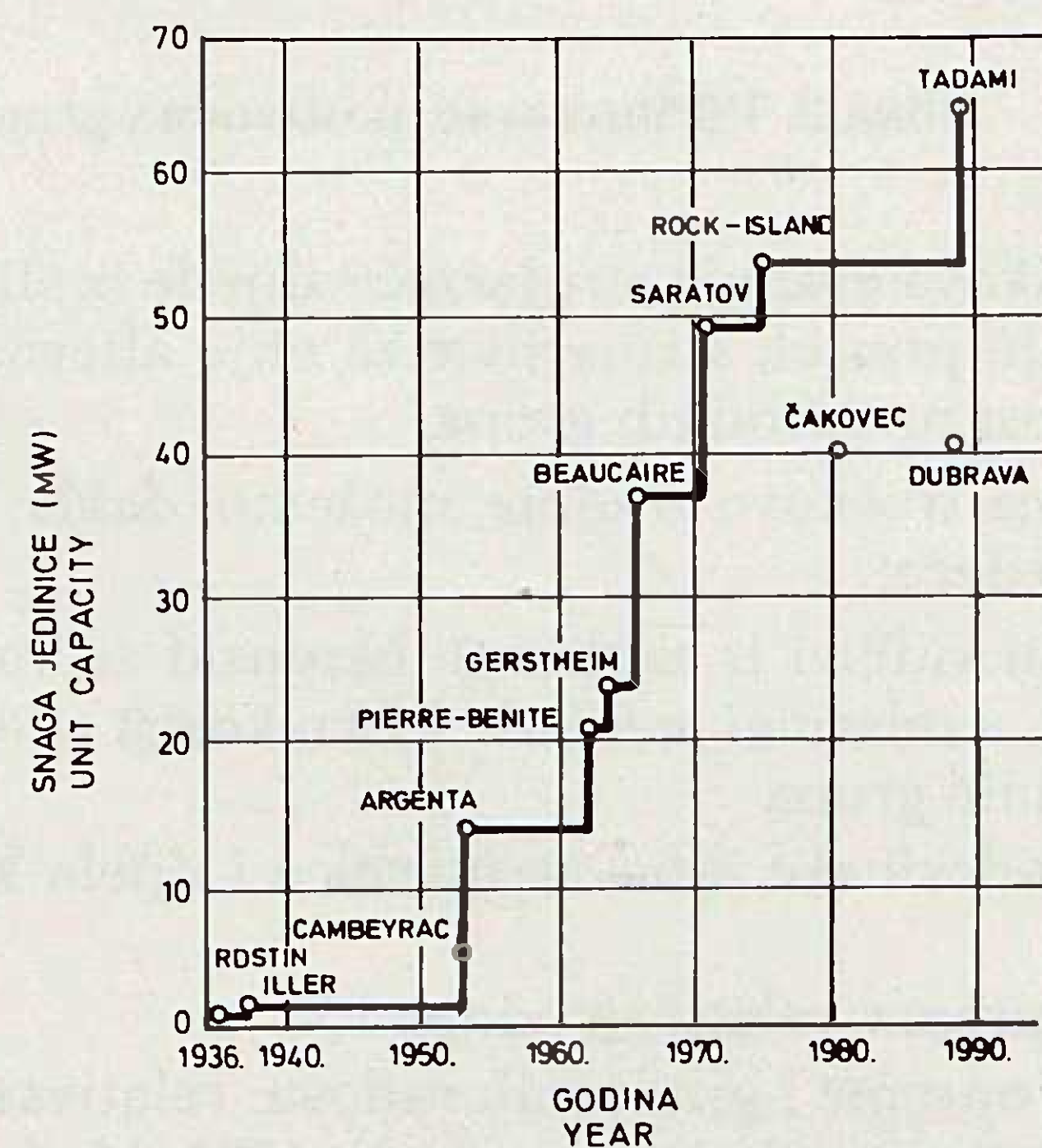
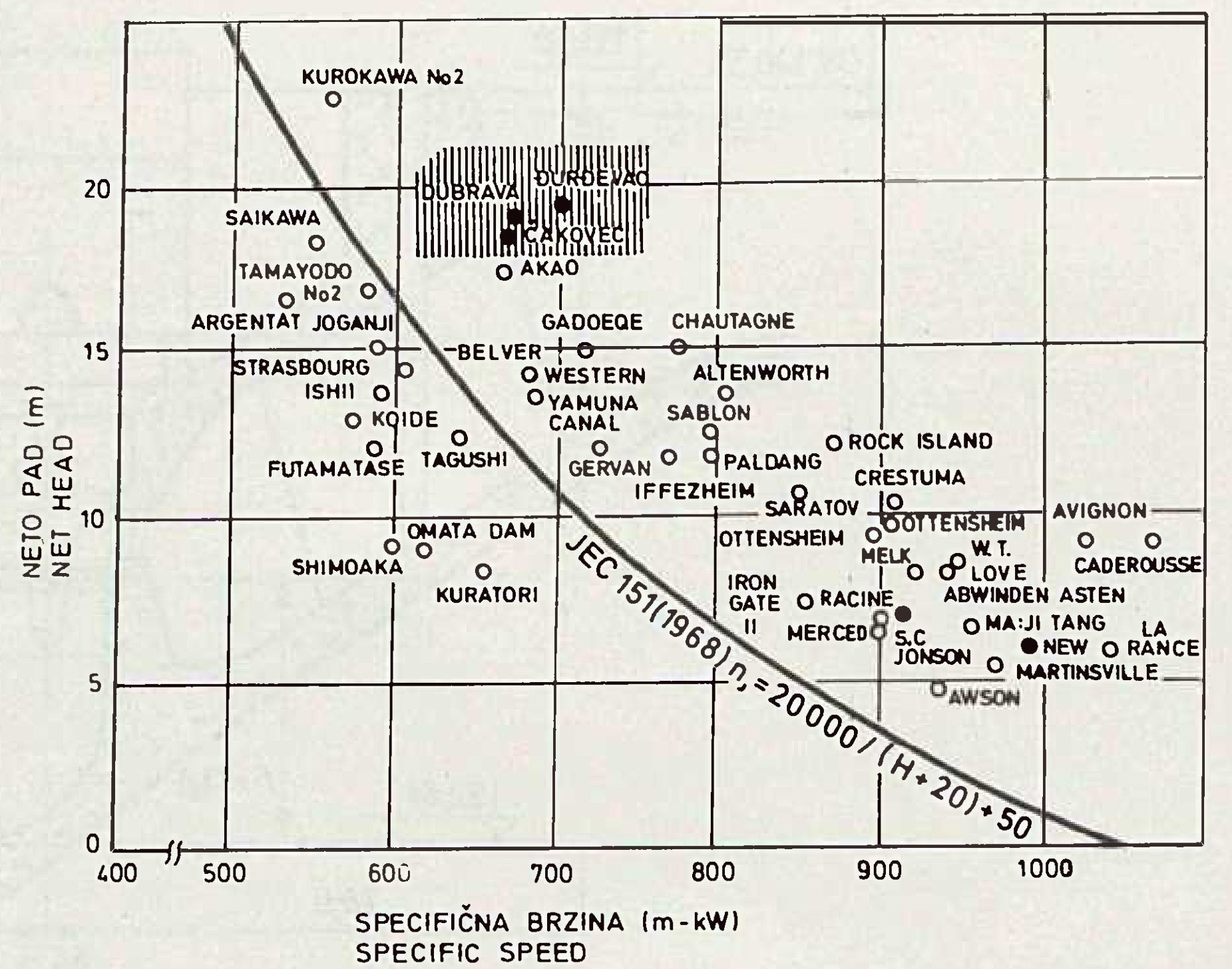
### Održavanje generatora:

- Prema svjetskim iskustvima (a u pogonu ima više od 200 proizvodnih jedinica u »Kruški« (bulb-units)) troškovi odnosno trajanje otklanjanja težih kvarova za obje su alternative jednaki.
- Održavanje **manjih jedinica** teže je zbog skućenog prostora u »Kruški«; to nije slučaj za Đurđevac.

## TEHNOLOŠKI RAZVOJ CIJEVNIH GRUPA U »KRUŠKI« ZA PADOVE DO 25 m I POGLED U BUDUĆNOST

- Tehnološki razvoj cijevnih grupa u »Kruški« vidljiv je iz priloženog dijagrama i nije mu potreban komentar (sl. 4).
- U gradnji je hidroelektrana Tadami u Japanu s cijevnom grupom u »Kruški« snage 65,8 MW, za nazivni pad

$$H_d = 20,7 \text{ m, za } n = 100 \text{ min}^{-1}, n_s = 614 \text{ (m-kW)}, h_s = -8,5 \text{ m.}$$



Slika 4. Sadašnje stanje i trendovi razvoja cijevnih proizvodnih grupa u »Kruški« (W. Power, March 1983)

Karakteristike generatora: snaga 67,2 MVA, napon 11 kV, faktor snage 0,95.

Sva su ispitivanja završena, komercijalni pogon počinje u kolovozu 1989.

- Budući da je područje elektrana s malim padovima vrlo perspektivno, potrebno je pronaći nova tehnološka rješenja na domaćem i inozemnom tržištu.

## ZAKLJUČAK

Razlike u investicijama i većoj proizvodnji energije primjenom cijevnih proizvodnih grupa su tolike da je to suvremeno i danas jedino ekonomično rješenje opravdano.

Razlika u investicijama upravo je tolika da se za ta sredstva može izgraditi trafostanica 400/110 kV Žerjavinec (Zagreb-istok!) (prva etapa gradnje).

**LITERATURA**

- [1] K. BEGOVIĆ: »Hidroenergetska postrojenja, Uvod u probleme izbora opreme«, (Knjiga), »Delit« Sisak, 1986.
- [2] G. GRANIĆ, Đ. HATIĆ, Đ. STANKOVIĆ, K. BEGOVIĆ, B. BERAKOVIĆ,: »Veličina izgradnje i tip agregata u VS Đurđevac«, Institut za elektroprivredu Zagreb i Elektroprojekt, Zagreb, ožujak 1987.
- [2] R. W. FAZALERE: »Bulb turbine selection for the Main Canal project«. Water Power & Dam Construction, Oct. 1985.
- [2] T. UEDA: »Large capacity bulb units in Japan«, Water Power & Dam Construction, March 1983.
- [2] Compagnie National du Rhone, Section de l'Exploitation et des Services Electromechaniques, »Les groupes »bulbe« du Rhone, Symph. Hydr., Belgrad, 11 – 12 Juni 1981.

**CHOICE OF THE TYPE PRODUCTION GROUP FOR HPP 'ĐURĐEVAC'**

In the article are presented results for choice of type production group for HPP 'Đurđevac'. Analysis is made for design specifications of main equipment and it is made on elaborations of 'Elektroprojekt' Zagreb, April 1985 year and 'Institut za elektroprivredu/Elektroprojekt' Zagreb March 1987 year.

**AUSWAHL DER ERZEUGERGRUPPEN — TYPEN FÜR FS ĐURĐEVAC**

Im Artikel werden die Ergebnisse der Analyse der Typenauswahl der Erzeugergruppen für VS Đurđevac dargestellt. Die Analyse wurde für den Bedarf der Projektauswahl der notwendigen Ausrüstung durchgeführt. Sie gründet auf den Elaboraten von ELEKTROPROJEKT, Zagreb, April 1985 und INSTITUT FÜR ELEKTROWIRTSCHAFT / Elektroprojekt, Zagreb März 1987.

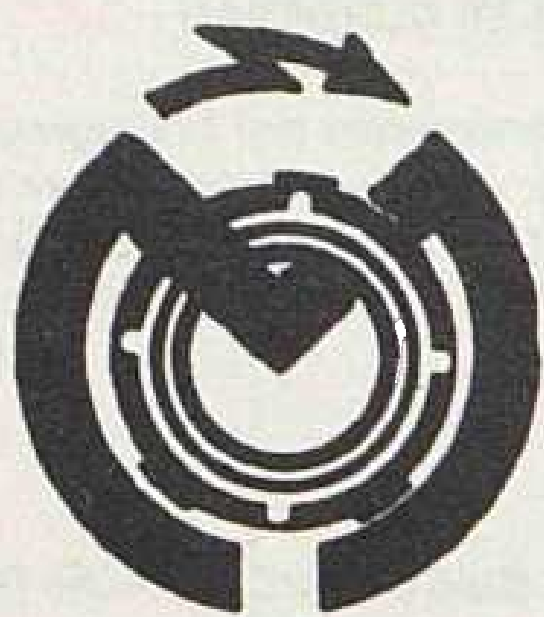
**БЫБОР ТИПА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ГРУПП ДЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ПОДСТАНЦИИ ДЖУРДЖЕВАЦ**

В статье приводятся результаты анализа выбора типа производственных групп для высоковольтной сети Джурджевац. Анализ выполнен для надобностей проекта — выбора основного оборудования, а базируется на выработанных планах »Электропроекта«, г.Загреб, май 1985 г. и Института электрохозяйства/Электропроекта Загреб, март 1987 г.

Naslov pisca:

**Krunoslav Begović, dipl. inž.  
Elektroprojekt, 41000 Zagreb  
Proleterskih brigada 37  
Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis  
1988-02-08



## „MONTER“

Radna organizacija za projektiranje,  
inženjering poslove, proizvodnju, montažu  
u industriji i postavljanje svih vrsta  
instalacija u građevinarstvu,  
s neograničenom solidarnom odgovornošću  
OOUR-a

41000 Zagreb N. Demonje 4  
Telefon 041/571-866  
Telegram Monter  
Telex 21433 Yu Monter

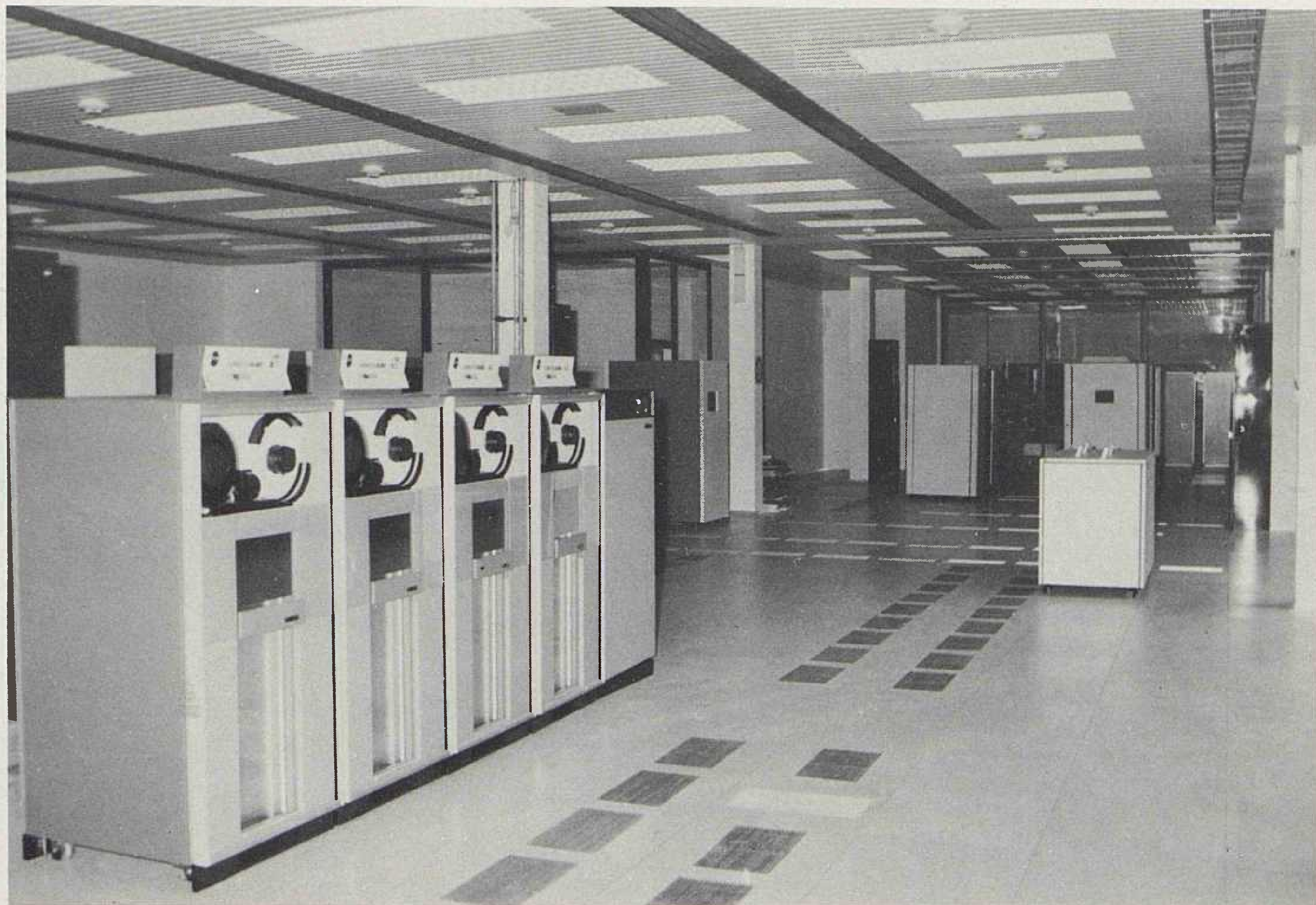
SPONZOR-SUORGANIZATOR  
**UNIVERZIJADE'87**

ZAGREB  
JUGOSLAVIJA



RO »Monter« izvodi sve montažne radove i projektiranja na području hidromontaže, elektrike, automatike, grijanja i hlađenja, montaže opreme i cijelih procesa u industriji, cjevovode, čelične konstrukcije, rezervoare i slično.

Iz godine u godinu RO »Monter« Zagreb sa 4.500 zaposlenih radnika bilježi sve zapaženije rezultate i danas je jedan od najvećih montažerskih kolektiva u Jugoslaviji, a poznat je i cijenjen u Alžiru, Austriji, Čehoslovačkoj, DDR, Libiji, Mađarskoj, SR Njemačkoj, Poljskoj, Sudanu i SSSR-u — zemljama u kojima već 20 godina s puno uspjeha izvodi sve vrste radova.



CAOP Zagreb — instalaterske radove izvodili radnici Montera

# IZVJEŠTAJ O HAVARIJI NA NADZEMNIM VODOVIMA RO »ELEKTROPRIMORJE« RIJEKA U SIJEČNJU 1987. GODINE

Miljenko Jugovac, Rijeka

UDK 621.315.1  
STRUČNI RAD

Havarija izazvana nevremenom početkom 1987. godine uvjetovala je potrebu da se osim direktnog angažiranja u sanaciji oštećenja pokuša saznati više o samome mehanizmu i uzroku nastajanja takvog nevremena, tj. da se, osim izgovora na »višu silu«, pokušaju naći i takvi putovi intervencije koji bi sljedeću moguću pojavu sličnog efekta svele u realne granice.

**Ključne riječi:** Elektroprimorje »Rijeka«, nadzemni vodovi, havarije.

## LOKALIZACIJA NEVREMENA

U siječnju 1987. godine Sjeverni je Jadran (sl. 1) zhvatio nevrijeme kakvo se inače javlja, povremeno, svakih 10-tak godina. Najveće havarije na objektima i raslinju nastale su u zonama gdje inače puše vjetar sjevernog i sjeveroistočnog smjera. Samo djelovanje vjetra vjerojatno ne bi izazvalo veća oštećenja da nije bilo istovremene pojave leda tj. ledene kiše.

U manjem opsegu ta se pojava (istovremenost leda i vjetra) češće javlja u podvelebitskom dijelu, pa bismo mogli reći da je ondje možda redovita. Međutim, takvi su meteorološki uvjeti na ostalim područjima rijetki i stoga su njihove posljedice neusporedivo teže.

Prvi znakovi inverzije, (vidi dodatak) odnosno oštećenja nastalih zbog leda pojavili su se na srednjonaponskim vodovima na Učki već 10. siječnja. Tada je na cijelom području pao snijeg koji je postajao sve vlažniji, a temperatura sve niža. Na vodičima i stupovima počele su se stvarati naslage mokrog snijega koje su sljedećih dana počele mijenjati strukturu i pretvarati se u led. Snijeg koji je i dalje pao počeo je prelaziti u ledenu kišu koja je povećavala veličinu »ledenih rukava« na vodičima. Paralelno s procesom zaleđivanja, vjetar se pojačavao pa je 13. i 14. siječnja nevrijeme doseglo kulminaciju. Led je okovao u debeli omotač sve što se nalazilo na površini tla, a havarije na zračnim vodovima proširile su se na veći dio područja naše distribucije.

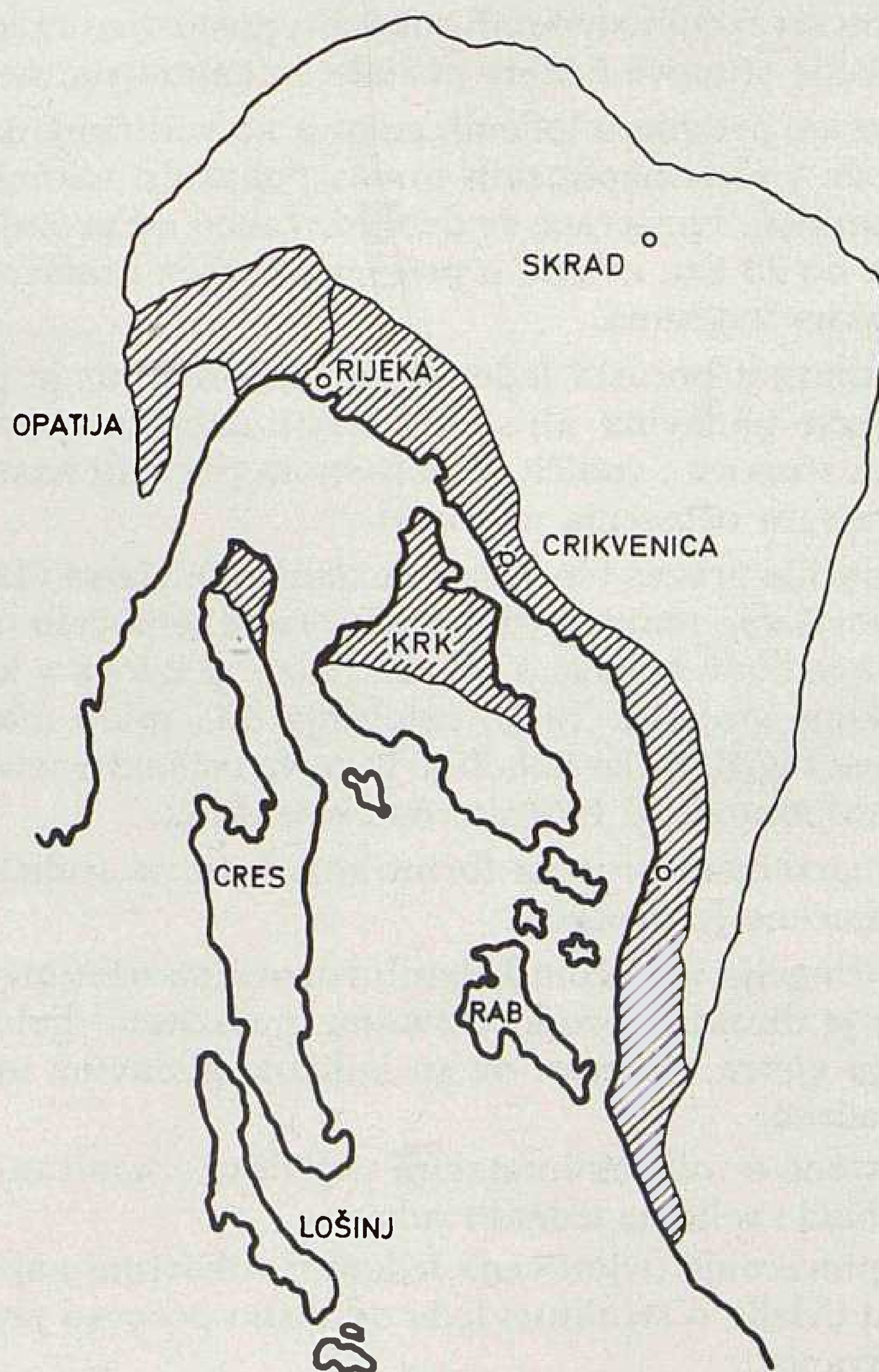
Na srednjonaponskim vodovima lomile su se konstrukcije stupova (čeličnorešetkaste, betonske i drvene) i kidali vodiči.

Na niskonaponskim vodovima počeli su se rušiti stupovi i kidati vodiči, a pao je i SKS, pogotovo na području ispod Velebita.

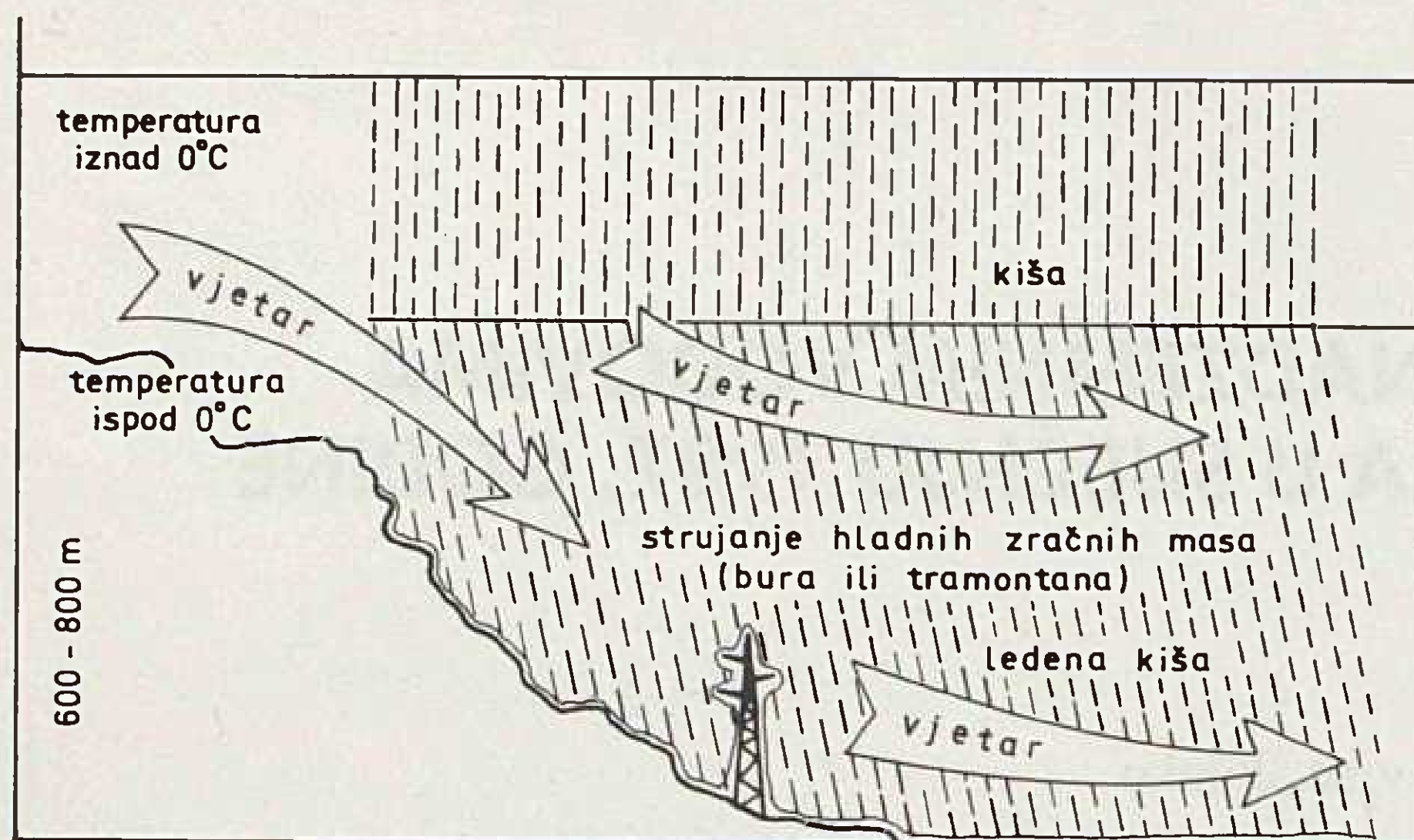
Neposredno nakon prestanka ledene kiše pojačao se intenzitet vjetra na priobalnim područjima, pa su zabilježeni rekordni maksimalni udari brzine od 60 m-

/s. Tada su se na nekim dionicama zračne mreže oslobodile ledenih naslaga na vodičima, što je uzrokovalo kidanje vodiča i oštećenja na konstrukcijama stupova. Kako je proces kidanja »ledenih rukava« s vodiča i dalje nastavljen, do njihova potpunog oslo-

## KARTA UGROŽENOG PODRUČJA



Slika 1. Iscrtkani dijelovi označavaju područja koja su od 10. do 18. siječnja 1987. godine zahvaćena nevremenom najvećeg intenziteta.



Slika 2.

bađanja od leda oštećenja na vodovodima bila su stalna.

Na samom početku nevremena, koje je bilo vezano za padanje snijega, nisu primijećena veća oštećenja na vodovodima, vjerojatno zato što je formirani ledeni omotač imao strukturu leda niske specifične težine, a time i malo gravitacijsko opterećenje.

S daljnjim padom temperature ledeni je talog promijenio strukturu jer se specifična težina povećala na vrijednost oko  $0,92 \text{ kg/dm}^3$ , što je, dakako, uzrokovalo povećano opterećenje na vodiče odnosno na konstrukcije stupova. Doda li se tome i pritisak vjetra, koji je jednakim intenzitetom djelovao na veću površinu stvorenih »ledenih rukava«, posljedice za konstrukcije stupova i užeta postale su katastrofalne.

Mjerenje promjera ledenih rukava na vodičima dalekovoda i niskonaponskih mreža pokazuju raznolike vrijednosti. Izmjerene se debljine kreću od promjera 4 cm do 20 cm, ovisno o presjeku vodiča i mikroklimatskim uvjetima.

Kontinuitet porasta ledenog taloga prekinut je prestankom padavina, ali se led čvrsto držao na površinama stupova i vodiča. U narednom periodu nastala su najveća oštećenja na mreži.

Sljedeći je proces bio vezan za slabljenje vjetra i lagano povišenje temperature zraka. Time je počelo opadanje ledenih rukava s užeta i ledenog taloga s konstrukcija stupova. Ta su oštećenja bila malo manja iako je registrirano nekoliko lomova čeličnorešetskih stupova na 35 kV-tnim dalekovodima.

Promatranjem procesa formiranja leda na vodičima zamijećeno je sljedeće:

1. formacija i veličina ledenih rukava na užetima bila je direktno proporcionalna intenzitetu djelovanja vjetra, uz uvjet da su količine padavina ujednačene,
2. ovisno o mikroklimatskim uvjetima, formirani su oblici i veličine ledenih rukava,
3. opterećenja uvjetovana ledenim rukavima najviše su ovisila o strukturi leda odnosno procesu proleđivanja,
4. temperatura podloge uvjetovala je mogućnost taloženja leda, bez obzira na to je li riječ o mokrom snijegu ili pothlađenoj kiši.

## OŠTEĆENJA NA NADZEMNIM VODOVIMA — OPĆENITO

### 35 kV-tni vodovi

U toku havarije evidentirana su oštećenja na nadzemnim vodovima svih napona.

Takva nevremena prije svega potiču »supstituciju« na svim slabim mjestima mreže koja su u toku eksploatacije dotrajala ili koja su na bilo koji način, možda već i u procesu projektiranja ili gradnje, nekvalitetno formirana.

Nadalje, primijećeno je da velik dio oštećenja »ide na dušu« nekvalitetnom nadzoru odnosno lošom projektiranju. Dokaz takve tvrdnje jest činjenica da nema većih oštećenja u nizu odnosno na većem dijelu trase dalekovoda, već su oštećeni samo pojedini dijelovi na cijelom sistemu mreže.

Havarije su uglavnom veće na vodovima višeg napona, što je shvatljivo ako se ima na umu da su u pitanju veće investicije odnosno veća dinarska ulaganja. Evidentirane veličine ledenih rukava, posebno na 35 kV-tnim vodovima, govore o veličini dužinske mase koja bi u jednom rasponu dala ekstremna opterećenja. No treba realno sagledati neke činjenice. Prva se sastoji u tome da su promjeri ledenih rukava izmjereni na pozicijama s maksimalnom veličinom, koja, naravno, po cijeloj dužini užeta nije jednaka. Druga je činjenica ta da se promjeri razlikuju s obzirom na poziciju leda unutar jednog provjesa.

Sistematiziranjem lomova stupova na 35 kV-tnim dalekovodima u toku havarije moguće je odrediti tipične oblike koji se pojavljuju u najviše slučajeva.

1. Stup je srušen zbog velikog tereta ledene mase. Takav je slučaj na našem području vrlo rijedak iako ih je bilo. Pritom se stup ruši bez prethodnog prekida vodiča.
2. Stup se savije ispod treće konzole zbog pucanja užeta u trećoj fazi (sl. 13)
3. Stup se savije ispod druge konzole zbog pucanja užeta u drugoj fazi (sl. 8).
4. Stup se savije ispod prve konzole zbog pucanja užeta u prvoj fazi (sl. 11)

Takav pristup u analizi uzroka oštećenja govori nam da u maksimalnom broju lomova postoji torzija na glavi stupa, a nastaje pri prekidu vodiča s jedne strane raspona.

U tom smislu sasvim su opravdana razmišljanja o potrebi ugradnje kliznih stezaljki ili nekih drugih konstrukcija da bi se što više smanjio rizik od pojava torzije, a time i oštećenja uporišta.

Takva rješenja u svijetu nisu nova, međutim u nas zasa sada još nisu primjenjivana.

Između ostaloga, u toku pregleda oštećenih dionica dalekovoda primijećeno je da su vodiči pucali zbog oštećenja nastalih u toku eksploatacije pri padu užeta na kamenjar ili zbog pušcanog zrna, što u normalnim uvjetima eksploatacije nije uzrokovalo padanje kao pri pojavi leda.

Svakako treba spomenuti i to da je u nekoliko slučajeva primijećena i nekvalitetna ugradnja zarezne ili kompresione spojnice, zbog čega se izvlačilo užje. Razlog tome je vjerojatno činjenica da je upotrebljavan neodgovarajući alat ili je ugradjivanje obavljalo nedovoljno obučeno osoblje posebno kada je riječ o kompresionim spojnica.

Na dionicama s užetima od bakra primijećeno je da su vodiči pucali zbog oštećenja na površini uzrokovano električnim lukom, što je izazvalo prekid određenog broja žica, a time i smanjenje ukupne prekidne čvrstoće.

Također je opaženo da je užad dalekovoda pucala i zbog zamora materijala, posebno u zoni intenzivnog djelovanja vjetra. Ta je pojava povezana s vibracijama koje su evidentirane na dalekovodima i za čiju bi identifikaciju bilo potrebno obaviti mjerenja radi određivanja amplituda i frekvencija titraja. Na osnovi njih moglo bi se intervenirati prigušivačima (stock-bridge) ili bikoničnim prutovima.

U vezi s već navedenim, moramo reći da je nakon identifikacije uzroka i posljedica havarije te prve intervencije bilo nelogično montirati oštećene stupove tako da se ponovo ugradi ista konstrukcija jednakih tehničkih parametara kao dotad. Izmjena, tj. ugradnja novih stupova, obavljena je konstrukcijama većih mogućnosti odnosno s pooštrenim kriterijima mehaničke sigurnosti.

Proces odabira novog stupa vezan je za izmjerene pokazatelje koji govore o ledu i vjetru te njihovoj istovremenosti.

### 1. primjer

Oštećenja stupova na 35 kV-tnom dalekovodu Delnice – Gerovo, koja nastaju zbog ledenih naslaga javljaju se redovito svake godine. Broj oštećenih stupova, istina, nije velik (prosječno jedan stup godišnje), međutim, očito je da s njihovom konstrukcijom nešto nije u redu. Pregledom dokumentacije i komparacijom s oštećenjima zaključeno je da na jednom dijelu stupa postoje jednostruke dijagonale i da je stup na tom djelu zapravo oslabljen (sl. 3). Zato je oštećene stupove potrebno zamijeniti novim tipom stupa većih mehaničkih mogućnosti, a nikako popraviti stari.

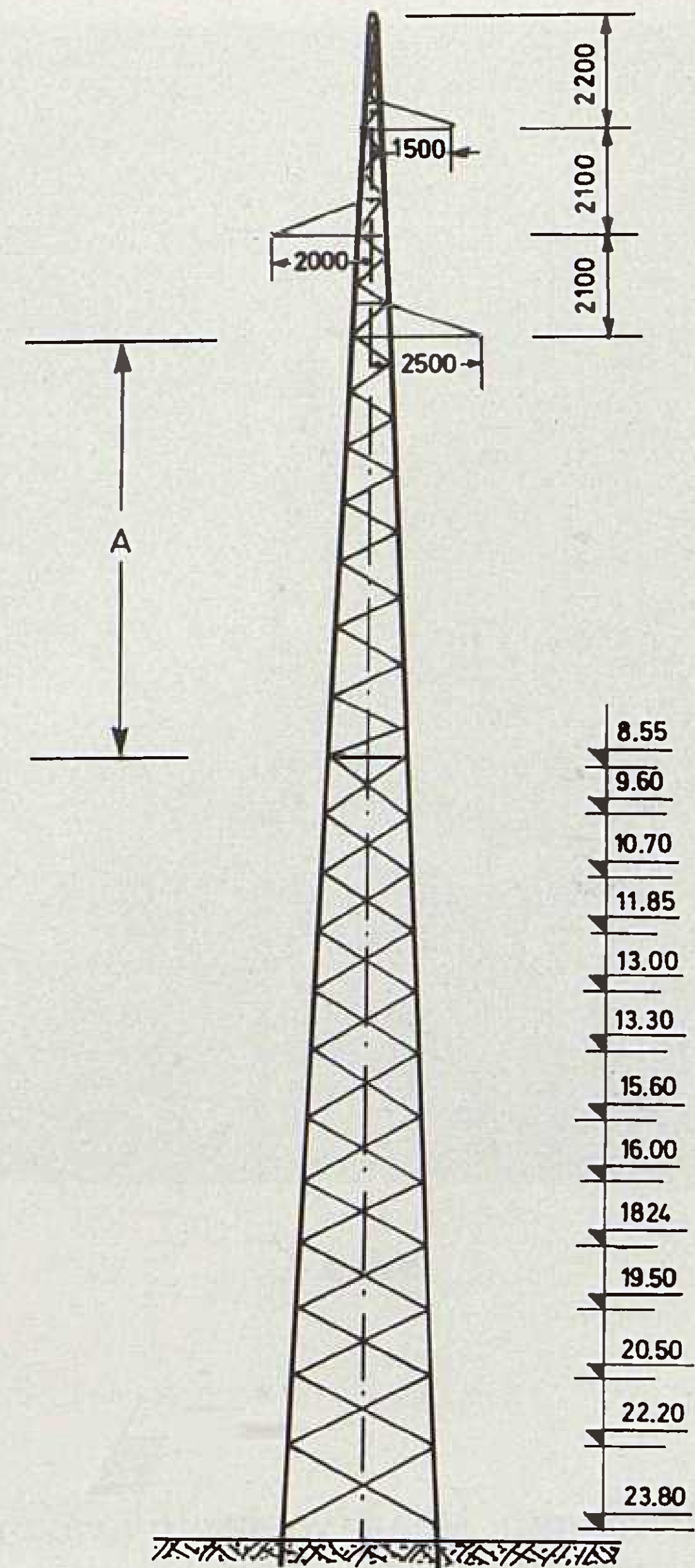
### 2. primjer

U podvelebitskom području oštećeni se linijski stupovi zamjenjuju »specijalcima« da bi se uz kvalitetnije uporište smanjile i dužine zateznih polja.

### 10 kV-tni vodovi

Pregledom 10 kV-tnih dalekovoda izgrađenih s izolacijom za 20 kV-tni napon uočeno je da su oštećenja pretežno praćena kidanjem vodiča, a rijede lomovima drvenih stupova.

Lomovi drvenih stupova uglavnom su posljedica osjetno smanjene prekidne čvrstoće, koja je u oteža-



Slika 3. Dio A stupa koji je oslabljen i na kojemu su česta oštećenja.

nim uvjetima leda i vjetra bila ispod dopuštene granice. Razlog za takvo stanje stupova je loša kvaliteta impregnacije.

Ipak su oštećenja najčešće bila uzrokovana nefunkcionalnim vezovima koji su u takvim uvjetima izuzetno važni. Pritom ponajprije misli na ulogu veza kao osigurača u trenutku kada je zbog mehaničkog preopterećenja ugrožena sigurnost stupa. U tim je trenucima dopušteno izvlačenje vodiča radi horizontalnog izjednačavanja sila, što ujedno rasterećuje glavu stupa.

U vezi s tim primijećeno je da su se stupovi lomili na pozicijama gdje je vez (na linijskom stupu) bio izveden kao Ohm-vez (ili omega), ali takvo čvrsto kao da je završni. Pri pucanju užeta takav vez nije dopustio proklizavanje vodiča, pa je zato stradao stup.

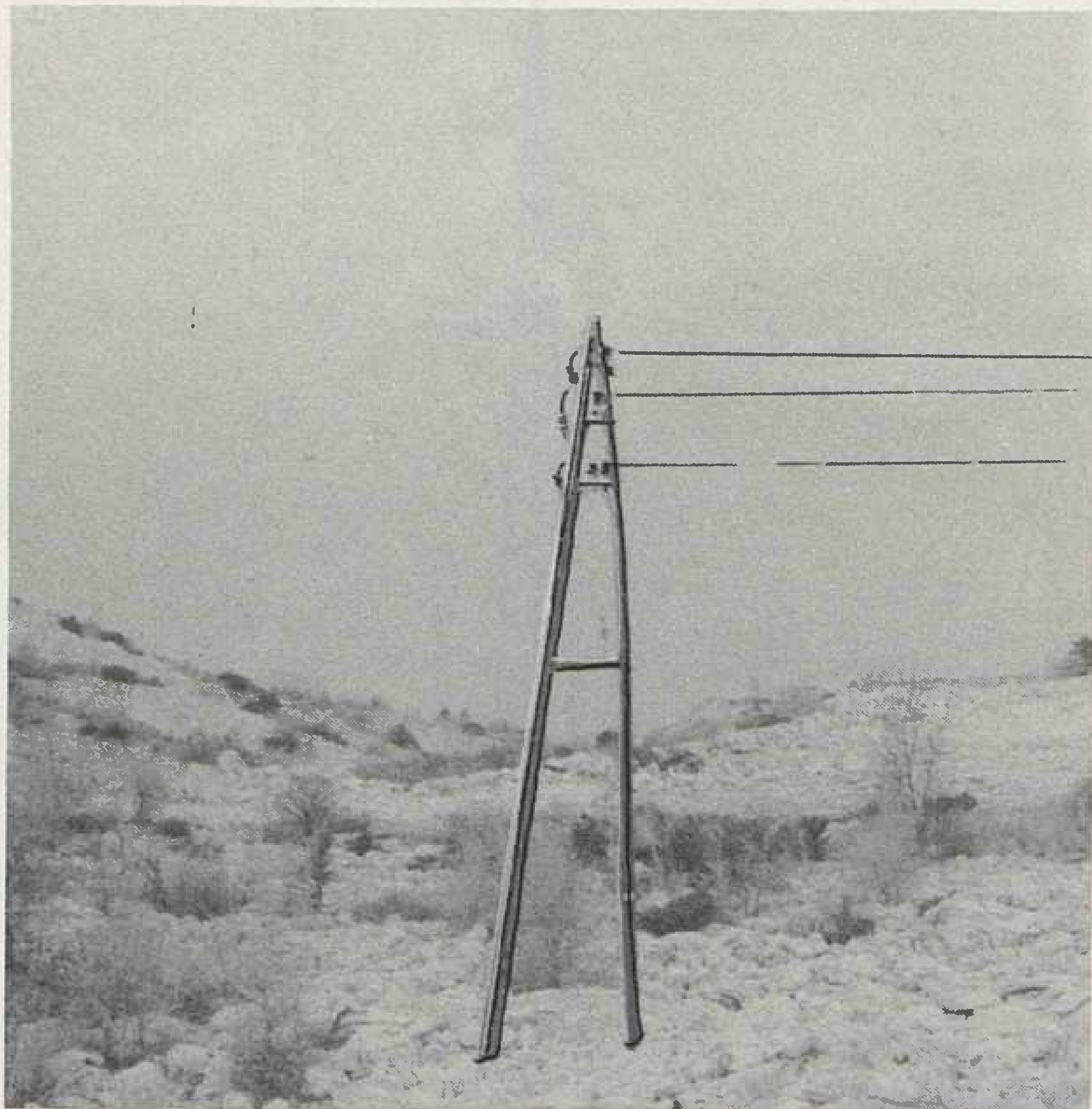
U tom su nevremenu stradali i specijalni A-stupovi koji su slomljeni zbog dotrajalosti, odnosno izvučeni iz tla vjerojatno zbog lošeg učvršćenja u temeljima.

Velika opterećenja na vodovima s drvenim A-stupovima izazvala su na nekim mjestima i njihove trajne deformacije, što je vidljivo iz slike 4.

### Niskonaponska mreža

Rasprostranjenost niskonaponske mreže u uvjetima velikih dodatnih opterećenja stvorila je najveće pro-





Slika 4.

bleme u održavanju. Mnoštvo sitnih kvarova uposlilo je osoblje pogona nekoliko mjeseci nakon havarije, zbog čega je utrošeno mnogo novca.

Čini se da je najveći dio naše niskonaponske mreže izveden sa SKS-om, što ujedno znači da su i stupovi na tim mrežama novijeg datuma. Zato na niskonaponskim mrežama sa SKS-om nije bilo takvih oštećenja kao na 10 kV-tnim vodovima.

Većih problema sa stupovima i vodičima bilo je na niskonaponskim mrežama s golim vodičima.

#### Primjer

Velik dio niskonaponskih mreža u zaleđu Opatije građen je sa Al-Če vodičima. Međutim, postoje i dionice koje su zadržale konfiguraciju još iz predratnog doba. To su betonski (ili drveni) stupovi s vodičima Cu 6 i 10 mm<sup>2</sup>. Led je na tim područjima doslovno »izbrisao« i vodiče i stupove te napravio »supstituciju« mreže.

Takvih tzv. »supstitucija«, međutim, nije bilo na novelektificiranim područjima zbog sljedećih razloga:

- primjena tehnologije SKS-a omogućila je takvu gradnju mreže, zajedno s priključcima, da se osim rasterećenja linijskih stupova postiže i mnogo veća pogonska sigurnost,
- baza podataka o meteorološkim uvjetima omogućila je projektantima kvalitetniji pristup u projektiranju mreža.

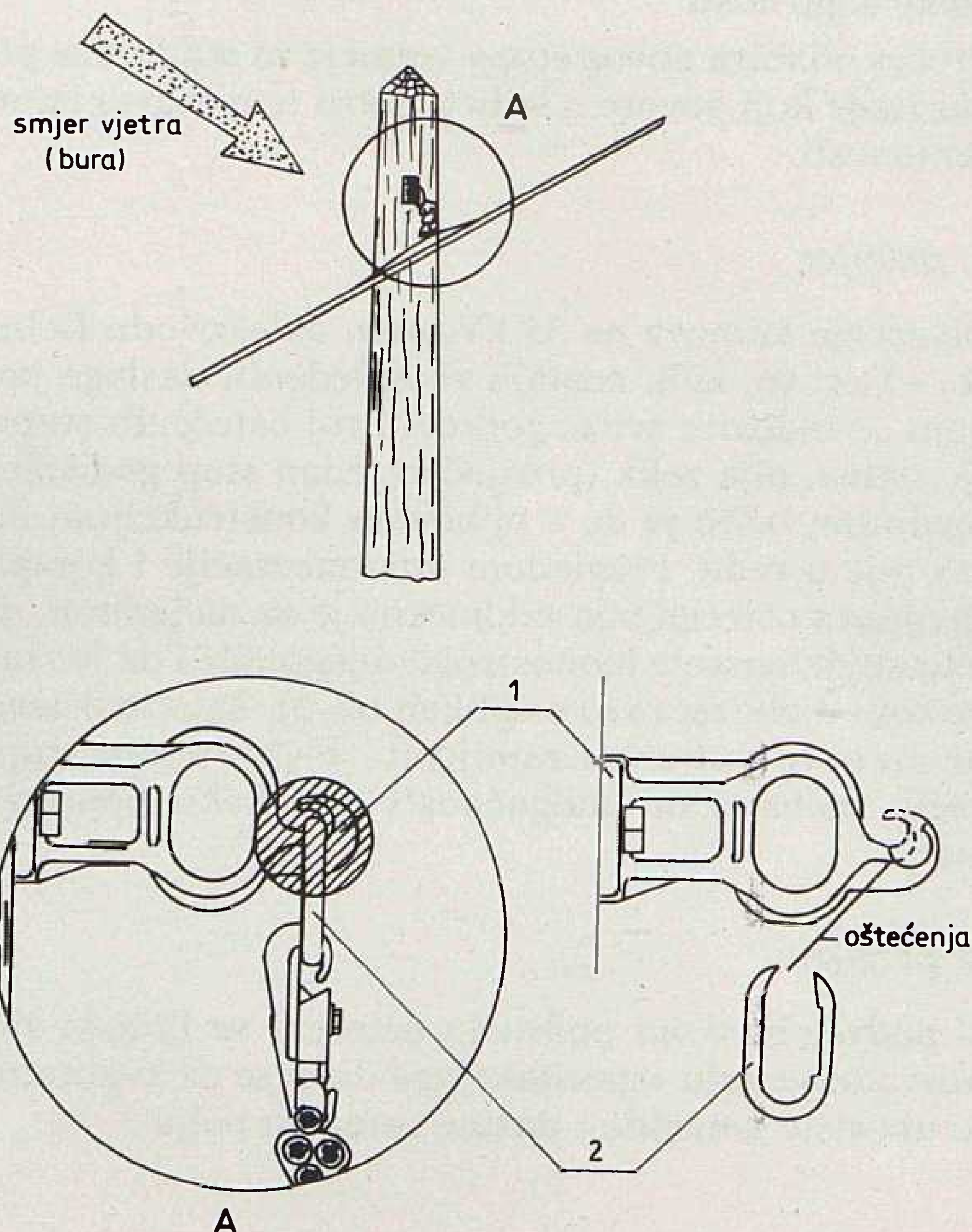
Možemo se pohvaliti da na mrežama sa SKS-om nije bilo znatnijih oštećenja — lomova stupova, međutim, bilo je drugih problema, posebno s ovjesnom opremom.

U tom smislu naša promatranja na terenu pokazuju sljedeće:

- ni u jednom slučaju nije se prekinuo kabelski snop bilo da je riječ o osnovnoj liniji, bilo da su posrijedi priključci,
- ovjesni je pribor zadovoljio svoju osnovnu funkciju — otpuštanje kabela pri prekoračenju dopuštenog opterećenja uporišta,
- Na SKS-u se talože jednake količine leda kao i na golim vodičima, iako je primijećeno i to da on otpada malo brže nego sa golih vodiča),
- na području intenzivne bure ovjesna se oprema vrlo brzo haba, a posljedica je padanje SKS-a na tlo (sl. 5).

Taj je problem sigurno naglašeniji ako se osim vjetra pojave i ledene naslage. Budući da se to upravo dogodilo za vrijeme havarije i na području Senja, padanje SKS-mreža na tom području bilo je masovna pojava. Pad SKS-a u većini slučajeva ipak nije izazvao prekid napajanja,

- pri padu kabel nije oštećen iako je padao i na kamenjar, a ponegdje su preko njega prelazila i vozila. Razlog je vjerojatno to što je zaštitni plašt (umreženi polietilen) zbog niskih temperatura imao vrlo krutu strukturu.



Slika 5.

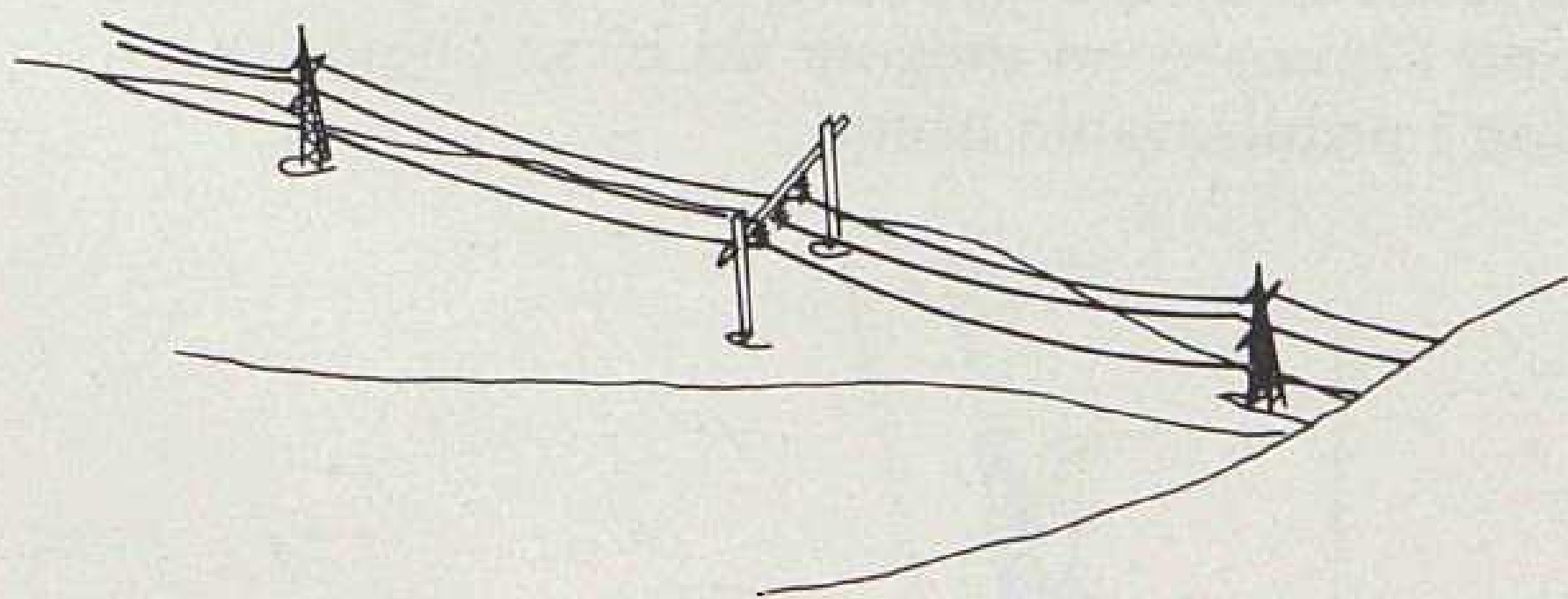
Na osnovi navedenih opažanja može se iznijeti zaključak da je SKS u takvim otežanim uvjetima dokazao svoju kvalitetu i da je zadovoljio osnovnu funkciju distributivne djelatnosti — neprekinutu opskrbu potrošača električnom energijom.

## Intervencije na vodovima

Oštećenja nastala takvim meteorološkim zbivanjima obično se javljaju istodobno na širem području naše distribucije. Ograničen broj osoblja, koje je na neki način određeno normativima održavanja, ne može uvijek u potrebno kratkom vremenu osposobiti postrojenja i dati napon potrošača. U tom se slučaju s područja na kojemu nije bilo havarije odnosno gdje je ona bila slabije angažira solidarno osoblje. Postoji i drugi način »snalaženja« pogonskog osoblja — angažiranjem kapaciteta i kooperanata koji djeluju na našem području (»Dalekovod« — Zagreb i »Metal« Opatija). Prve intervencije zapravo su provizorna rješenja. Stoga je logično zahtijevati da se oštećeni nadzemni vodovi prije puštanja pod napon osposobe u skladu s tehničkim propisima. Pritom prije svega mislim na sigurnost od napona dodira i koraka, a uz to i na ostale tehničke parametre kao što su mehanička sigurnost i pouzdanost u napajanju potrošača. U tom bi smislu provizorna rješenja kao privremena trebala izbjegavati, naročito na naseljenim područjima (jasno koliko je moguće) i za to se koristiti alternativnim tehničkim rješenjima.

Sanacija 35 kV-tnog dalekovoda posebno je problematična zato što su kvarovi vrlo često povezani s oštećenjem konstrukcije stupa (koji su obično čelično-rešetkasti ili betonski). Lomovi uglavnom nastaju na linijskim stupovima koji nisu dimenzionirani za prekid vodiča.

Oštećenja su uglavnom sanirana u prvoj fazi, upotrebom oblica i vijčanih obujmica. Pritom je važno postići određenu mehaničku sigurnost s obzirom na konstrukciju stupa i sigurnosne razmake. Logično je da je teško postići sigurnosne visine u rasponu kada je oštećena konstrukcija stupa. Međutim, ako su prilike na trasi bile takve da je postojala opasnost od dodira, primijenilo se rješenje s portalom od drvenih stupova (sl. 6.).

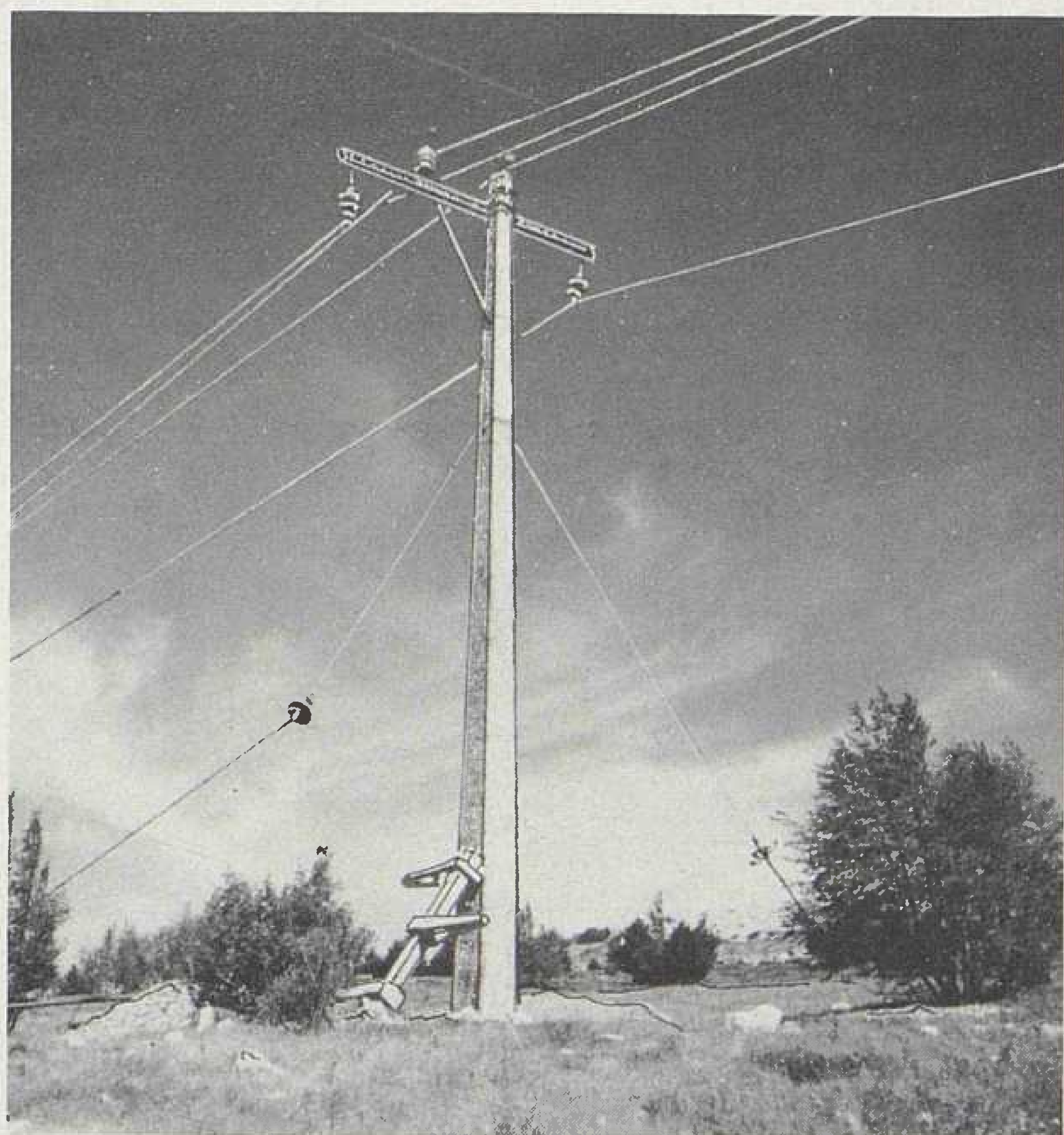


Slika 6.

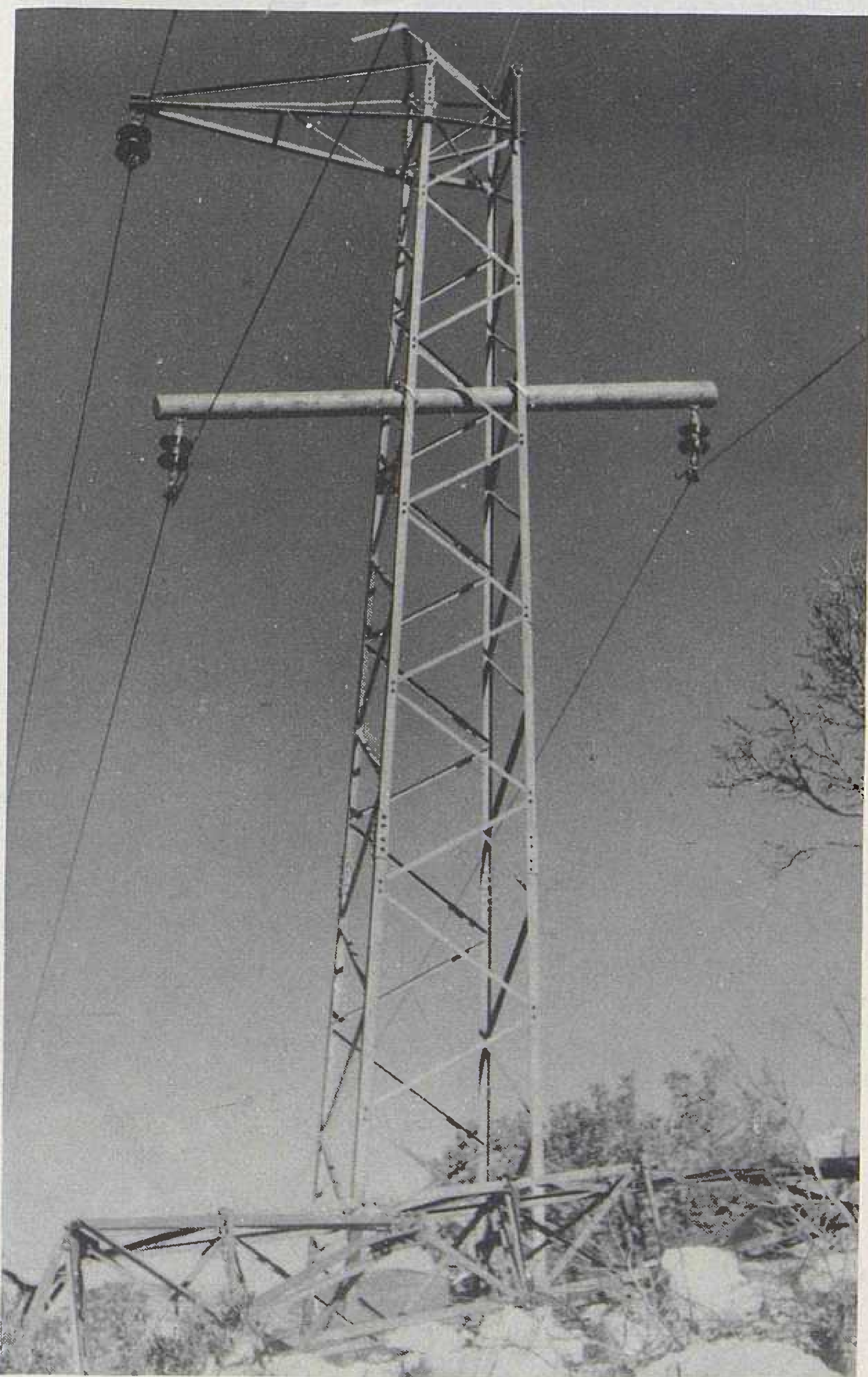
Na nekoliko sljedećih stranica pokazani su primjeri sanacije stupova na 35 kV-tnim dalekovodima s namjerom da se što brže omogući opskrba potrošača.

Definitivna zamjena stupova obavljena je nakon mjesec dana, kada su vremenske prilike to dopustile.

Oštećenje ispod konzole treće faze (sl. 7) riješeno je rušenjem vrha stupa i ugradnjom horizontalne konzole (oblice), koja zapravo prihvaća sve tri faze. Stup je, za svaki slučaj, usidren, a oblica poduprta poduporom. Vodič prve faze vezan je za potporni izolator D 260.



Slika 7. 35 kV-tni dalekovod HE Vinodol-Plase



Slika 8. 35 kV-tni dalekovod HE Senj-Biluća

Oštećenje stupa (sl. 8) nastalo je ispod konzole druge faze, a rješenje je nađeno skidanjem glave stupa i ubacivanjem oblice ispod treće faze. Spuštanjem vodiča na niži nivo ugrožena je sigurnosna visina voda iznad zemljišta, pa je u takvim slučajevima potrebno ocijeniti da li zbog specifičnosti terena postoji opasnost dodira (prijelazi preko ceste, naselja, puta, drveća i sl.).

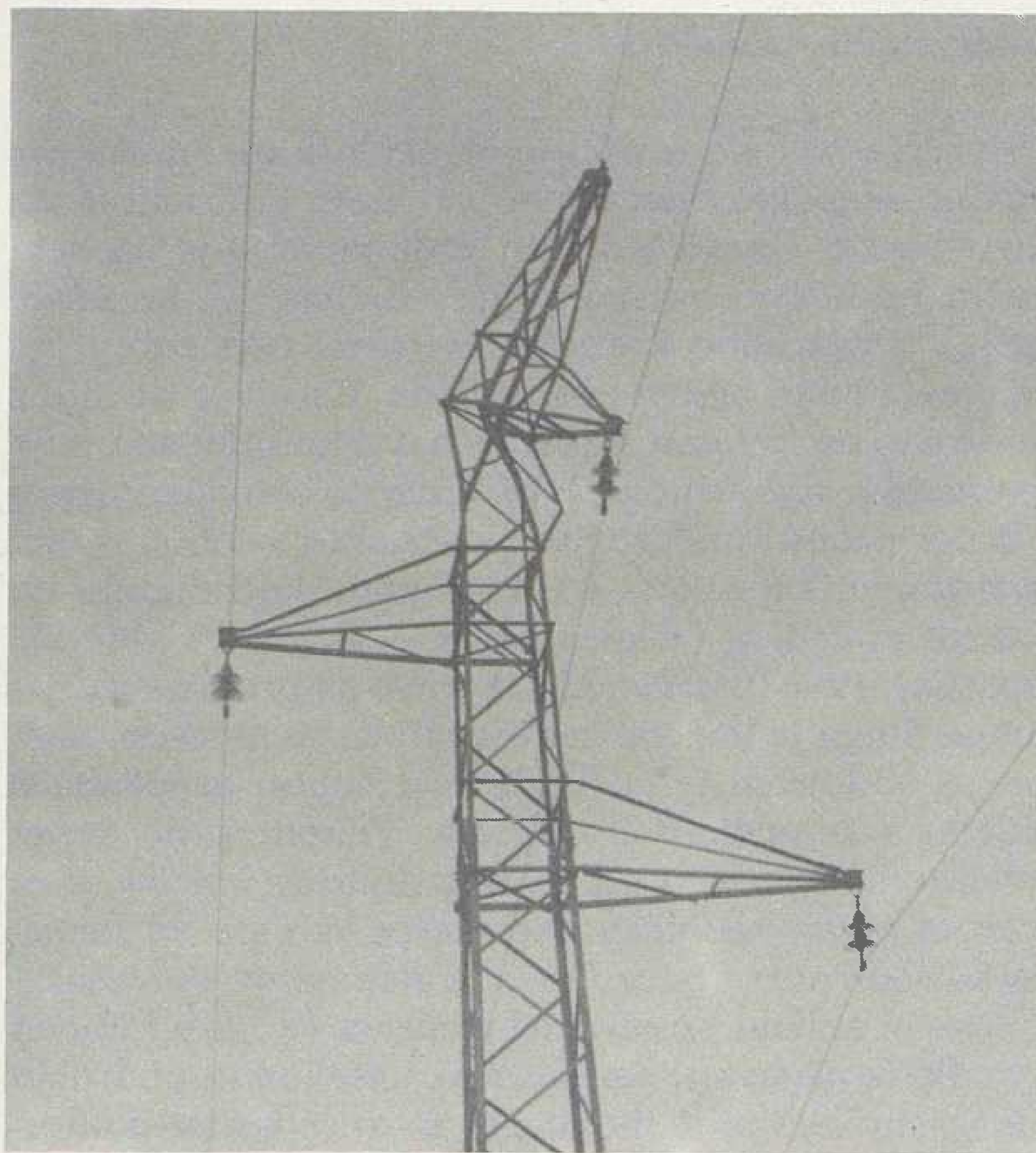


Slika 9. 35 kV-tni dalekovod HE Vinodol-Plase

Na slici 9. dano je oštećenje nastalo pucanjem konstrukcije ispod konzole druge faze. Budući da se pri lomu betona nije savijala željezna armatura stupa, rješenje je nađeno vertikalnim ukrućivanjem konstrukcije drvenom oblicom.



Slika 10. 35 kV-tni dalekovod Krasica-Plase

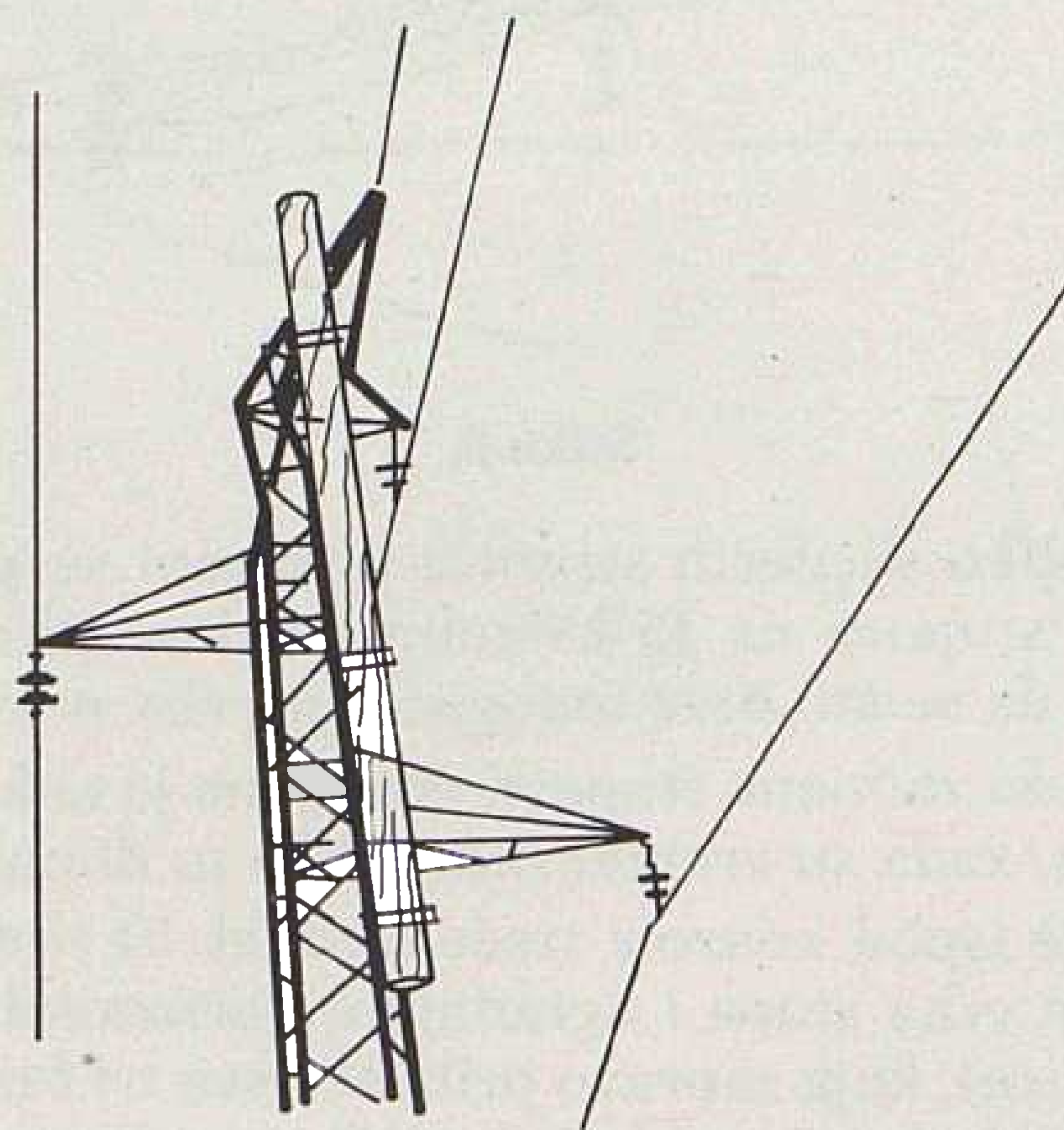


Slika 11. 35 kV-tni dalekovod HE Senj-Senj

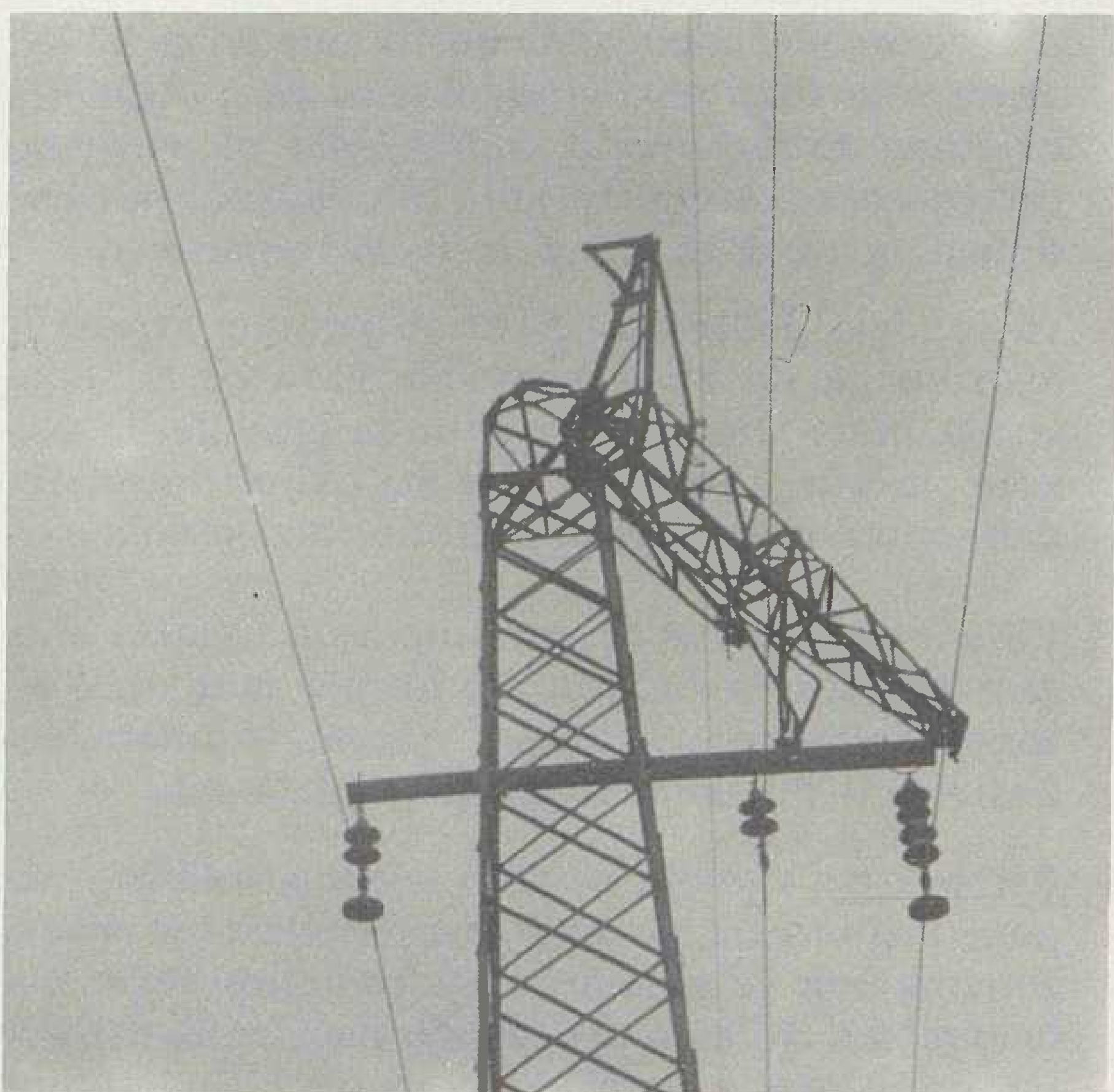
Oštećenje na slici 10. nastalo je lomom konstrukcije ispod konzole prve faze, pri čemu se armatura potpuno savila. Stup je saniran tako da je oblica ubačena horizontalno u visini druge faze. Rješenje je samo djelomično dobro jer su dobiveni razmaci između vodiča minimalnog raspona.

Oštećenje na slici 11. nastalo je ispod konzola prve faze. Uže je podignuto, ali mehanički nije dovoljno kvalitetno osigurano. Konstrukcija koju je trebalo pojačati ubacivanjem oblice prema slici 12. ostala je do konačnog popravka u problematičnoj ravnoteži.

Na slici 13. vidi se oštećenje ispod konzole treće faze. Konstrukcija vrha stupa koji je savijen povezana je oblicom za tijelo stupa, a zavješanje u fazama i povećano i opterećeno utegom da bi se onemogućio otklon i približavanja užeta.

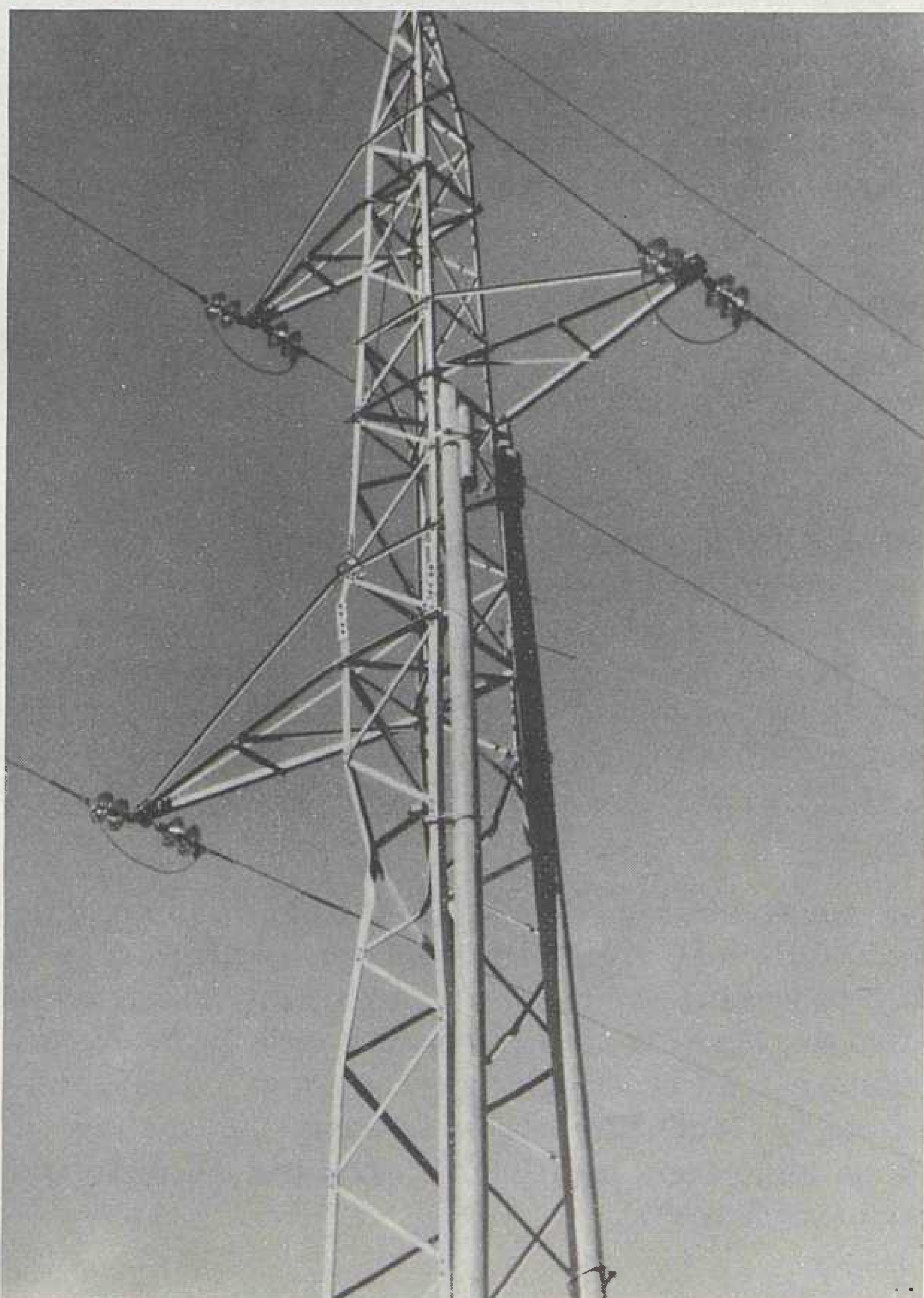


Slika 12. Moguće je povoljnije rješenje u odnosu prema slici 11.



Slika 13. 35 kV-tni dalekovod Krasica-Kraljevica

Na slici 14. vidi se oštećenje stupa ispod konzole treće faze. Međutim, stup je zatezanjem vrha bilo moguće djelomično izravnati i ojačati dvjema oblicama po okomici.



Slika 14. 35 kV-tni dalekovod HE Senj-Biluća

## ZAKLJUČAK

Uvidom u veličinu oštećenja nastalog havarijom i sagledavanjem postupaka sanacije došlo se do određenih spoznaja koje bi se u nekoj perspektivi mogle i koristiti pri gradnji ili odražavanju nadzemnih vodova.

U tom je smislu primijećeno da je održavanje, osim ostaloga, opterećeno otklanjanjem svih onih »grije-hova« koji su ostali nakon nakvalitetnog projektiranja odnosno nekvalitetne gradnje.

Pritome je neusporedivo najvažnija činjenica da je ključni dio kvalitetne gradnje nadzor o kojemu uvelike ovisi buduće održavanje.

To, dakako, ne isključuje ni projektiranje koje bi, uz solidnu bazu podataka, trebalo i dizajnirati buduću mrežu.

U vezi s tim navodimo određene činjenice koje postoje u distribuciji i o kojima, smatramo, na određeni način treba brinuti.

- a) Na drvene stupove loše impregnacije i kratkog trajanja ugrađuje se vrlo kvalitetna tehnologija SKS-a, što u biti snizuje kvalitetu i rok trajanja mreže.
- b) U NN-mrežama još se uvijek ugrađuju drveni A-stupovi čija je montaža do dva i pol puta skuplja od montaže odgovarajućih betonskih stupova.
- c) Veliki rasponi na vodovima sa SKS-om ekonomski su opravdana, međutim, u zonama jakih vjetrova skraćuju se rasponi jer se smatra da se time postiže veća pogonska sigurnost. Greška je ipak u načinu zavješanja, tj. povećane je raspone u takvim uvjetima ovjesišta potrebno izvesti na drukčiji način.
- d) Oštećenja A stupova upozoravaju na potrebu primjene čeličnoretkastih stupova bar za zone u kojima je njihova ugradnja i održavanje očito skuplje, ali pouzdanije.
- e) Spajanje vodiča na svim nivoima vrlo je važan element u napajanju sistema, bez obzira na to je li riječ o mehaničkoj ili električnoj sigurnosti. Zato je tehnologija orijentirana na prešanje spojnih mjesta. Na sredjonaponskim vodovima upotrebljavaju se kompresione spojnice umjesto dosadašnjih zarezni, za što je osim spojnih elemenata potreban i odgovarajući alat. Međutim, primijećeno je da se još uvijek upotrebljavaju zarezne spojnice, i to čak one neodgovarajuće (kratke) zato što pri spajanju nije bilo preše ili osoblje uopće nema takav alata. Takav je odnos nedopustiv, naročito na područjima gdje se prekidi vodiča mogu očekivati gotovo svake godine.
- f) Pri zamjeni oštećenih stupova primijećeno je da se vrlo često ne uzima u obzir visina postojećih stupova, pa se remete sigurnosne visine užeta iznad tla.
- g) Pri upotrebi SKS-a na podvelebitskom području nije definitivno određen ovjesni materijal koji bi

spriječio oštećenja, tj. padanje užeta. Improvizacije koje se provode indirektno smanjuju sigurnost voda. One sprečavaju padanje užeta, ali ugrožavaju stupove.

## PREPORUKE

U ovom se dijelu sadržaja želimo osvrnuti na mogućnosti koje su nam relativno dostupne, a s kojima bismo na neki način mogli djelovati na kvalitetu zračnih vodova.

1. Određene strukture u RO trebaju što hitnije poraditi na tome da se pojača fond baze podataka potreban za projektiranje.

Pritom se prije svega misli na:

- a) praćenje pogonskih događaja i analiza,
- b) omogućavanje formiranja jedinica za praćenje meteoroloških podataka na mjestima gdje je to zbog prisutnosti naših radnika moguće.

- 2) Duboko smo uvjereni da je nekvalitetan nadzor često uvjetovao nestručnu gradnju vodova svih napona. Pritom ponajprije mislimo na niz propusta u detaljima gradnje za koje možemo reći da ih ne bi bilo da su se nadzorne osobe koristile iskustvom operativaca kojih sigurno ima u svakom pogonu.

Naši nadzorni organi moraju tehnički preuzimati vodove izvođača s vrsnim monterom koji će penjanjem pregledati svaki detalj. Nadalje, oni moraju tijesno surađivati s projektantima i predstavnicima izvođača radi dotjerivanja i onih detalja koji su se u operativi pokazali nedoradenima ili neadekvatnima za izvođenje.

3. U sklopu perspektive razvoja srednjonaponske mreže, a pogotovo dijela koji se odnosi na 20 kV-tne vodove, potrebno je i dalje uvoditi samonosivi kabelski snop kojim bi se i u slučajevima havarija mogli rješavati i provizorni popravci. Također preporučujemo razradu rješenja voda za Učku sa SKS-om, posebno za dionicu uz rekreacijsku zonu.

4. Stupove na mrežama srednjeg napona trebalo bi i dalje razvijati gradnjom mobilnih konstrukcija koje se mogu lagano transportirati i dostaviti na teren.

5. Razvoj izolatora potrebno je usmjeriti na novu kvalitetu (teflon, neprobojni, LSp) na osnovi naših dosadašnjim iskustava. Stoga je potrebno razraditi elemente prihvaćanja užeta na izolator i izolatora za stup, imajući na umu mogućnosti rastećenja stupnih konstrukcija.

6. Pogonsko je osoblje potrebno opskrbiti odgovarajućom opremom i vozilima podesnim za specifične uvjete, posebno u zonama gdje se havarije ne javljaju periodično, svakih 10 godina, već se događaju svake godine.

7. S obzirom na činjenicu da nosivi stupovi na 35 kV-tnim vodovima nisu građeni tako da u otežanim uvjetima izdrže prekid vodiča, bilo bi potrebno razviti nosivu stezaljku koja bi u slučaju potrebe otpuštala užu, a ne bi opterećivala konstrukciju.

Ta je ideja godinama u razmišljanjima svjetskih distribucija da bi se spriječile havarije na konstrukcijama stupova i pojeftinila gradnja. U svakom slučaju, u taj projekt treba uključiti proizvođače opreme radi izrade prototipskih rješenja.

8. Loše impregnirane drvene stupove u zonama intenzivnog vjetra trebalo bi što hitnije zamijeniti alternativnim materijalima (željezom, betonom, poliestrom). Preskupo ih je i dalje održavati.

9. Perspektiva razvoja zračnih vodova srednjeg napona teži zatvaranju petlji, naročito kada je riječ o zonama koje se sada napajaju radijalno. Osnovna energetska rješenja predviđaju dvostruka napajanja potrošača, a to znači da se održavanje mora organizirati drukčije nego dosada, posebno ako je posrijedi sanacija vodova na važnim magistralnim pravcima.

U tom slučaju ne postoji tolika hitnost u sanaciji (kada se obično rade priručna rješenja) da oštećena konstrukcija stupa ne bi mogla pričekati konačno rješenje. Čak bi i definitivnu sanaciju mogli provoditi radnici distribucije, jasno ako za to postoje sredstva i osposobljeno osoblje.

Pritome bi trebalo uzeti uz obzir potrebu određivanja tipskog rješenja stupa koje bi bilo univerzalno za sve 35 kV-tne vodove. Dakako, to važi i za konstrukcije 20 kV-tnih vodova.

## DODATAK

### Specifičnost meteoroloških pojava — inverzija

U našim primorskim uvjetima pojava inverzije\* u zimskim mjesecima oduvijek je bila velika opasnost za postrojenja. Ta je specifičnost vezana za pojavu sjevernog vjetra (bure ili tramontane) iz smjera N i NE. Proces obično počinje pojavom vjetra iz smjera S, koji donosi kišu. Promjenu strujanja u donjim slojevima atmosfere izaziva pojava vjetra N smjera koji pothlađuje sloj neposredno iznad tla, do visine oko 600 m.

Na pothlađenim se objektima (na tlu, raslinju, dalekovodima itd.) stvara ledena kora. Ledeni »rukavi« koji se stvaraju na vodičima opterećuju konstrukcije stupova, naročito ako istodobno puše bura. Neposredno u toku stvaranja ledenog taloga nastaju prva oštećenja. Međutim hvarije se nastavljaju i sljedećih dana, kad proces zaleđivanja prestane, ali vjetar pojača svoj intezitet.

\* Inverzija nastaje kada je u višim slojevima zraka temperatura više nego u nižim slojevima (sl. 2).

**A REPORT ABOUT FAILURE ON OVERHEAD LINES IN 'ELEKTROPRIMORJE' RIJEKA, JANUARY 1987 YEAR**

Damages due to bad weather conditions at the beginning of 1987 year, forced beside remedy activities also activities on examination of weather conditions as well as preventive activities for reduction of damages.

**BERICHT ÜBER DEN LEITUNGSBRUCH DER OBERIRDISCHEN LEITUNGEN DER AO »ELEKTROPRIMORJE« RIJEKA IM JANUAR 1987.**

Der Sturm Anfang 1987 verursachte einen großen Schaden. Er machte darauf aufmerksam, daß man nicht nur den Schaden beheben sollte, sondern auch mehr über den Mechanismus und die Ursache eines solchen Unwetters erfahren müsse. Ausreden wie »höhere Gewalt« sollten vermieden werden. Man sollte nach Wegen suchen die eventuelle ähnliche Situationen in annehmbare Grenzen führen würden.

**СООБЩЕНИЕ ИЪ АВАРИИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ТРУДОВОЙ ОРГАНИЗАЦИИ »ЭЛЕКТРОПРИМОРЬЕ«, г. РИЕКА, В ЯНВАРЕ 1987 ГОДА**

Авария, вызванная непогодой в январе 1987 года, побудила необходимость, кроме прямого привлечения к устранению повреждений, постараться узнать несколько больше о самом механизме и причинах такой непогоды, т.е. кроме отговорки на »высшую силу« постараться найти и пути вмешательства, которые последующие возможные явления подобного действия свели бы в некоторые реальные границы.

Naslov pisca:

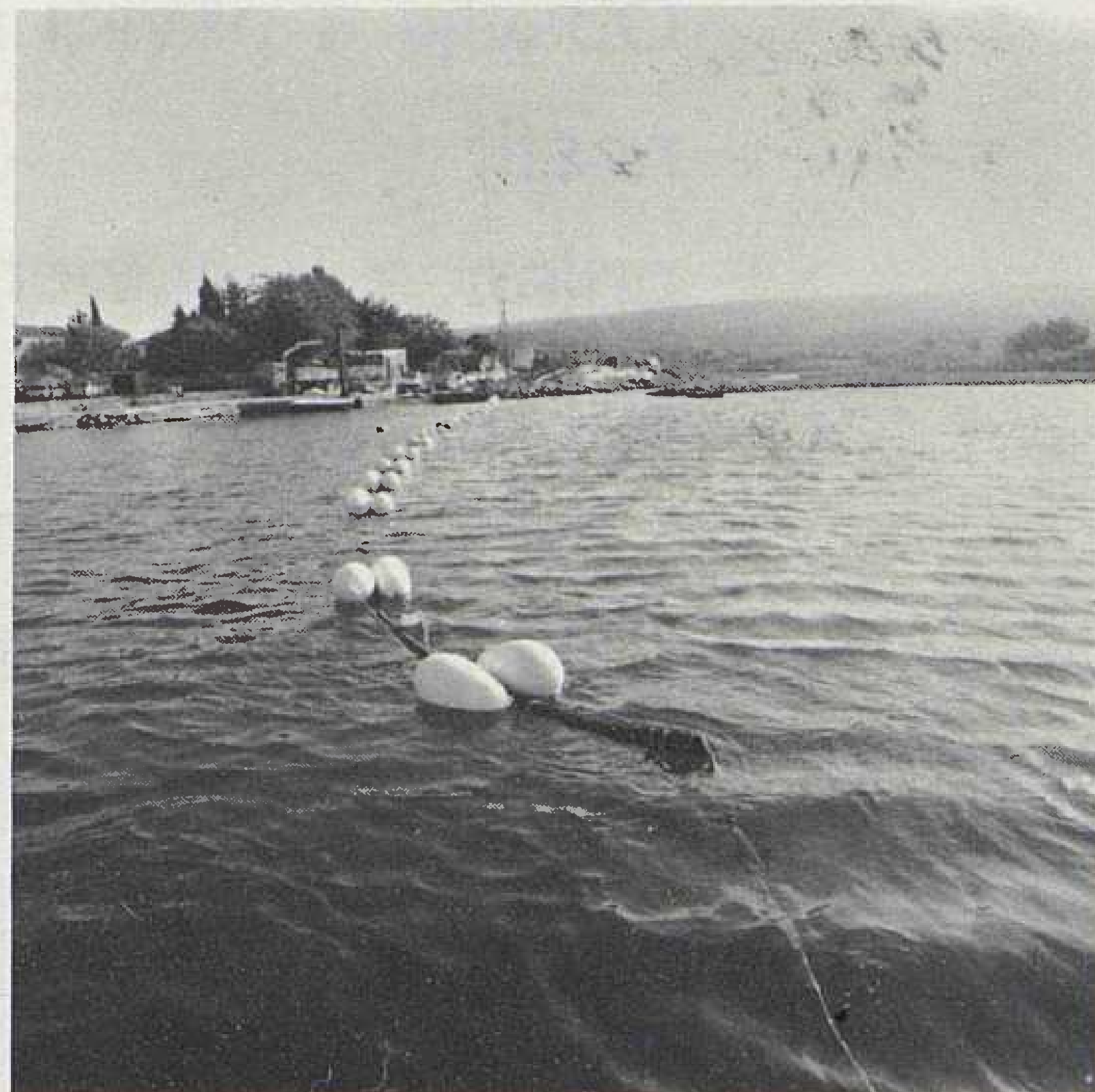
**Miljenko Jugovac, inž.**  
**»Elektroprimorje« 51000 Rijeka,**  
**V. Cara Emina 2, Jugoslavija**  
 Uredništvo primilo rukopis  
 1988-02-13



**elektrolux - rijeka**

**ELEKTROTEHNIČKA RADNA ORGANIZACIJA**  
 RIJEKA — ULICA ĐURE STRUGARA bb  
 TELEGRAM: ELEKTROLUX — TELEFON: 516-333  
 TELEX: 24374 YU ELUX

SVOJE POSLOVNE PARTNERE OBAVJEŠTAVAMO DA SMO SA »ELEKTROPRI-VREDOM« RIJEKA SKLOPILI UGOVOR NA MONTAŽI I POLAGANJU PODMORSKOG KABELA 110 kV NA LOKACIJI OSOR, POVEZIVANJE OTOKA CRES — LOŠINJ.



U ZAJEDNIČKOM PAKET-ARANŽMANU SUDJELUJU

- **I. K. S.** — SVETUZAREVO KAO PROIZVOĐAČ KABELA I KABELSKOG PRI-BORA
- **ELEKTROPROMET** — ZAGREB KAO VELETRGOVINA — ISPORUČILAC
- **ELEKTROLUX RIJEKA** KAO IZVOĐAČ RADOVA NA MONTAŽI I POLAGANJU KABELA

**RO ELEKTROLUX**

**ELEKTROPRIVREDA ZAGREB**

**OOUR** **Elektroprenos**

---

**ZAGREB**

---

Obavlja u okviru svoje osnovne djelatnosti:

prijenos električne energije, izrađuje studije, razvoj i projektiranje, izgradnju i nadzor izgradnje elektroprijenosnih postrojenja i telekomunikacionih uređaja

---

**OOUR ELEKTROPRENOS - ZAGREB**

**Proleterskih brigada 37 - Tel.: 513-822 i 511-455**

# KORIŠTENJE MJERENJA TLAKA U ULJNOME MJERNOM TRANSFORMATORU ZA KONTROLU NIVOVA ULJA, TLAKA, SIGNALIZACIJU NJIHOVA STANJA I ZAŠTITU MJERNOG TRANSFORMATORA

Laslo Torma — mr. Miroslav Stančić, Zagreb

UDK 621.314.22.08

STRUČNI RAD

U članku se predlaže mjerenje tlaka u uljnome mjernom transformatoru za kontrolu nivoa ulja, tlaka, signalizaciju njihova stanja te zaštitu mjernog transformatora zbog kontinuiranog praćenja signalizacije prekoračenja i prenošenje informacija u kontrolni centar. Mjerenje će biti egzaktno u transformatora s posudom konstantnog volumena.

**Ključna riječi:** mjerni transformator, mjerenje tlaka, kontrola ulja, kontrola tlaka, zaštita.

S obzirom na sistem omogućavanja termičke dilatacije volumena trafoulja u mjernim transformatorima pomoću posude konstantnog volumena i sa zrakopraznim prostorom, otvara se mogućnost indikacije ili mjerenja nivoa i tlaka ulja na taj način da se senzorom tlaka kontinuirano prati tlak ulja. Time bi se bilo koji željeni tlakovi mogli definirati kao kritični i pri njihovu prekoračenju ili dosezanju automatski bi se uključila svjetlosna ili zvučna signalizacija odnosno isključila dionica u koju je ugrađen mjerni transformator.

Senzori tlaka bili bi smješteni u niskonaponskom dijelu mjernog transformatora ili na njemu, tj. na lako pristupačnom dijelu. Indikacija, prikaz izmjerene veličine, signalizacija i isključivanja mogli bi biti smješteni ovisno o rješenju samog transformatora ili bi mogli biti daljinski povezani s komandnom prostorijom rasklopnog postrojenja.

Mjerenje definiranoga kritičnog nivoa ulja važno je u samo dvije točke, i to:

- minimalno dopuštenog nivoa trafoulja,
- maksimalno dopuštenog nivoa trafoulja.

Ako se nivo ulja spusti ispod minimuma, javlja se opasnost da aktivni dio mjernog transformatora ostane izvan ulja. Indiciranje nivoa ulja ispod minimalne razine znak je oštećenja transformatora i gubljenja ulja.

Porast tlaka iznad maksimalno dopuštenog nivoa (tlaka) kao trajna pojava siguran je znak predhavarijskog stanja. Daljnjim povećanjem tlaka došlo bi do oštećenja transformatora, gubitka ulja i proboja transformatora. Dosad su se takva stanja mogla uočiti samo vizualno, na mjestu montaže, tj. obilaskom rasklopnog postrojenja.

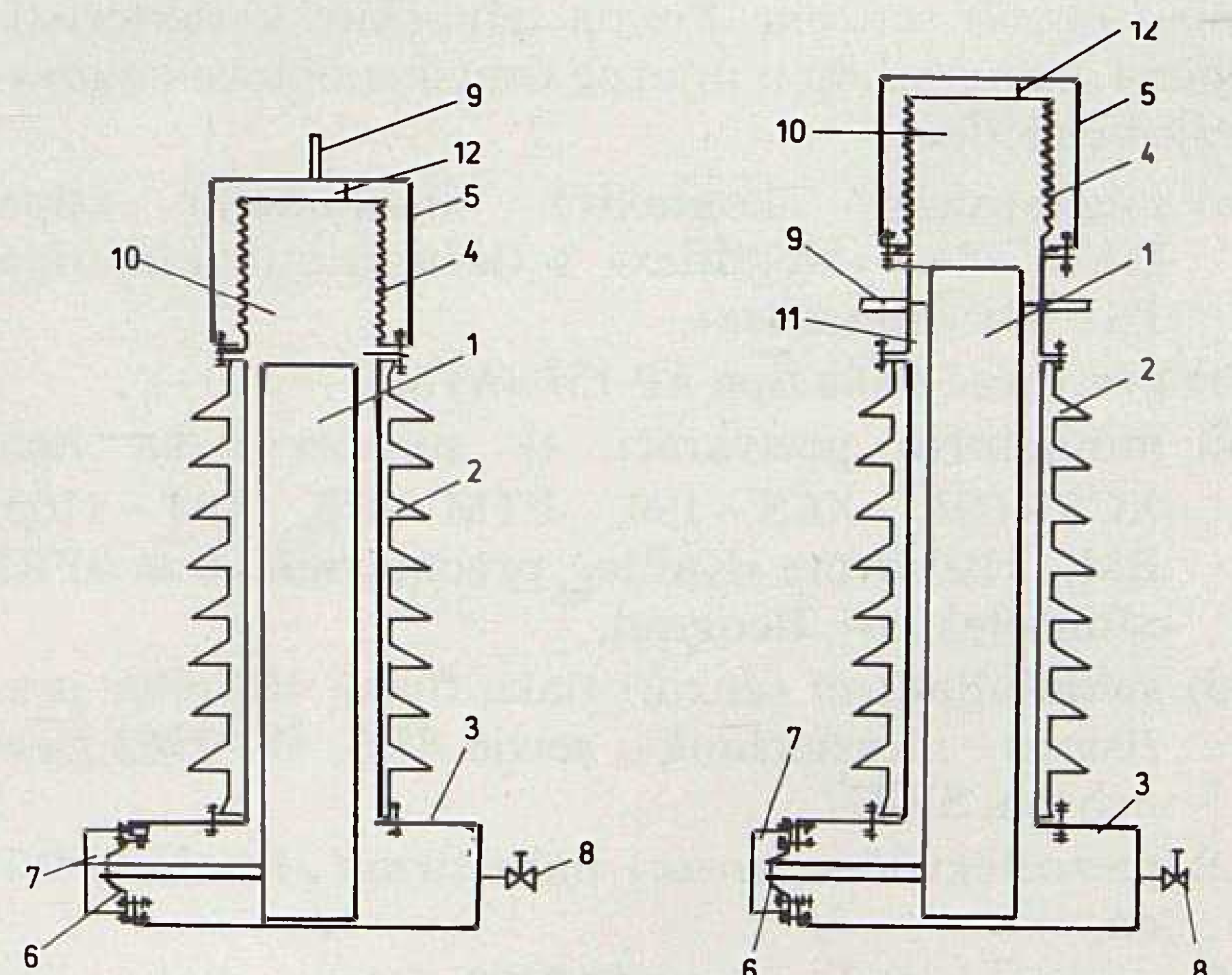
## Današnje stanje

Danas se stanje nivoa ulja i tlaka u uljnim mjernim transformatorima isključivo indicira putem prozirnih uljokaza ili kazaljki vezanih za elastični kompenzator. Kontrola se mora obavljati vizualnim uvidom u stanje na samome mjestu ugradnje, tj. povremenim obilaskom rasklopnog postrojenja, što praktično isključuje kontinuiranu kontrolu.

## Predloženo rješenje

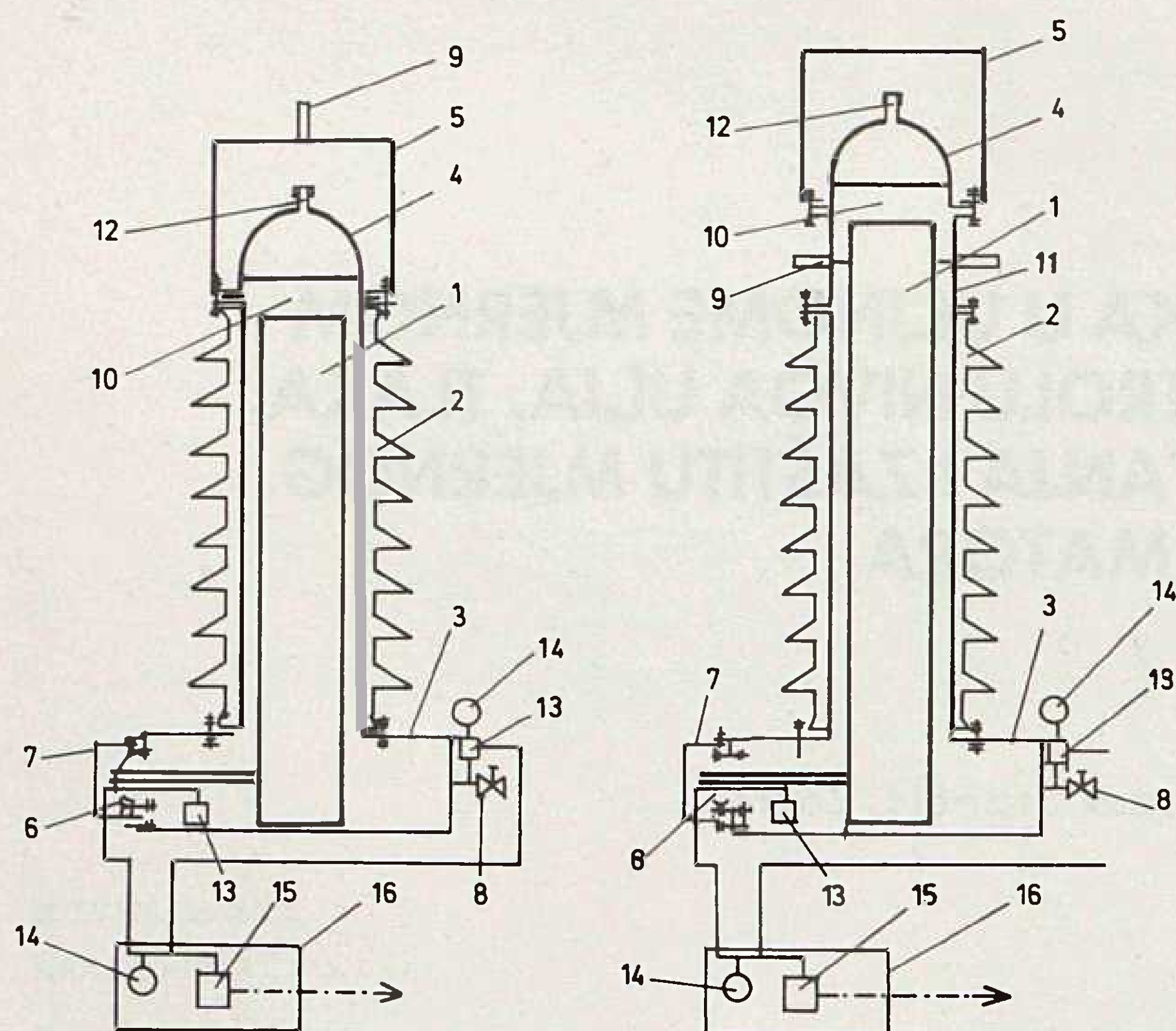
Funkcioniranje izuma predočeno je na slici 2, a slika 1. pokazuje stanje u mjernom transformatoru bez primjene ovog rješenja.

Predloženo rješenje može se izvesti primjenom odgovarajućih senzora tlaka ugrađenih u kućište mjernog



Slika 1.





1. Aktivni dio (jezgra i namoti)
2. Izolator
3. Kućište — kotao
4. Elastični mijeh (membrana)
5. Štitnik membrane
6. Prikjučna ploča sekundara
7. Poklopac priključne ploče
8. Ventil za ispuš ulja
9. Primarni priključak
10. Izolaciono ulje
11. Glava
12. Ispust zraka
13. Senzor za tlak
14. Pokazivač tlaka odnosno nivoa ulja
15. Izvršni element za isključivanje VN — prekidača ili uključivanje signalizacije
16. Komandna ploča odnosno pult u komandnoj prostoriji trafostanice odnosno postrojenja

Slika 2.

transformatora (pozicija broj 3). Priključak treba izvesti pomoću slobodnih klemna na sekundarnoj priključnoj ploči (pozicija broj 6) ili na kućištu (kotlu) mjernog transformatora kako pokazuje skica 2, između ventila (pozicija broj 8) i kućišta (pozicija broj 3). Pri daljinskom mjerenju pogodno je da se senzor ugradi na sekundarnu priključnu ploču jer se istim višezilnim kablom može priključiti i senzor za normalno mjerenje s transformatora.

U prostoru iznad nivoa ulja u mjernom transformatoru nalazi se vakuum (tlak  $P_0$  bara), a na mjestu ugradnje senzora, tlaka, pozicija 13, vlada hidrostatski tlak  $P_1$  razmjeren visini stupca ulja u odnosu prema toj točki. Pokazani instrument, pozicija 14, pokazuje  $P_2 = P_0 + P_1$  bara.

Ako pozicija broj 13 nije tako konstruirana da može obavljati izvršnu funkciju, na mjerno-izvršenom elementu (pozicija broj 15) podesimo tlakove  $P_2$  min. i  $P_2$  maks. pri kojima on aktivira signalizaciju.

Pritom možemo ugrađivati različite tipove senzora tlaka jer danas na tržištu postoji vrlo širok asortiman raznih senzora. Prema tehničkim karakteristikama, za ugradnju u mjerne transformatore odgovarali bi sljedeći:

- a) membranski kontakti manometar tipa MKM-842 »Metalflex« s tlačnim stikalom tipa TS-831 »Metalflex«,
- b) pretvarač tlaka tipa AP 151 »ATM«,
- c) minijaturni pretvarači, tj. senzori tlaka tipa XCS-093, XCS-190, ETM-375, IPT-1100, BM-1100 firme »Kulite«, predstavništvo za SFRJ »Jugoelektro«, Beograd,
- d) subminijaturni senzori tlaka firme »Burster prazisions-messtechnik«, serije 81 S, D-7562 Gernsbach, SFRJ,
- e) piezoelektrični senzori tlaka firme »Kistler«, Wien,
- f) senzor i tlaka tipa PA3400 firme »Solartron-Schlumberger«, Oxnard, CA, SAD.

Time se postiže kontinuirani automatski nadzor stanja nivoa i tlaka u uljnome mjernom transformatoru, a rezultat toga je bitno povećanje pogonske sigurnosti mjernog transformatora. Na taj se način stvaraju preduvjeti za sprečavanje iznenadnih havarija te se sigurnost pogona mjernih transformatora s obzirom na zaštitu izjednačuje sa sigurnošću pogona velikih transformatora opskrbljenih dvostepenom Buchhol-zaštitom.

## LITERATURA

- [1] VOJISLAV BEGO: »Mjerni transformatori«, Školska knjiga, Zagreb, 1977.
- [2] IVAN IVANKOVIĆ: »Karakteristike strujnog transformatora APU-420«, Rade Končar-Transformatori. Stručne informacije broj 35 od 1. 02, Zagreb.
- [3] PETAR VEŠIĆ: »Mjerni transformatori za 400 kV-nu mrežu SFRJ«, Rade Končar Transformatori. Stručne informacije broj 35 od 1. 07, Zagreb.
- [4] PAVLE ŠOMOĐI: »Kontrola izolacije mjernih transformatora SI-123 u pogonu«, Rade Končar Transformatori. Stručne informacije broj 35 od 2. 04, Zagreb.
- [5] TORMA-STANČIĆ: »Patentna prijava broj 1428/87«, Savezni zavod za patente, Beograd, 1987.

## APPLICATION OF THE PRESSURE MEASUREMENT FOR THE LEVEL AND PRESSURE CONTROL, SIGNALING AND PROTECTION IN THE OIL MEASURING TRANSFORMERS

In the article is suggested a measurement of pressure in oil transformer for level and pressure control/signaling and protection as well as surveillance from remote control stations. Exact measurements is possible for transformers with constant volume.

**ANWENDUNG DER DRUCKMESSUNG IM MESSTRANSFORMATOR FÜR DIE KONTROLLE DES ÖLNIVEAUS UND DES DRUCKES SOWIE FÜR DIE SIGNALISIERUNG IHRER STÄNDE UND DEN SCHUTZ DES MESSTRANSFORMATORS**

Im Artikel wird eine Druckmessung im Öl- Mess — Transformator für die Kontrolle des Ölniveaus und des Druckes sowie die Signalisierung und der Schutz des Mess — Transformators wegen einer kontinuierlichen Beobachtung, eine Signalisierung der Überschreitungen und die Übertragung der Informationen ins Kontrollzentrum vorgeschlagen. Eine genaue Messung ist nur mit Hilfe des Transformators mit einem Gefäß mit konstantem Volumen möglich.

**ПРИМЕНЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В МАСЛЯНОМ ИЗМЕРИТЕЛЬНОМ ТРАНСФОРМАТОРЕ С ЦЕЛЬЮ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ МАСЛА И ДАВЛЕНИЯ, А ТАКЖЕ И СИГНАЛИЗАЦИИ ИХ СОСТОЯНИЯ И ЗАЩИТЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ТРАНСФОРМАТОРА**

В статье предлагается измерение давления в масляном измерительном трансформаторе с целью контроля уровня масла и давления, а также и сигнализа-

ции их состояния и защиты измерительного трансформатора для непрерывного наблюдения, сигнализации, превышений, как и передачи информации в контрольный центр. Точные измерения возможны при помощи трансформатора с сосудом неизменяющейся емкости.

Naslov pisaca:

**Mr. Miroslav Stančić, dipl. inž.  
»Rade Končar«, 41000 Zagreb,  
Fallerovo šet. 22, Jugoslavija  
Laslo Torma, dipl. inž  
41000 Zagreb, Slovenska 6,  
Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis  
1987 — 09 — 14

# »JUGOTURBINA«

INDUSTRIJA METALNIH PROIZVODA, OPREME I POSTROJENJA SOUR o. sub. o.  
47000 KARLOVAC, VIII divizije 10, Jugoslavija Tel. (047) 31-533; Telex: 23736

## PROIZVODNI PROGRAM:

- ENERGETSKA OPREMA I POSTROJENJA: parne turbine za pogonjenje generatora u nuklearnim i klasičnim termoelektranama i toplanama, te za pogonjenje ostalih radnih strojeva; turbokompresori, dizel agregati i kompletna energetska postrojenja.
- BRODSKA OPREMA: glavni i pomoćni dizel motori, parne turbine, pumpe i automatika
- PUMPE I PUMPNA POSTROJENJA
- POSTROJENJA ZA PROČIŠĆAVANJE KOMUNALNIH I INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA
- KLIZNI LEŽAJEVI
- ELEKTRONIKA, AUTOMATIKA I BIROTEHNIKA
- PROJEKTIRANJE I IZGRADNJA INDUSTRIJSKIH I DRUGIH GRAĐEVINSKIH OBJEKATA
- GRAĐEVINSKI OKOV, ČAVLI I DRUGI ŽIČANI PROIZVODI
- PROIZVODI OD TERMOPLASTIČNIH MASA

## »JUGOTURBINA«

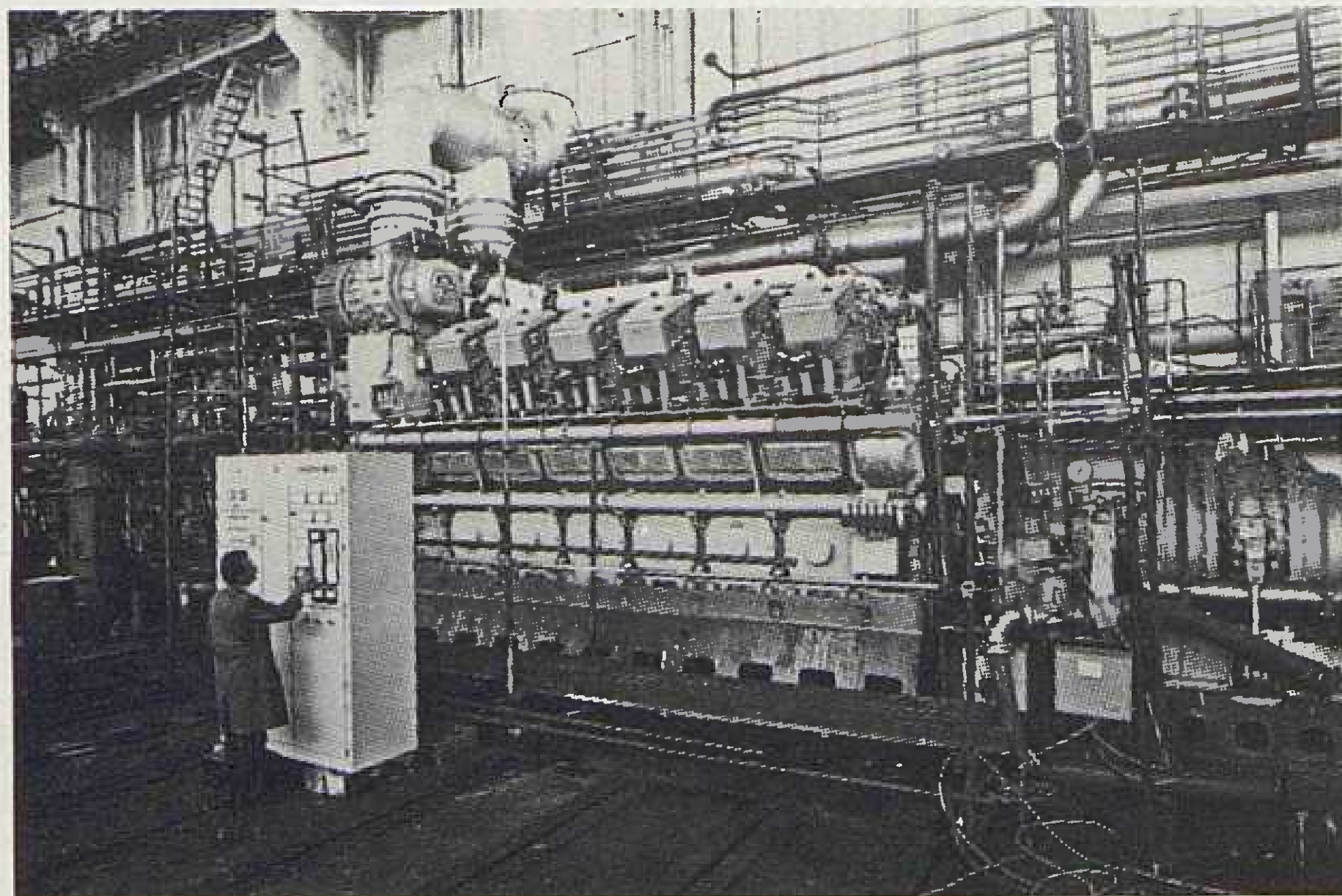
— TRGOVINA I INŽENJERING n. sol. o.  
47000 KARLOVAC, Trg Braće M. i J. Benić 2,  
Jugoslavija Tel. (047) 26-022; Telex 23745

## DJELATNOSTI:

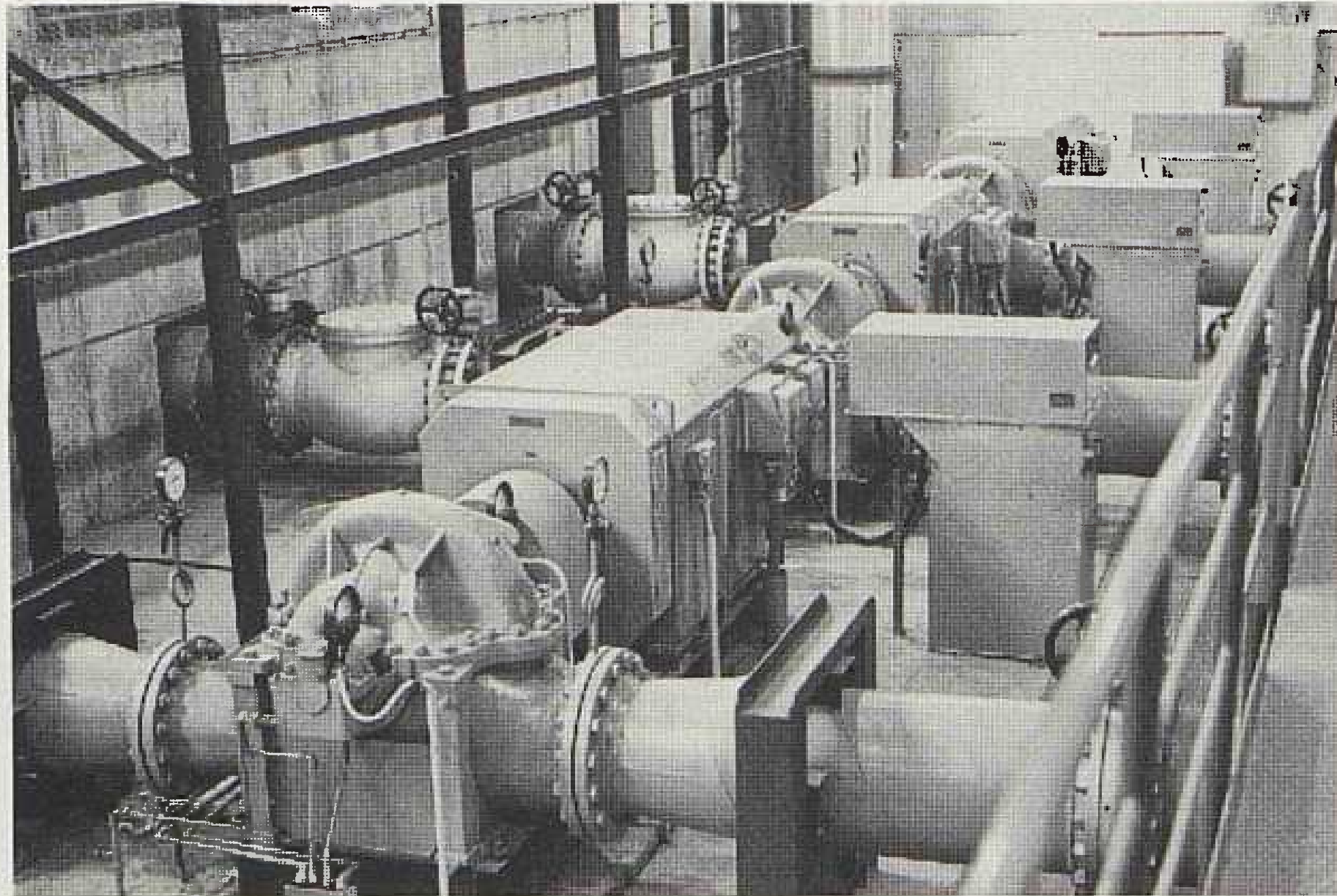
- INŽENJERING (Konzalting, projektiranje, isporuka opreme i izgradnja objekata) za ENERGETSKA, HIDRO I INDUSTRIJSKA POSTROJENJA
- IZVOZ – UVOZ, ZASTUPSTVO, TRGOVINA NA VELIKO I MALO

### REFERENCE NA SVIM KONTINENTIMA:

500 turboagregata  
1.400 dizel motora  
65.000 pumpnih agregata



Dizel motor 12 ZV 40 od 6220 KW za havarijsku stanicu u NE  
— SSSR



Pumpna stanica u TO Ljubljana

### PUMPE ZA ENERGETSKA POSTROJENJA (TERMoeLEKTRANE-TOPLANE)

Proširenje postojećeg programa napojnih, kondenzatnih i rashladnih pumpi zadovoljit će uvjete termoelektrana i toplana, snage do 1200 MW. Nekoliko stotina instaliranih pumpi od kojih neke besprijekorno rade već više od 20 godina u najvećim energetskim postrojenjima u zemlji (Zagreb, NE Krško, Ljubljana, Zenica, Obrenovac, Plomin, Lučani, Brestalnica, Kakanj, Skopje, Zrenjanin, Banja Luka, Kosovo itd) i 70 pumpi koje rade u termoelektranama u Kampuru, Kandli i Barauni — Indija, Rhodos i Linoperamata u Grčkoj kao i saradnja sa vodećim svjetskim firmama, garantiraju uspjeh u razvoju i proizvodnji pumpi za energetiku.

# VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

## ELEKTROENERGETSKA BILANCA ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE ZA 1988. GODINU

Skupština Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske i Republičke samoupravne interesne zajednice potrošača električne energije donijeli su na sjednici od 23. prosinca 1987. godine odluku o usvajanju Prijedloga elektroenergetske bilance Hrvatske za 1988. godinu. Osnovne veličine elektroenergetske bilance utvrđene su na osnovi studije »Metodologija za izradu elektroenergetske bilance koji su usvojili Zajednička skupština Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske i Republički SIZ potrošača električne energije«.

### 1. PLAN POTREBA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Plan potreba električne energije sadrži potrebe na prijenosnoj mreži radnih organizacija distribucije, potrebe direktnih i specijalnih potrošača te gubitke električne energije u prijenosnoj mreži.

Potrebe električne energije	GWh
— RO distribucije	12 110
— direktni potrošači	1 201
— specijalni potrošači	1 979
— gubici prijenosa	515
ukupno	15 805
vraćanje duga Italiji i Austriji iz 1987. god.	120
ukupne potrebe	15 925

#### 1.1. Električna energija potrebna za distribuciju

Godišnje potrebe električne energije potrošača distribucije planiraju se na temelju prosječne trogodišnje stope rasta. Prijedlog plana za 1988. godinu iznosi 12 110,0 GWh, a to je u odnosu prema 1987. za 4,31% više, a u sklopu je prosječnoga trogodišnjeg porasta.

Osim iz prijenosne mreže, radne se organizacije distribucije opskrbljuju i električnom energijom vlastitih distributivnih elektrana te nabavom iz industrijskih elektrana, ukupno oko 73 GWh.

#### 1.2. Potrebe električne energije direktnih i specijalnih potrošača

Planiranje potreba električne energije za direktne i specijalne potrošače provodi se na temelju prijave samih potrošača. Te potrebe moraju biti usklađene s izdanim elektroenergetskim suglasnostima. Plan direktnih i specijalnih potrošača za 1988. godinu ukupno iznosi 3 180 GWh. U odnosu prema 1987. to je porast od 0,02%. Praktički neznatno povećanje potreba direktnih i specijalnih potrošača u 1988. godini rezultat je prestanka proizvodnje u TA Lozovac i smanjenja plana potreba u TA Lozovac za 98,8 GWh u odnosu prema 1987. godini. Odlukom skupštine ZEOH-a i Skupštine

Republičkog SIZ-a potrošača električne energije odobreno je povećanje potrošnje direktnom potrošaču INA — petrokemijska industrija Omišalj za 5,3 GWh, bez izmjene elektroenergetske bilance.

#### 1.3. Gubici električne energije u prijenosnoj mreži

Prema usvojenoj »Metodologiji za izradu elektroenergetske bilance, gubici električne energije u prijenosnoj mreži planiraju se na temelju iznosa ostvarenja gubitaka u prethodnoj godini i u odnosu prema brutopotrošnji električne energije. Predviđeni plan gubitaka za 1988. godinu obuhvaća 515,0 GWh ili 3,26% ukupne potrošnje.

Stvarni gubici prijenosa, kad se uzme u obzir tranzit električne energije su manji i kreću se oko 2,8%.

### 2. PLAN RASPOLOŽIVE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Potrebe potrošača za električnom energijom podmiruju se proizvodnjom hidroelektrana, proizvodnjom termoelektrana te isporukama električne energije iz termoelektrana izgrađenih u drugim republikama, na temelju ugovora i aneksa ugovora o dugoročnoj suradnji i izgradnji elektroenergetskih objekata, te iz uvoza.

Elektroenergetski sustav Hrvatske raspolagat će u 1988. godini snagom na pragu 3 857 MW u proizvodnim kapacitetima.

#### 2.1. Plan proizvodnje hidroelektrana

Prema »Metodologiji za izradu elektroenergetske bilance«, proizvodnja hidroelektrana planira se na osnovi ostvarenih mjesečnih dotoka u hidrološkom nizu od 40 godina (1926–1965).

U toku 1986. godine nije proradila nijedna novoizgrađena hidroelektrana.

Plan proizvodnje hidroelektrana u 1988. godini pri prosječnim mjesečnim dotocima iznosi 5 573 GWh (protočne hidroelektrane proizvode 1 206 GWh, a akumulacijske 4 367 GWh).

#### 2.2. Plan proizvodnje termoelektrana

Prema samoupravnom sporazumu o zajedničkom radu u jugoslavenskome elektroenergetskom sistemu, godišnja proizvodnja električne energije u termoelektranama, termoelektranama — toplinama i nuklearnim elektranama može se planirati u visini 78% vrijednosti koja se dobije množenjem raspoložive snage na pragu brojem sati u godini, umanjenim za broj sati planiranog remonta.

Planirana ukupna proizvodnja termoelektrana za 1988. godinu iznosi 5 566 GWh. Proizvodnja TE Plomin, 385 GWh, planirana je prema stanju postrojenja i smatra se realnom. Plan proizvodnje NE Krško od 1 945 GWh veći je od predviđenoga i prema mišljenju tehničkog osoblja iz nuklearne elektrane smatra se realnim.

Zbog očekivanih teškoća u osiguravanju dovoljnih količina tekućeg goriva za termoelektrane njihova je proizvodnja planirana niže od proizvodnje električne energije potrebne za zatvaranje elektroenergetske bilance za 1988. bez iskazivanja nepodmirenih potreba.

Proizvodnja plinskih elektrana (KTE Jertovec i PTE Osijek) nije predviđena planom proizvodnje termoelektrana za 1988. zbog visokih troškova proizvodnje. S obzirom na to da su plinske elektrane interventnog karaktera, njihovo se puštanje u rad predviđa samo ako nastanu veći poremećaji u elektroenergetskom sustavu.

### 2.3. Preuzimanje električne energije iz termoelektrana izgrađenih u drugim republikama

Plan preuzimanja električne energije iz termoelektrana u drugim republikama za 1988. godinu utvrđena je na temelju osnovnih ugovora i aneksa osnovnim ugovorima o dugoročnoj suradnji i izgradnji elektroenergetskih objekata i Samoupravnim sporazumom za TE Gacko.

Plan godišnjih isporuka	MW	GWh
— TE Tuzla	182	1 093
— TE Kakanj	46	276
— TE Gacko	92	450
— TE Obrenovac	280	1 680
ukupno	600	3 499

### OSNOVNE GODIŠNJE VELIČINE ELEKTROENERGETSKE BILANCE ZA 1988.

Potrebe električne energije (distributivna potrošnja, direktni i specijalni potrošači i gubici u prijenosnoj mreži) za 1988. godinu iznose 15 925 GWh.

Raspoloživa električna energija	
— proizvodnja hidroelektrana	5 573 GWh
— proizvodnja TE izgrađenim u drugim republikama za potrebe Hrvatske	3 499 GWh
— proizvodnja TE na ugljen	385 GWh
— proizvodnja nuklearne elektrane za Hrvatsku	1 945 GWh
— proizvodnja toplana – termoelektrana	637 GWh
— proizvodnja TE na lož-ulje (mazut)	2 599 GWh
ukupno raspoloživo	14 638 GWh
nepodmirene potrebe	1 287 GWh

Da bi se iskazani manjak električne energije od 1 287 GWh u elektroenergetskoj bilanci Hrvatske za 1988. godinu potpuno podmirio, potrebno je ili kupiti toliko električne energije ili pak osigurati oko 321 200 dodatnih tona tekućeg goriva za pogon rezervnih kapaciteta u TE Sisak i TE Rijeka. Manjak se može pokriti i kombinacijom kupnje električne energije i dodatne nabave tekućega goriva ili zemnog plina.

Treba ugovoriti kupnju električne energije u zemlji, od republika i autonomnih pokrajina koje su u svojim elektroenergetskim bilancama iskazale višak (SR Srbija i AP Kosovo) ili pak u inozemstvu, na osnovi kompenzacijskih poslova (NR Albanija, ČSSR, SSSR, DDR) odnosno kupnju za devize (od Italije, Austrije, Švicarske).

Određene aktivnosti u vezi s kupnjom električne energije u zemlji i inozemstvu već su poduzete krajem 1987. godine.

I. R.

### POTPISAN SAS ZA RJEŠENJE PROGRAMA »DRAVA«

Početak veljače 1988. godine u Osijeku je potpisan Samoupravni sporazum o usklađivanju interesa i koordiniranog sudjelovanja u provođenju višenamjenskog programa »Drava – Mura – Dunav« (dio je u SR Hrvatskoj).

SAS su potpisali predstavnici Privredne komore Osijek, Vodoprivredne organizacije »Drava – Dunav« i »Elektroslavonija« Osijek. Delegacija SIV-a i Vlade NR Mađarske 27. veljače 1988. u Zagrebu su potpisali sporazum o gradnji elektrana i korištenju energije rijeke Drave i Mure. Projekt »Drava – Mura – Dunav« ima višenamjenski karakter: navodnjavanje, uklanjanje voda s naplavljenih površina, dobivanje električne energije, uređenje vodotoka i plovidba na tom području. Prema izgrađenoj studiji, program će se provesti u 16 općina na području triju regija sjeverne Hrvatske.

Za elektroprivredu Hrvatske privlačan je i vrijedan program iskorištenja sliva porječja Drave, Mure i Dunava na području republike. Hidroenergetski potencijal Drave na području Hrvatske djelomično je iskorišten. Ukupni potencijal Drave u Hrvatskoj procijenjen je na oko 2 995 GWh električne energije. Do danas su sagrađene dvije hidroelektrane, Varaždin i Čakovec, a treća je, dravska hidroelektrana »Dubrava«, u gradnji. Srednja godišnja proizvodnja HE Varaždin i HE Čakovec iznosi oko 895 GWh. To je samo 30% ukupnog potencijala. Puštanjem u rad HE »Dubrava« iskorištenje bi se povećalo na oko 45 posto.

Daljnje iskorištenje potencijala Drave predviđeno je gradnjom četiriju hidroelektrana.

U pograničnom dijelu »Donje Drave«, zajedno s elektroprivredom NR Mađarske, planirana je gradnja vodoenergetskih stepenica: VES »Đurđevac«, snage 145 MW, VES »Barcs« 72 MW, VES »Donji Miholjac«, 72 MW i VES »Osijek« 52 MW. Te dravske elektrane mogu ostvariti prosječnu godišnju proizvodnju od oko 1 650 GWh, od čega bi približno 74% dobila jugoslavenska elektroprivreda, a 26% NR Mađarska.

I. R.

### ELEKTROENERGETSKA BILANCA JUGOSLAVIJE ZA 1988. GODINU

Elektroenergetska bilanca Jugoslavije za 1988. godinu izrađena je kao zbirna elektroenergetska bilanca republika i autonomnih pokrajina, a usvojila ju je Skupština jugoslavenske elektroprivrede. Osnovne veličine jugoslavenske elektroenergetske bilance za 1988. godinu na mreži prijenosa jesu:

Potrebe električne energije (GWh)	
— distribucija	57 423
— direktni potrošači	16 418
— prijenosni gubici	2 930
— energija za pumpanje	937
ukupne potrebe	77 708

Raspoloživa električna energija (GWh)	
— proizvodnja hidroelektrana	26 450
— proizvodnja termoelektrana na ugljen	42 713
— proizvodnja NE	3 890
— proizvodnja TE na tekuća goriva i plin	5 009
ukupno HE + TE	78 062
— uvoz	2 355
— izvoz	2 708
raspoloživo	77 709
manjak (—), višak (+)	+ 1

Elektroenergetska bilanca SFRJ za 1988. godinu praktički je uravnotežena, dakle nema viška ni manjka. Višak su iskazale SR Srbija i AP Kosovo, a manjak Hrvatska Bosna i Hercegovina, Slovenija, Crna Gora te AP Vojvodina.

I. R.

### ZAJEDNIČKA GRADNJA HIDROELEKTRANE

Između Elektrogospodarstva Slovenije i austrijskog poduzeća Kelag definitivno je utvrđen dogovor o zajedničkoj gradnji hidroelektrane u austrijskim Koralpama.

Elektrogospodarstvo Slovenije će, prema sporazumu s austrijskim partnerom, sufinancirati gradnju hidroelektrane snage 50 MW i s akumulacijom 16,2 milijuna m<sup>3</sup> vode. Ukupna proračunska vrijednost projekta iznosi 1,3 milijarde šilinga (po cijenama iz 1987. godine), od čega će petinu (262 milijuna šilinga) osigurati elektroprivreda Slovenije. U istom će omjeru elektroprivreda Slovenije raspolagati proizvedenom električnom energijom (planirana prosječna godišnja proizvodnja je 83,5 GWh). Ta je elektrana male snage i pokrivat će od 2 do 3% elektroenergetske bilance Slovenije, a austrijskom će partneru osiguravati vršnu energiju.

U isporuci opreme uz austrijske proizvođače od naših proizvođača sudjeluju Energoinvest (transformatori) i inženjering »Rudis« iz Trbovlja, koji je koordinator jugoslavenskih izvođača radova i isporučilaca opreme.

I. R.

### PROIZVODNJA TIRISTORSKIH LOKOMOTIVA U TVORNICI »RADE KONČAR«

Prema razvojnom programu tvornice »Rade Končar«, OO-UR Električne lokomotive, još je 1977. godine počela razrada plana proizvodnje tiristorskih lokomotiva domaće konstrukcije. U taj su posao uključeni i drugi naši proizvođači iz područja elektroindustrije i strojogradnje (MIN—Niš, Minel Beograd, »Đuro Đaković« Sl. Brod, »Janko Gredelj« Zagreb i dr.).

Prototip tiristorske lokomotive pušten je promet 1981. godine i prešao je više od 500 000 km. Za to su vrijeme »u hodu« obavljena brojna ispitivanja na samom prototipu, kao i na pojedinim njegovim dijelovima. Utvrđeno je da je brzina takvih lokomotiva, 184 km na sat, dosad najveća brzina na našim prugama. Nakon dobrih rezultata ispitivanja proizvođači su odlučili prijeći na serijsku proizvodnju. Za ostvarenje tog programa bilo je potrebno izgraditi nove pogone opremljene najsuvremenijim uređajima.

Nova tvornica izgrađena je u industrijskoj zoni Jankomir i pogoni su krajem prosinca 1987. pušteni u rad. U izgradnji



Domaća konstrukcija — tiristorska lokomotiva

objekata i opremu investirano je oko šest milijardi dinara. Nova će tvornica prihvaćenjem fleksibilnoga tehnološkog procesa zaposliti 100 novih stručnjaka. Izgradnja novih pogona te proširenje i povećanje proizvodnje najsuvremenijih tiristorskih lokomotiva i elektromotornih vlakova bit će vrlo važno za modernizaciju naših željeznica. Za naše su proizvode zainteresirani i inozemni kupci, na tržištima Argentine, Grčke, Kine SSSR-a i dr.

I. R.

### RADOVI NA GRADNJI HE KRČIĆ

Radovi na gradnji HE Krčić u 1987. godini malo su usporeni. Prema planu, uklanjale su se posljedice potresa koji je 25. studenog 1986. godine izazvao štete na slapu i zidovima građevinske jame. Završeni su radovi na pristupnom tunelu, strojarnici i odvodnom kanalu.

Oprema je ugovorena i dio nje je isporučen na gradilište. To je dio cjevovoda, generator i ostala elektrooprema. U izradi turbinske opreme sudjeluje i »Litostroj« iz Ljubljane.

Prva novelacija investicijskog programa za taj objekt usvojena je na zajedničkoj sjednici Skupština RSIZ-a i ZEOH-a od 28. svibnja 1987. Novelacija se odnosi na izmjenu dinamike financiranja, promjenu vezanu za obračun razlika u cijenama i potrebu povećanja investicija za sanaciju posljedica potresa.

I. R.

### NOVI PRIJENOSNI OBJEKTI »ELEKTROPRENOSA« OPATIJA

U realizaciji Plana izgradnje prijenosnih objekata u 1987. godini na području Elektroprenosa Opatija ostvareni su povoljni rezultati. Završeni su objekti čija je gradnja započeta prije nekoliko godina.

Nove transformatorske stanice su:

TS 110/35 kV Delnice, Gračac, Otočac i TS 110/35/10 kV Pula-Dolinka, Te 110 kV-tni dalekovodi Krk—Rab, I. etapa, DV

2 × 110 kV Pula – Šljana i Pula – Dolinka. Obavljene su pripreme za nastavak izgradnje II. etape DV 110 kV Krk – Rab. Valja istaknuti da su novosagrađene TS 110/35 kV Gračac i Otočac, s ugrađenom sekundarnom opremom, izgrađene kao jedne od prvih tipskih trafostanica ZEOH-a – 110 kV-tne. Obje su opremljene u praktično minimalnom opsegu: dva vodna i jedno trafopolje s transformatorom 110/35 kV, snage 20 MVA. Elektroopremu je isporučila tvornica »Rade Končar« Zagreb.

Puštanjem u rad TS Gračac i Otočac na 110 kV-tni napon za duže je razdoblje kvalitetno i sigurno riješeno napajanje područja Like električnom energijom.

U održavanju prijenosnih postrojenja najvažniji su ovi poslovi: u TS Raša puštena su u rad sva tri energetska transformatora i uvedeni u novo, unutrašnje postojenje 35 kV. Time je u Istri napušten 50 kV-tni naponski nivo. U rasklopnom postojenju »Brinje« završena je dorada rezervoara za napajanje dizelskog agregata.

I. R.

### **RUDNIK URANA NASTAVLJA RAD**

Inicijativu »zelenih« u Sloveniji da se zatvori rudnik urana na Žirovskom vrhu nedaleko od Škofje Loke nisu prihvatili republički nuklearni eksperti, elektroprivreda ni Izvršno vijeće SR Slovenije. Stručnjacima je dan zadatak da obave trajnija mjerenja radioaktivnog zračenja i pouzdanost deponija, da bi se izbjeglo ozračivanje neposredne okoline i podzemnih voda. Eksperti iz instituta »Jožef Štefan« utvrdili su da je 1986. godine zračenje iznosilo 544 mikrosiverta, što je tri posto manje nego prethodne godine, iako je proizvodnja rudače i »žutih pogačica« u međuvremenu povećana. Iskop rudače i proizvodnja uranova oksida na Žirovskom vrhu stalno raste. Godine 1987. iskopano je 110 000

tona rudače i proizvedeno 82,5 tona »žutih pogačica«. Plan za ovu godinu predviđa iskop od oko 115 000 tona rude i izradu 90 tona uranova oksida. Za 1989. godinu planirano je 160 000 tona rudače i 120 tona »žutih pogačica«. »Žute pogačice« su poluproizvod za izradu oplemenjenoga goriva za NE Krško. Dosada je u krškom reaktoru svake godine zamjenjivana jedna trećina istrošenoga goriva. Ali pri redovnom remontu elektrane 1987. godine zamijenjena je samo jedna četvrtina goriva. Količina zamijenjenog goriva smanjena je zbog upotrebe nešto malo obogaćenijega goriva.

I. R.

### **PRESTANAK EKSPLOATACIJE UGLJENA U JAMI RIPENDI**

U labinskome ugljenokopnom bazenu prestala je eksploatacija jame »Ripenda«, zbog slabih rezervi ugljena i nastalih gubitaka. Jama »Ripenda« dosad je radila kao OOUR »Ugljenokopa Labin«. S prestankom rada OOUR-a »Ugljenokop Labin« bez posla je ostalo 310 radnika. Za sve te radnike osigurati će se posao u drugim radnim organizacijama.

Umjesto likvidirane organizacije delegati Vijeća udruženja za energetiku prihvatili su elaborat o tehno-ekonomskoj opravdanosti osnivanja nove radne organizacije Istarskih ugljenokopa »Raša«, sa 1 270 zaposlenih, koja ne bi više imala osnovnih organizacija.

Buduća nova radna organizacija treba dovršiti izgradnju jame »Tupljak« za koju je znanstveno utvrđeno da raspolaže dovoljnom količinom ugljena. Njezina bi proizvodnja 1991. godine trebala iznositi 325 000 tona. No da bi se to ostvarilo, nužno je osigurati investicijska sredstva. U osiguranja investicijskih sredstava potrebno je angažirati sredstva Zajednice elektroprivrednih organizacija i Republičkog SIZ-a potrošača električne energije.

I. R.

# IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

## RAZVOJ SOVJETSKE ELEKTROPRIVREDE

Krajem 1920. godine završen je GOELRO (Državni plan elektrifikacije). To je bio prvi perspektivni plan socijalističke izgradnje mlade sovjetske države za razdoblje od 15 godina. Zapravo to je bio politički dokument koji je dao smjernice za ekonomski razvoj na bazi elektrifikacije. Ujedno je dan i plan razvoja industrije, prometa i poljoprivrede. U carskoj Rusiji elektrifikacija je bila na vrlo niskom stupnju razvoja. U usporedbi s Njemačkom 1913. odnosi u proizvodnji električne energije prikazani su u tablici 1.

Tablica 1.

	Rusija	Njemačka
instalirana snaga elektrana (MW)	1.142	2.096
godišnja proizvodnja (TWh)	2,04	2,5
proizvodnja po stanovniku (kWh)	13,8	38

Proizvodnja se bazirala na malim termoelektranama, a u velikim gradovima, Moskvi i Petrogradu nije postojao zajednički električki sistem napajanja. Stoga je proizvodnja bila vrlo neekonomična i skupa. Već u drugoj polovici 1918. sva su električna poduzeća nacionalizirana, a gotovo odmah nakon toga izgrađena je jedinstvena mreža u Moskvi i Lenjingradu.

U usporedbi sa stanjem prije prvoga svjetskog rata, početkom GOELRO plana instalirana je snaga elektrana povećana doduše, za 7,6%, ali se zbog građanskog rata proizvodnja smanjila na četvrtinu. Do 1925. godine bilo je malo novih elektrana, ali se nastojalo iskoristiti sve čime je zemlja raspolagala. Električna se energija nastojala dobiti po svaku cijenu, što nije mogla biti baza za naprednu elektrifikaciju. Postrojenja su bila stara, čak su se demontirali agregati s ratnih brodova i ugrađivali u elektrane.

U prvim godinama nakon revolucije instalirana se snaga i proizvodnja elektrana kretala kako pokazuje tablica 2.

Tablica 2.

Godina	Instalirana snaga (MW)	Godišnja proizvodnja (GWh)
1913.	1 141	1 039
1921.	1 228	520
1925.	1 937	2 295
1928.	1 905	5 007
1932.	4 677	13 540

U početku realizacije GOELRO-plana električna se energija uglavnom upotrebljavala za rasvjetu. Ta je prva etapa razvoja elektrifikacije trajala, približno do 1928. godine. Tek tada se elektrificira industrija, pa ona već 1935. troši oko 80% ukupne električne energije. Poslije 1950. težište je na elektrifikaciji željeznica, pa su 1984. željeznice zahtijevale 8% električne energije. Od 1960. godine naglo se povećava elektrifikacija poljoprivrede.

Dok je početkom dvadesetih godina glavno gorivo termoelektrana bila nafta (60%), prije rata 1940, to je postao ugljen

(69%). Takav je trend bio u duhu smjernica GOELRO-plana, koji je predviđao iskorištenje domaćih energenata, ponajprije ugljena i treseta.

Prvo daljinsko grijanje (dugo 3 km) uvedeno je u Lenjingradu 1924, a već 1932. u SSSR-u je radilo 364 MW instalirane snage toplana. Paralelno s izgradnjom izvora građena je i električna mreža. Godine 1928. samo je 38,9% električne energije ulazilo u centralnu mrežu, a 1940. taj je postotak povećan na 81,2%. Na području SSSR-a 1940. godine organizirano je 20 vezanih elektroenergetskih sistema.

Do 1933. praktično se sva proizvedena električna energija dobivala iz termoelektrana (99,2%), a taj je postotak 1946. godine pao na 89,5%. Prosječna snaga termoelektrana 1940. bila je 340 MW.

Zbog velikog pomanjkanja deviza nakon revolucije sve se više opreme za elektrane izrađivalo u zemlji. Prva sovjetska parna turbina, snage 2 MW, puštena je u rad 1925, 1926. je pušteno 10 MW, a 1930. 24 MW. Nakon 1934. potpuno je usvojena tehnika izrade takvih strojeva.

Prvi agregat prve velike hidroelektrane na Dnjepru, Dnjeproges, od 540 MW, pušten je u pogon 1. svibnja 1932.

U toku drugoga svjetskog rata uništeno je 6000 MW instalirane snage elektrana, ali je na slobodnom teritoriju njihova snaga udvostručena. Moskovski elektroenergetski sistem obnovljen je već 1945.

U prvome poslijeratnom petogodišnjem planu, od 1946. do 1950 (četvrtom po redu), instalirana je snaga povećana za 8 500 MW, a proizvodnja je porasla 210%.

Pedesetih i šezdesetih godina sovjetska elektroprivreda nastoji stvoriti uvjete za iskorištavanje nuklearne energije u proizvodnji elektrike i utvrditi energetske potencijale sibirskih rijeka. Povezivanje i pojačavanje elektroenergetskih sistema stalna je briga sovjetskih energetičara.

Godine 1954. počinje raditi prva komercijalna nuklearna elektrana, a 1963. u klasične se termoelektrane ugrađuju blokovi od 300 MW. Proizvodnja SSSR-a u 1975. doseže 1 000 000 GWh. Tada počinju raditi termoblokovi od 500 MW i 800 MW, a 1980. i agregat od 1200 MW, danas najveći na svijetu u klasičnoj termoelektrani. Nakon određenog zaostajanja u gradnji nuklearnih elektrana njihova je gradnja ubrzana u godinama 1971 – 1975. Razlog zaostajanja bilo je djelomično pomanjkanje potrebnih komponenata strojogradnje da bi se postigla tražena kvaliteta nuklearnih elektrana, a djelomično nova bogata nalazišta nafte u Sibiru.

Osamdesetih godina instalirana se snaga elektrana i njihova proizvodnja kretala prema sljedećem pregledu u tablici 3. i 4.

Tablica 3.

Godina	Instalirana snaga elektrana	
	1980.	1985.
ukupno MW od toga:	266 700	319 800
TE	75,7%	72,0%
NE	4,7%	8,8%
HE	19,6%	19,2%



Tablica 4.

Proizvodnja		
ukupno TWh	1293,6	1540,0
od toga:		
TE %	80,2%	75,8%
NE %	5,6%	11,0%
HE %	14,2%	13,2%

Godišnja proizvodnja po stanovniku iznosila je 1985. oko 5 600 kWh. U SSSR-u je 1938. razrađen dugoročni energetska plan do 2000. godine. Između ostaloga, predviđeno je sljedeće:

- pojačanje mjera štednje energije,
- ubrzanje gradnje elektrana na temelju najnovijih znanstveno-tehničkih dostignuća, naročito u području gradnje nuklearnih elektrana,
- razvijanje mogućnosti iskorištenja novih energijskih izvora,
- provođenje mehanizacije i automatizacije tehnoloških procesa.

Smatra se da bi SSSR oko 2000. godine mogao proizvoditi 3000 TWh električne energije. Nadalje, gradit će se nuklearne elektrane pa bi tada njihova instalirana snaga iznosila oko 100 000 MW, čime bi se znatno smanjila upotreba fosilnih goriva. Klasične termoelektrane uglavnom će se graditi u istočnim područjima. U Sibiru će one biti dopuna hidroelektranama, čiji se vodni režimi ne poklapaju s promjenama opterećenja.

Paralelno s tradicionalnim izvorima razvijali bi se i netradicionalni — geotermalni i oni na bazi Sunca, vjetra i bioenergije. Naime, od 1984. u SSSR-u već radi solarna elektrana snage 4 MW.

*Energietechnik*, God. 37 (198), br. 5. i 8.

Mrk.

## DRUGA GENERACIJA VELIKIH EVROPSKIH VJETRENJAČA

Nagli razvoj elektrana na vjetar počeo je oko godine 1975. Dok takve male elektrane, do 300 kW snage rade u mnogim zemljama, veliki uređaji snage jednog megavata i više vrlo su se sporo razvijali. Na prvim velikim vjetrenjačama pojavili su se mnogi tehnički problemi, ali su stečena iskustva koja će se obilno iskoristiti u gradnji uređaja druge generacije. Najveća elektrana na vjetar iz prve generacije imala je rotor promjera 100 m, maksimalne snage 4 MW.

Vjetrenjače druge generacije malo su manje, a težište je na mogućnosti komercijalne primjene. Prve takve elektrane puštene su u pogon 1987. Biti će sagrađene u sedam zemalja Evropske ekonomske zajednice, koja će u njihovoj realizaciji sudjelovati sa 30 do 40% troškova. Projekte koordinira Evropska komisija za istraživanja i razvoj. To su uređaji evropske megavat-klase s rotorima promjera 40 do 60 m.

S obzirom na iskorištenje energije vjetra među spomenutih sedam evropskih zemalja prednjači Danska. U njoj već radi oko 1 500 manjih uređaja, ukupne snage oko 60 MW, i to u privatnom vlasništvu ili u elektroprivrednim poduzećima. Od 1982. danska je industrija izvezla u SAD tisuće manjih vjetrenjača. U sklopu evropskog programa na otoku Masnedo proradilo je 1986/87. pet vjetrenjača snage 750 kW. Proizvedenu električnu energiju predaju javnoj mreži. Na otoku Jütlandu gradi se vjetrenjača nazivne snage 2 MW.

Nizozemska, premda klasična zemlja vjetrenjača, vrlo polako prihvaća novu tehnologiju iskorištavanja vjetra. Vlada je s elektroprivrednim poduzećima izradila dugoročni program razvoja i primjene energije vjetra. Upravo je završena prva vjetrenjača megavat-klase, a 18 jednakih uređaja proradit će u toku sljedećih godina.

Velika Britanija je svoj program za iskorištenje energije vjetra formulirala već početkom osamdesetih godina. Realizacija je slijedila vrlo brzo. Na otoku Orkneyu izgrađen je veliki uređaj za 3 MW. U sastavu programa Evropske ekonomske zajednice na otoku Shetlandu gradi se vjetrenjača snage 750 kW, a do 1989. bit će izrađena i veća varijanta od 1 MW, s promjerom rotora 55 m. Prave se pokusi i s vjetrenjačama s vertikalnom osovinom snage 250 kW, a planiraju se i one do 1 MW.

Španjolska se odmah nakon ulaska u Evropsku zajednicu uklopila u njezin program istraživanja. Na krajnjem sjeverozapadu zemlje gradi se vjetrenjača snage 1 MW, uz njemačku tehničku pomoć.

Italija s obzirom na velike vjetrenjače, veoma zaostaje. Nakon iscrpnih studija priprema se gradnja velike vjetrenjače snage 1 MW.

Francuska vrlo polako razvija regenerativne energijske izvore. Neke su vjetrenjače ipak već u pokusnom pogonu. Projekti uređaja 750 kW, s rotorom promjera 40 m tek su započeti.

Jedna tvrtka u Belgiji proizvodi elektrane na vjetar do snage 250 kW. Sada se radi na projektu uređaja od 1 MW, no realizacija je još neizvjesna.

Razvoj vjetrenjača u SR Njemačkoj godinama je bio u sjeni projekta Growian. Premda je taj uređaj radio samo 500 sati (zbog napukline na glavi rotora morao je biti zaustavljen i kasnije demontiran), razvojni radovi na kojima se temeljio taj projekt bili su vrlo korisni za konstrukciju novih uređaja. Novi njemački projekt vjetrenjače od 1 200 kW, koja će biti postavljena na otoku Helgolandu, upravo se koristi rezultatima spomenutog starog projekta. Tri vjetrenjače po 640 kW bit će montirane u Parku vjetra Jade blizu Wilhelmshavena, a četvrta će proraditi kraj Krumhörna.

U različitim su zemljama izgrađeni različiti tipovi vjetrenjača. Razlikuju se po obliku i materijalu krila rotora, a različiti su i električni sistemi generatora. Prema tome, organizatori toga evropskog tehničkog pothvata pobrinuli su se da počne natjecanje za najpovoljniju tehničku koncepciju. Tko će biti pobjednik, to će se tek vidjeti početkom devedesetih godina. No tehnološko natjecanje nije bitno. Uređaji su konstruirani da bi ekonomično proizvodili električnu energiju. Upravo su u tome mnogi skeptični jer velike vjetrenjače smatraju neekonomičnima. Takvo je stanovište danas, doduše, točno, ali treba imati na umu da je taj razvoj na početku, premda je riječ o drugoj razvojnoj generaciji. Još mnogo treba raditi na konstrukcijama i skupljati pogonska iskustva, što traje godinama. Buduća će serijska proizvodnja sigurno bitno sniziti njihovu cijenu, a može se očekivati i evropska kooperacija na tom području.

*Energie*, God. 39 (1987), br. 9

Mrk.

## PRVA NISKONAPONSKA POTPORNJA STANICA S NaS – BATERIJAMA

U rujnu 1987. u Stuttgartu (u SR Njemačkoj) svečano je puštena u rad prva niskonaponska potporna stanica s natrij-sumpornim baterijama (akumulatorima) u svijetu. Uređaj treba da bude naponska potporna točka na periferiji mjesne mreže, da bi se time vremenski odgodilo pojačanje

mreže ili pak potpuno izbjeglo. Ugradnjom baterije energija niskog opterećenja može se oplemeniti i upotrijebiti u vrhovima. Dosada je akumuliranje električne energije u olovnim akumulatorima zahtijevalo mnogo prostora i znatno održavanje. Primjena NaS-baterija razumijeva jednaku akumulaciju energije 2,2 puta manji prostor, a održavanje praktički nije potrebno. Baterija ima sumpornu anodu, a natrij joj služi kao kadota. Elektrode su u tekućem stanju, a pogonska je temperatura 320°. Elektrolit je kruta keramika od aluminijskog oksida. Pri procesu punjenja i pražnjenja nema gubitka materije, zbog čega održavanje nije potrebno. Baterija ima kapacitet 192 kWh, proizvod je tvrtke BBC-Heidelberg, a specijalni je tiristorski usmjerivač konstruiran na sveučilištu u Erlangenu. Usmjerivač omogućuje neovisno dodavanje u sve tri faze. Time je moguće simetrirati opterećenje i izravnati brze promjene opterećenja, a mogu se i umiriti flikeri i izbjeći stvaranje viših harmonika.

Taj pionirski projekt, koji je realiziran uz pomoć Saveznog ministarstva za istraživanje i tehnologiju, smatra se vrlo perspektivnim no njegova će se prava vrijednost dokazati u pokusnom radu koji je predviđen do 1989. godine. Tada će se tek moći dati mišljenje o pouzdanosti i ekonomičnosti cijelog postrojenja i njegovih elemenata. To se posebno odnosi na baterije i usmjerivačko-upravljači uređaj.

Nakraju treba istaknuti da se očekuje primjena NaS-baterija u gradskim elektrovozilima koja su se sporo razvijala zbog mnogo manjeg elektroenergetskog kapaciteta olovnih akumulatora iste težine.

ÖZE, God. 40 (1987), br. 11

Mrk.

## BUŠENJE 14 KM DUBOKO U ZEMLJU

U rujnu 1987. geolozi u Njemačkoj počeli su posebna bušenja kao pripremu za glavno bušenje, za koje je predviđeno da bude duboko 14 000 m u zemaljsku koru. Biti će ispitani novi pogonski uređaji i nove bušeće glave. Rad na glavnoj bušotini počeo će 1989. oko 200 m dalje od probne. Radovi će se obavljati prema njemačkome kontinentalnom programu za duboko bušenje. Cilj programa je potpuno naučan, premda bi dobiveni rezultati mogli biti i praktični i korisni.

Energie, God. 39 (1987), br. 9

Mrk.

## GLOBALNA INFORMACIJSKA MREŽA ZA NUKLEARNE ELEKTRANE

Upravitelji nuklearnih elektrana Istoka i Zapada dogovorili su se u Parizu da će ubuduće izmjenjivati obavijesti o sigurnosti reaktora preko četiri informacijska centra: Moskve, Atlante, Tokija i Pariza. U slučaju nekoga neočekivanog događaja odgovorni će stručnjaci nuklearki u pogodnom području biti obavješteni preko navedenih centara. Sovjetski ministar za nuklearnu energiju N. Lukonin naglasio je da je sovjetska obavještajna mreža pred završetkom.

Öze, God. 40 (1987), br. 11

Mrk.

## ELEKTROPRIVREDA BRAZILA

Brazil je velika zemlja koja se od istoka prema zapadu i od sjevera prema jugu proteže na duljini 4 000 km. Dvije trećine zemlje od ukupno 8,513 milijuna km<sup>2</sup>, pokrivaju dva zasebna elektroenergetska sistema: sjevero-sjeveroistočni i

jugoistočni. Ostala trećina zemlje ima odvojene sisteme ili uopće nije njima obuhvaćena. U tablici 1. dana je instalirana snaga elektrana i njihova proizvodnja po područjima.

Tablica 1.

Područje		Brutoprodukcija (GWh)	Instalirana snaga (MW)
	sjever	7 975	2 566
	sjeveroistok	23 823	6 216
	sjever-sjeveroistok	31 798	8 782
	jugosistok	122 675	23 637
	jug	22 653	6 411
	srednji zapad	3 891	635
	Itaipu	5 936	2 100
	jug-jugoistok	155 164	32 783
	ukupno	185 953	41 565

Godine 1985. u hidroelektranama je proizvedeno 95,2% električne energije. Time je iskorišteno samo 19% ekonomski iskoristivih vodnih snaga, a 13% je u gradnji. Prema tome, preostaju velike mogućnosti gradnje hidroelektrana. Pritom treba istaknuti da je iskorištenje hidroenergije na području vrlo nejednoliko raspoređeno. Na jugoistoku i srednjem zapadu praktički su iskorištene sve atraktivne mogućnosti, a u saveznoj državi Amazonas iskorišteno je samo 1% vodnih snaga. Uz vrlo velike hidroelektrane (veće i od 1 000 MW) grade se i one male, do 10 MW snage. Njihova će se gradnja nastaviti, jer se pokazalo da pri kvarovima velikih sistema mogu vrlo dobro poslužiti za lokalno napajanje važnih potrošača. Sve velike brazilske hidroelektrane imaju ogromne akumulacije predviđene za petogodišnje razdoblje. Od velikih termoelektrana treba spomenuti elektranu na naftu kraj Rio de Janeira (600 MW) i klasičnu termoelektranu S. Catarina (482 MW) Brazil zasada ima samo jednu nuklearnu elektranu nedaleko od Rio de Janeira (657 MW). Pregled proizvodnje električne energije u različitim tipovima elektrana u 1985. godini dan je u tablici 2.

Tablica 2.

Elektrana	Proizvodnja	Udio (u %)
hidroelektrana	177 989	95,2
nuklearna elektrana	3 381	1,8
elektrana na ugljen	3 336	1,8
elektrana na loživo ulje	1 151	0,6
elektrana na dizelsko gorivo	1 096	0,6
ukupno	186 953	100,0

Najveći potrošač električne energije je industrija čiji je udio 1985. bio 55,1%. Domaćinstva sudjeluju u potrošnji sa 19,8%. Elektroenergetski sistem Brazila ima jedinstvenu frekvenciju 60 Hz. Danas je najviši prijenosni trofazni napon 750 kV, odnosno istosmjerni (od hidroelektrane Itaipu do blizu Sao Paula) ± 600 kV. Upotrijebljeni visoki prijenosni naponi u različitim područjima navedeni su u tablici 3 (stanje 1985).

Radi sigurnosti napajanja, i dalje će se morati proširivati 750 kV-tna mreža, a zbog sve udaljenijih novih hidroelektrana, čije su trase duge i do 2 200 km, morat će se uvesti naponski nivo 1 050 kV. Vrlo se optimalnim pokazalo paralelno vođenje trofaznog voda ultravisokog napona i istosmjer-

Tablica 3.

Područje	Visoki naponi dalekovoda							
	69	88	138	230	345	440	500	750
sjever	x		x	x				x
sjeveroistok	x		x	x				x
jugoistok	x	x	x	x	x	x	x	x
jug	x	x	x	x			x	x
srednji zapad	x		x	x	x			x
ukupno (10 <sup>3</sup> km)	32,5	3,7	36,5	22,3	7,4	5,8	9,5	0,8

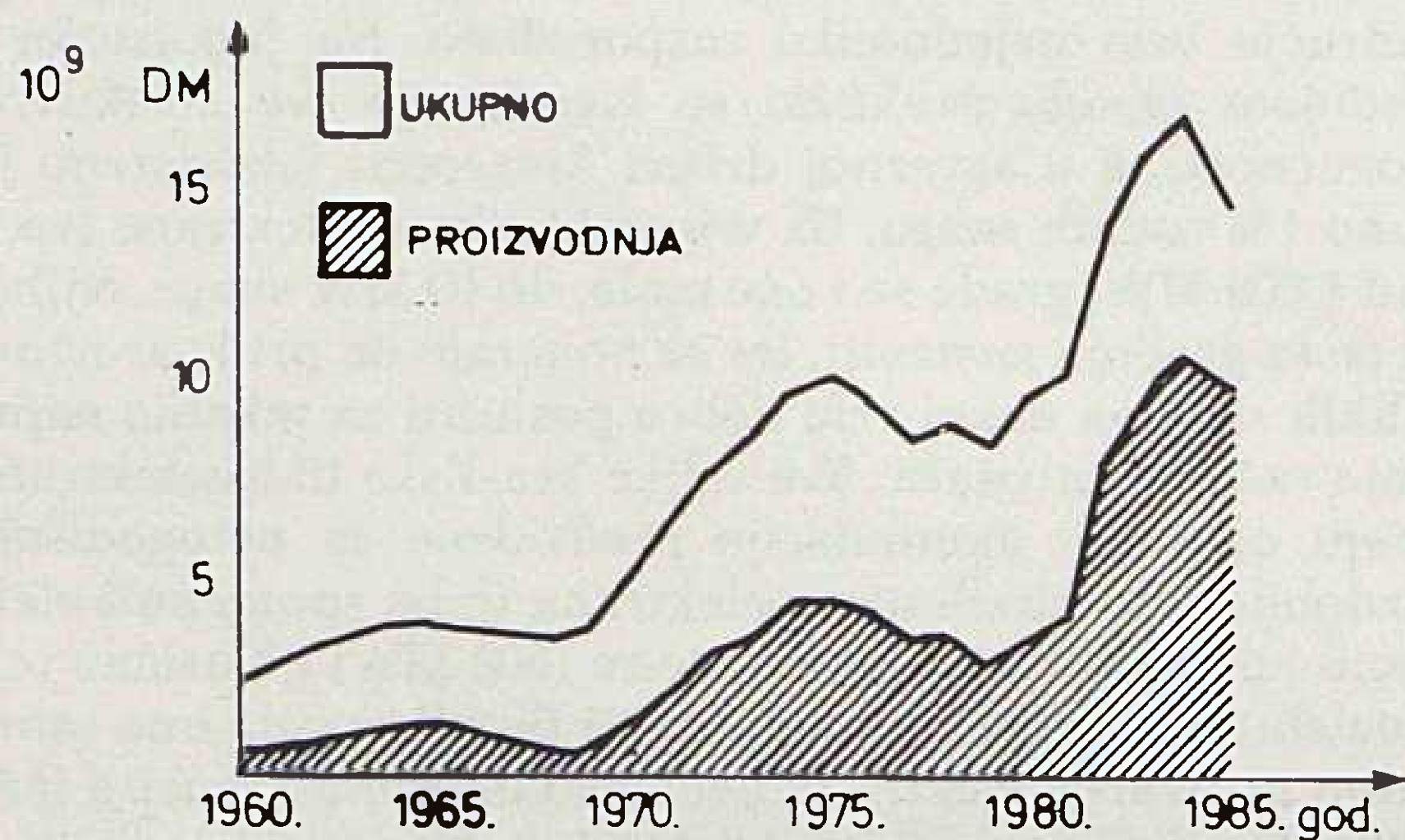
noga prijenosnog sistema, pa će se takvi sistemi ± 600 kV i nadalje ugrađivati u trofaznu mrežu.

ETZ, God. 108 (1987), br. 2

Mrk.

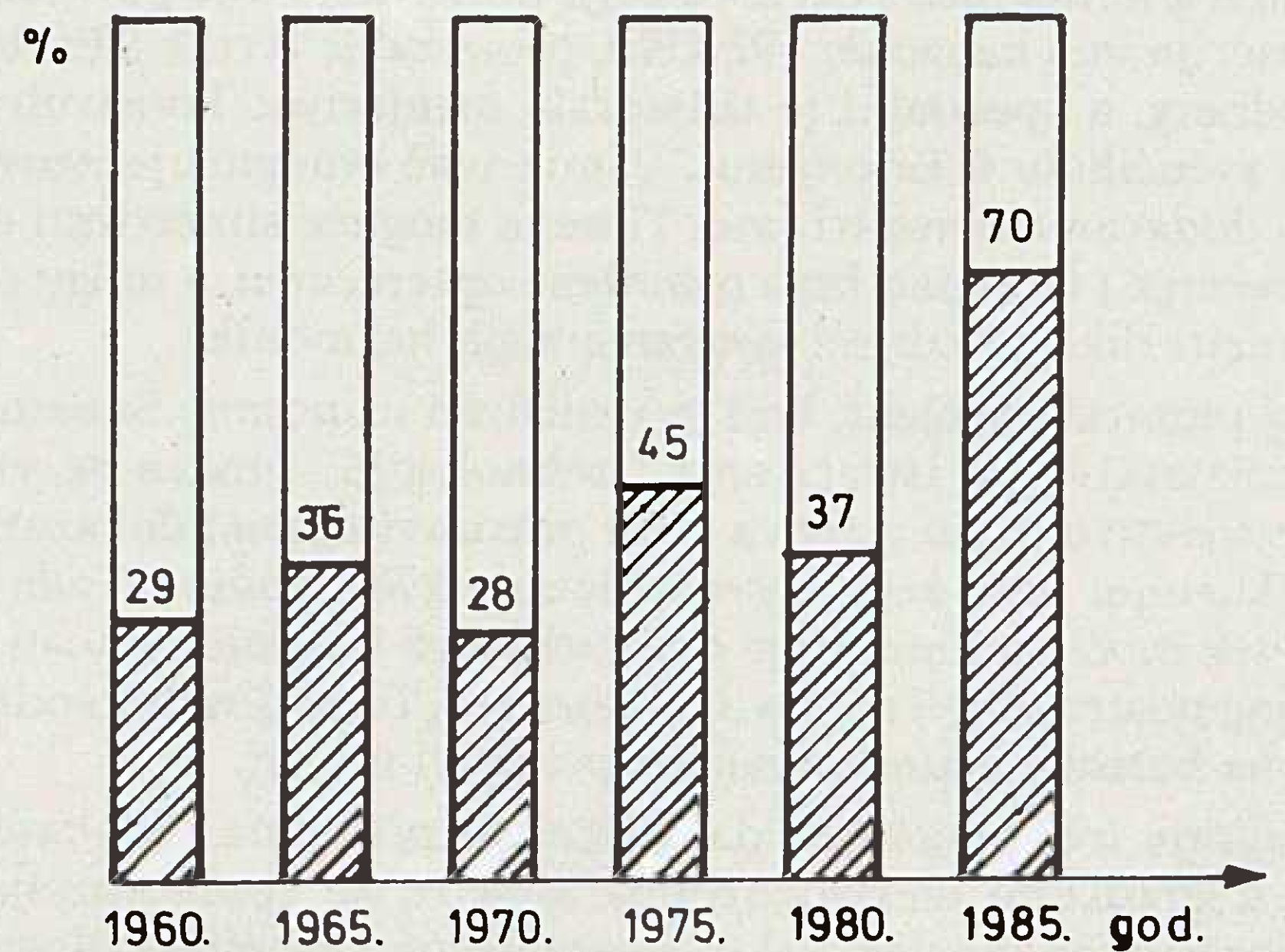
### INVESTICIJE U ELEKTROPRIVREDI SRNJ

Investicije u elektroprivredi Savezne Republike Njemačke u periodu 1960–1985. godine rastu tako da su 1985. godine bile sedam puta veće nego 1960. godine. Taj rast nije ni pravilan ni konstantan (v sl. 1).



Slika 1. Investicije u elektroprivredi SRNJ

Vidljiva su dva izrazita maksimuma. To je, prvo, 1975. godina, kada su nakon naftne krize s početka sedamdesetih godina porasle investicije u domaće izvore – termoelektrane na ugljen. Drugi je maksimum nastao 1984. godine zbog velikih ulaganja u nuklearne elektrane i, posebno, zbog visokog udjela troškova uređaja za zaštitu okoline. Te je godine za čistiju okolinu potrošeno 2,7 milijarde DM, što je bila četvrtina ukupnih ulaganja u proizvodne objekte.



Slika 2. Udio proizvodnje u ukupnim sredstvima (u postotcima)

Udio ulaganja u proizvodne objekte kretao se od 30 do 40%, s tim da je u karakterističnim godinama dosegao 45%, u 1975. godini, a čak 70% u 1985. godini.

*Energie und Wirtschaft*, Informationzentrale der Elektrizitätswirtschaft, 1987, Frankfurt.

C. Ž.

# NOVE KNJIGE

**Collier J. G., Hewitt G. F:**

## **INTRODUCTION TO NUCLEAR POWER**

### **Uvod u nuklearnu energetiku**

Izdavač: Springer – Verlag, Berlin, 1987

Format: 15,5 × 23,5 cm, tvrdoukoričeno, 231 stranica, 123 slika, 7 tabela, cijena 128 DM

Knjiga, s obzirom na dosadašnje nuklearne nezgode u svijetu, obrađuje na pristupačan način aktualne aspekte nuklearne energetike. Po sadržaju se namijenjena široj javnosti, studentima i istraživačima. Započinje jednostavnim opisom nuklearnih procesa u unutrašnjosti zemljine kore, opisom nuklearnih materijala, pa sve do problema odlaganja nuklearnih otpadaka. Posebno su obrađena područja, kao npr. principi rada termalnih i oplodnih reaktora, metode hlađenja reaktora, opisi događaja i posljedica kod nuklearnih nezgoda zbog gubitka hlađenja i topljenja jezgre. Opisane su nezgode u EBR – 1, Enrico Fermi, Browns Ferry, Three Mile Islands, Chernobyl i dr. Zatim su opisani problemi interakcije goriva i hladioca, strojevi za izmjenu goriva, rashladni bazeni, postrojenja za reprocesiranje goriva, problemi vezani s konačnim uskladištenjem nuklearnih otpadaka, vitrifikacija, iskorištenje plutonija kao i perspektive korištenja procesa nuklearne fuzije.

Knjiga ukazuje na sve veće energetske potrebe svjetske privrede, koje se neće moći podmiriti korištenjem fosilnih izvora, kao ni alternativnih izvora bez uvažavanja nuklearne energetike. Prednost nuklearne energetike je u čistom i efikasnom izvoru energije, ekonomičnosti i minimalnom utjecaju na okolinu. Nuklearne nezgode trebaju se promatrati u kontekstu s ostalim industrijskim nezgodama, a razvoj nuklearne energetike, prema mišljenju autora treba ići u smjeru veće sigurnosti, racionalizacije i potpunog obavještanja javnosti kao i izvršnih političkih struktura.

B. Kalan

**Styrikovich, M. A., Polonskij, V. S., Tsikauri, G. V.**

## **»TWO PHASE COOLING AND CORROSION IN NUCLEAR POWER PLANTS«**

### **(Dvofazno hlađenje i korozija u nuklearnim elektranama)**

Izdavač: Springer – Verlag; Wašington – New York – London: Hemisphere Publishing Corporation Erlin – Heidelberg – New York – London – Paris – Tokyo

Tvrdo ukoričeno, 415 str. 250 slika, cijena 218 DM.

Ova knjiga predstavlja novi standard u literaturi koja obrađuje interakcije transfera mase i topline s ponašanjem nečistoća u uvjetima koji vladaju u primarnom hladiocu i drugim radnim medijima većine nuklearnih elektrana. Što više, autori istražuju turbinske kvarove uslijed visokih lokalnih koncentracija korozivnih nečistoća kao odgovor na moderne studije pokazujući da se i sva ostala termomehanička oprema kao i generatori pare može tretirati na ovaj način.

Knjiga počinje općenitim pregledom radnih procesa koji se javljaju u postrojenjima različitih tipova nuklearnih elek-

trana. Daljnja obrada uključuje: hidrodinamiku, različite aspekte transfera mase i topline, problem vlage u turbinama nuklearnih elektrana. Kroz knjigu autori posebnu pažnju posvećuju stvarnim uvjetima koji se susreću u nuklearnim elektranama kako bi njihovi zaključci bili direktno upotrebljivi u praksi.

Reference za ovu knjigu su istraživačke studije »Instituta za visoke temperature« Akademije nauka SSSR-a s područja transfera mase i topline, višefaznih strujanja, nuklearne energije, konstrukcije termomehaničke opreme i hidrodinamike.

Sadržaj knjige je sljedeći (glavna poglavlja):

- Uloga dvofaznog strujanja u nuklearnim elektranama
- Hidrodinamika dvofaznog strujanja
- Prijenos topline kod prisilne konvencije i kriza ključanja
- Prijenos topline u Post-Dry regijama
- Prijenos topline kod ključanja na nepropusnim površinama
- Istraživanja prijenosa topline na kapilarno propusnim strukturama
- Formiranje i gibanje vlage u turbinama
- Odvajanje vlage u nuklearnim elektranama
- Nomenklatura.

B. Nadinić

**Suris A. L.**

## **TERMODINAMIČKI PODACI VISOKOTEMPERATURNIH PROCESA**

Izdavač: Springer Verlag; Berlin – Heidelberg – New York – London – Paris – Tokyo, 1987.

Format: 18 × 25,4 cm, tvrdo ukoričeno, 601 stranica, 379 tablica, 88 slika, cijena 255 DM.

Cilj priručnika jest prikaz termodinamičkih podataka o visokotemperaturnim procesima proizvodnje oksida, karbida i dušikovih spojeva te redukcije metala iz klorida, oksida, itd. U tu svrhu autor je razvio algoritam i univerzalni program za termodinamičke analize tih procesa pomoću računala. Očekuje se da će podaci korisno poslužiti u metalurgiji, kemiji i ostalim industrijskim granama koje koriste navedene visokotemperaturne procese.

Priručnik je usmjeren na različite kemijske i metaluruške procese temeljene na korištenju plinovitih reducirajućih agensa (primarno vodiča) i na procesima konverzije klorida.

Opisani su, zatim, proračuni pirolitičkih procesa proizvodnje plinovitih reducirajućih agensa i konverzije hidrokarbonata. Dane su osnovne karakteristike reakcija sinteza dušikovih oksida i spojeva koji sadrže sumpor, klor i fosfor (kako sa stanovišta metoda industrijske proizvodnje, tako i sa stanovišta mogućeg formiranja polutanata u različitim kemijskim i metalurškim procesima).

S obzirom na moguće korištenje visokotemperaturnih procesa u raznim industrijskim granama, termodinamički računici su provedeni za temperaturni raspon od 293 do 6 000 K, širok raspon tlakova i donosa reagensa, uzimajući u obzir velik broj komponenata.

Z. Mužek

**Becker M.**

## **KORIŠTENJE SUNČEVE TOPLINE**

Izdavač: Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York – London – Paris – Tokyo, 1987.

Format: 15,5 × 23 cm, meko ukoričeno, 1440 stranica, cijena 295 DM, izdanje u tri tona.

Prva knjiga obrađuje opća istraživanja raspoloživosti solarne energije. Sastoji se od tri poglavlja. U prvom poglavlju prikazani su proračuni i mjerenja godišnje proizvodnje topline solarnih CRS – procesa i radne temperature reakcije. Drugo poglavlje daje literaturni pregled u području sistema koji koriste primarnu i sekundarnu Sunčevu energiju, te izbor i proizvodnju novih primjernih materijala. Treće poglavlje razmatra putove i mogućnosti istraživanja i razvoja visokotemperaturnih solarnih procesa, te daje prijedloge i sugestije.

Druga knjiga obrađuje tehnologije izmjenjivača topline i mogućnosti skladištenja topline. U prvom poglavlju analizira se keramički izmjenjivač hladen zrakom. U drugom poglavlju promatra se novi tip reaktora za sintezu plinova

(sinteza mješavine vodika i ugljičnog monoksida), takozvani višestepeni parni pretvarač koji koristi solarnu energiju. Treće poglavlje obrađuje visokotemperaturne spremnike topline s krutim medijem, dok su u četvrtom poglavlju izloženi stavovi eksperata i postignuta suradnja u razvoju visokotemperaturnih spremnika topline.

Treća knjiga obrađuje primjenu solarne energije za kemijske procese. U prva tri poglavlja izložen je princip sinteza metana uz korištenje topline Sunca, i prikazani su i opisani razni sistemi i konstrukcije.

Četvrto poglavlje daje rezultate komparativnih istraživanja i odnosa između različitih solarnih sistema koji koriste cijevne parne pretvarače.

U petom poglavlju obrađeni su procesi sinteze plinova modificirani za visoke parametre pri korištenju solarne energije. Posljednje poglavlje prikazuje primjenu solarne energije u proizvodnji vodika kod visokih temperatura pare u elektrolizi.

Poglavljia su zasebne cjeline rezultata rada autora raznih instituta, proizvođača opreme i univerziteta. Potkrijepljena su dijagramima, proračunima, te rezultatima mjerenja.

Ž. Postružin

IZDAVAČI

Godište 37 (1988)

Zagreb 1988

Br. 4

Zajednica elektroprivrednih  
organizacija Hrvatske

Institut za elektroprivredu, Zagreb

SIZ za znanstveni rad Hrvatske

## SADRŽAJ

Okrugli stol »Energije« . . . . .	305
<i>Vuković V.</i> : Otok tri milje i Černobil (Pregledni rad) . . .	317
<i>Milanović Z.</i> : Ekološki aspekti izgradnje TE-TO na otpad u Zagrebu (Stručni rad) . . . . .	327
<i>Krulc Z.</i> : Doprinos poznavanju geotermijske energije u Jugoslaviji (Pregledni rad) . . . . .	339
<i>Perić A.</i> — <i>Plećaš I.</i> — <i>Kostadinović A.</i> : Pregled razvoja tehnika i mogućnosti primene procesa imobilizacije radioaktivnih otpadnih materijala bitumenskim postupkom (Pregledni rad) . . . . .	343
<i>Žutobradić S.</i> — <i>Puharić M.</i> : Uloga uzemljivača stupova u zaštiti distributivnih vodova od atmosferskih prenapona (Pregledni rad) . . . . .	349
<i>Staničić L.</i> : Izdaci za energiju u osobnoj potrošnji stanovništva (Stručni rad) . . . . .	357
<i>Čerina P.</i> — <i>Šaina B.</i> : 110 kV-tna kabela veza otok Krk — otok Rab (Stručni rad) . . . . .	363
<i>Markovčić B.</i> : Naše prve javne elektrane (Stručni rad)	375
Rad Instituta za elektroprivredu u 1987. godini . . . . .	379
<b>Vijesti iz elektroprivrede</b> . . . . .	395
<b>Iz strane stručne literature</b> . . . . .	398
<b>Oglasi</b> . . . . .	403

## IZDAVAČKI SAVJET

Dr Ivo *Hrs*, dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Zagreb —  
 Josip *Antić*, dipl. inž., »Elektroprimorje« Rijeka — Anđelko  
*Modrčin*, dipl. inž., »Elektroprivreda« Rijeka — Anđelko  
*Dujmović*, dipl. inž., »Elektroslovanija« Osijek — Dragutin  
*Stanić*, dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Split — mr  
 Damir *Subašić*, dipl. ecc., Republički komitet za energetiku  
 — Zdenka *Jelić*, prof., Institut za elektroprivredu, Zagreb —  
 Mladen *Zeljko*, dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Za-  
 greb

## UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: dr Zorko *Cvetković*, dipl. inž.  
 Urednik: Zdenka *Jelić*, prof.

Urednici rubrika: »Energetski sistemi«, Nikola *Bilčar*, dipl.  
 inž. — »Hidroelektrane«, Krunoslav *Begović*, dipl. inž. —  
 »Termoelektrane i Toplane«, Mladen *Nadinić*, dipl. inž. —  
 Prijenos električne energije, Zdenko *Tonković*, dipl. inž.,  
 Zagreb — »Razvod, distribucija i potrošnja električne ener-  
 gije«, Josip *Antić* i Mladen *Ježić*, dipl. inž., — »Ekonomika  
 elektroprivrednih poduzeća, ekonomskofinancijska i tarif-  
 na pitanja, te ekonomika poslovanja«, dr Jure *Šimović*, dipl.  
 oecc. i Željko *Vodopija*, dipl. oecc. — Tehnički urednik:  
 Branko *Mališ* — Lektor: Vladimir *Strojny*, prof. — Metro-  
 loška recenzija: Mladen *Zeljko*, dipl. inž.

Časopis je oslobođen plaćanja poreza na promet rješenjem  
 Republičkog sekretarijata za prosvjetu, kulturu i fizičku kul-  
 turu SR Hrvatske broj 886/1-1979.

## Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica Proleterskih brigada 37

Pošt. pretinac 293, telefoni 511-455, 513-822 (328)

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 6000  
 dinara, a za poduzeća i ustanove 24000 dinara (za studente 3000) di-  
 nara. Cijena pojedinog broja u prodaji 4000.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

Institut za elektroprivredu (za »Energiju«) broj 30101-603-565

Tisak i klišei: RO »Zrinski« TIZ, Čakovec

# ENERGETIKA

Sulzer-inženjering i ostale usluge zasnivaju se na širokoj ponudi strojeva i dijelova opreme za proizvodnju, pretvorbu i raspodjelu energije.

Evo nekoliko podataka:

## Parni kotlovi i izmjenjivači topline

Više jednocjevnih parnih kotlova za pet termoelektrana u Jugoslaviji.

## Dizel motori

Dizel-električna centrala sa četiri Sulzer-motora (65 MWe) u Abu Dhabi.

## Plinske turbine

20 MW plinska turbina za I.C.I., Velika Britanija. Naš koncept plinskih turbina za industriju ukazuje na nove putove.

## Proizvodnja električne i toplinske energije

① Kombinirana električna centrala s plinsko/parnim turbinama u Maleziji.

Gorivo: zemni plin na licu mjesta.

## Toplinske pumpe

② Sulzer-velika toplinska pumpa (7100 KW) za daljinsko grijanje u Kiel-u. Postrojenje je stavljeno u pogon 1986. To je najveće postrojenje te vrste u Saveznoj Republici Njemačkoj.

## Vodne turbine

③ Jedan od Escher Wyss-Pelton-ovih rotora za električnu centralu Cat Arm, Kanada, s jediničnim učinkom 70 MW i s visinskom razlikom 386 m.

## Komponente za nuklearne elektrane

④ Završni radovi u jednoj od švicarskih nuklearnih centrala.

## Ventili

⑤ Visokotlačni sigurnosni ventili za termocentralu.

## Pumpe

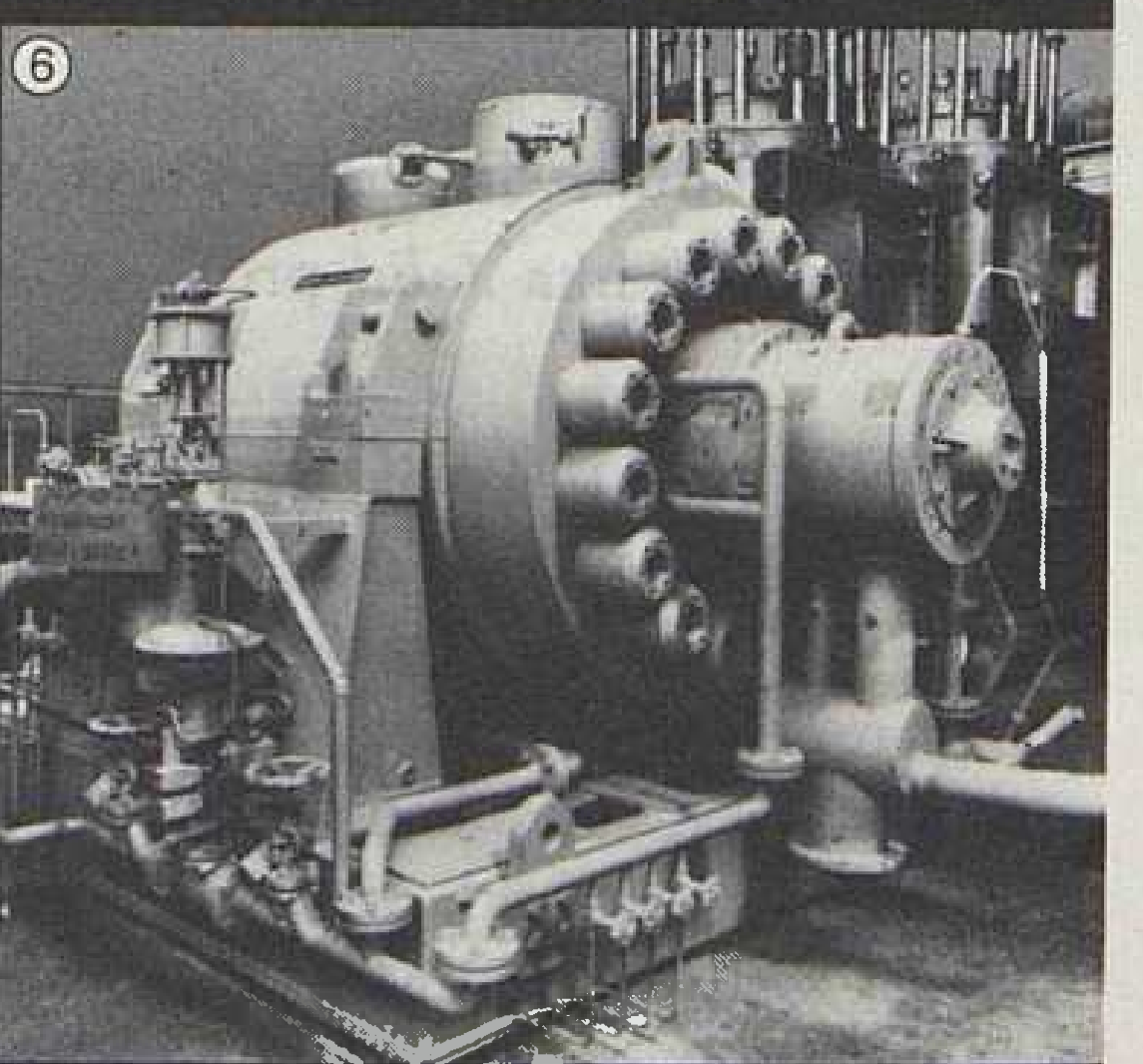
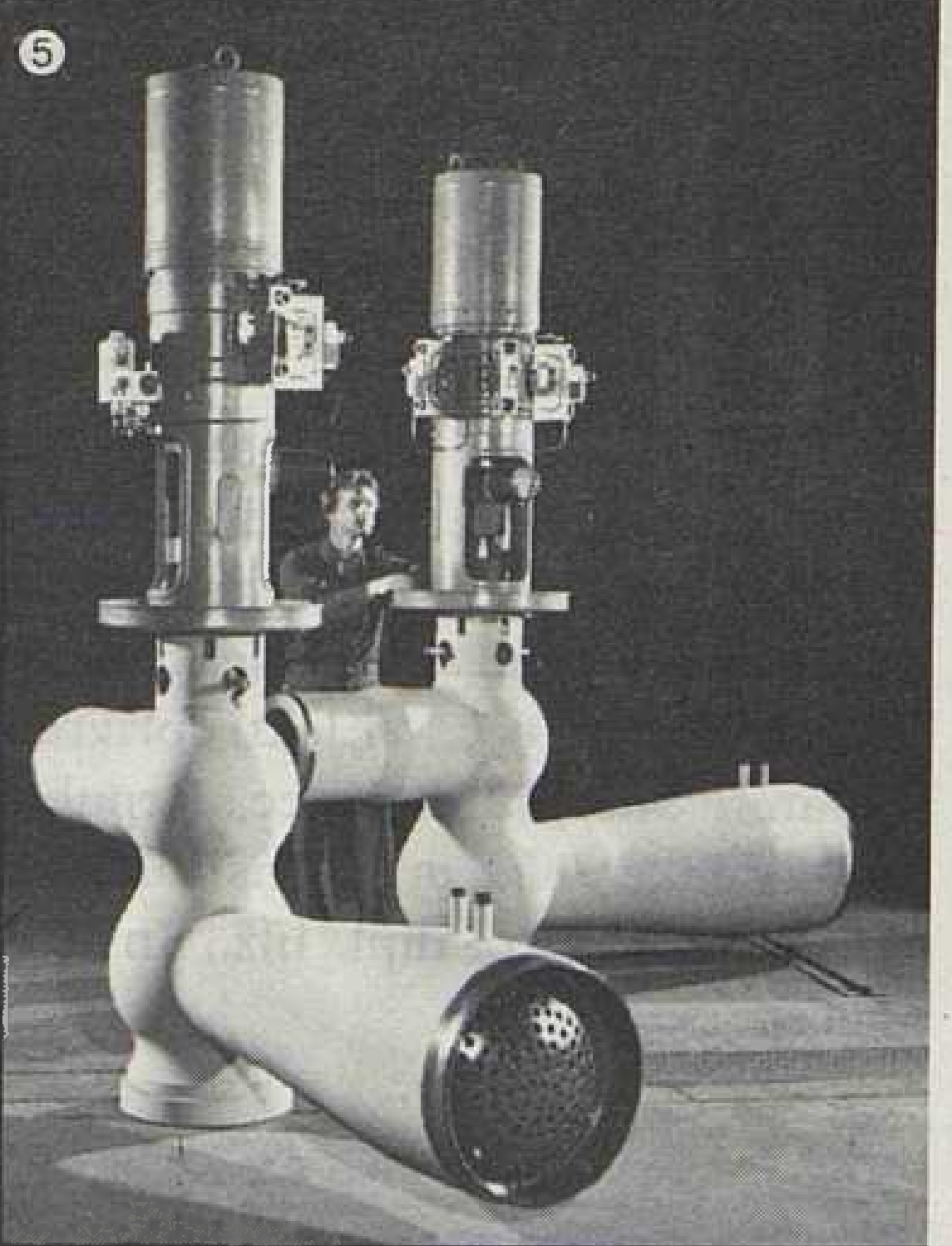
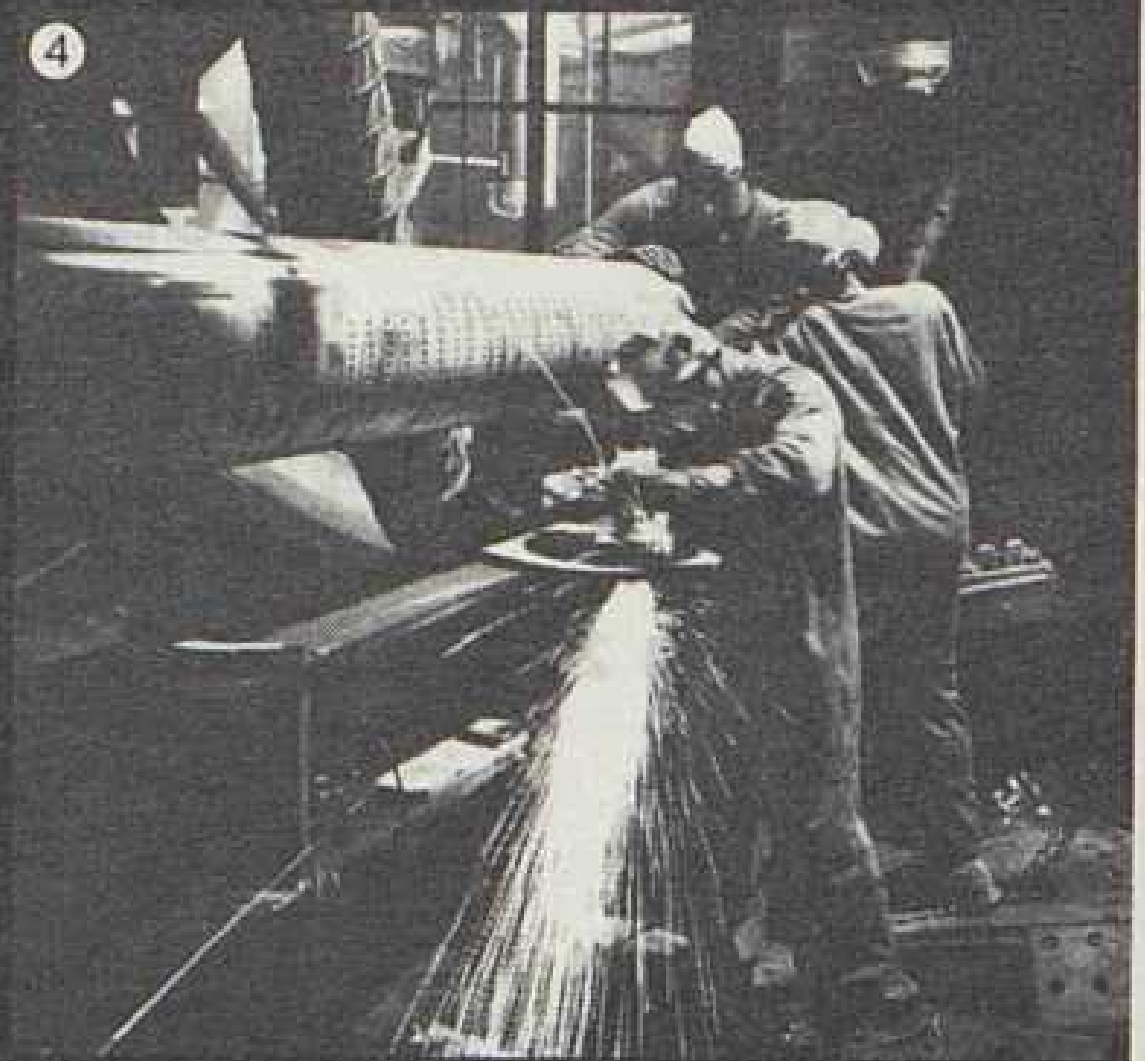
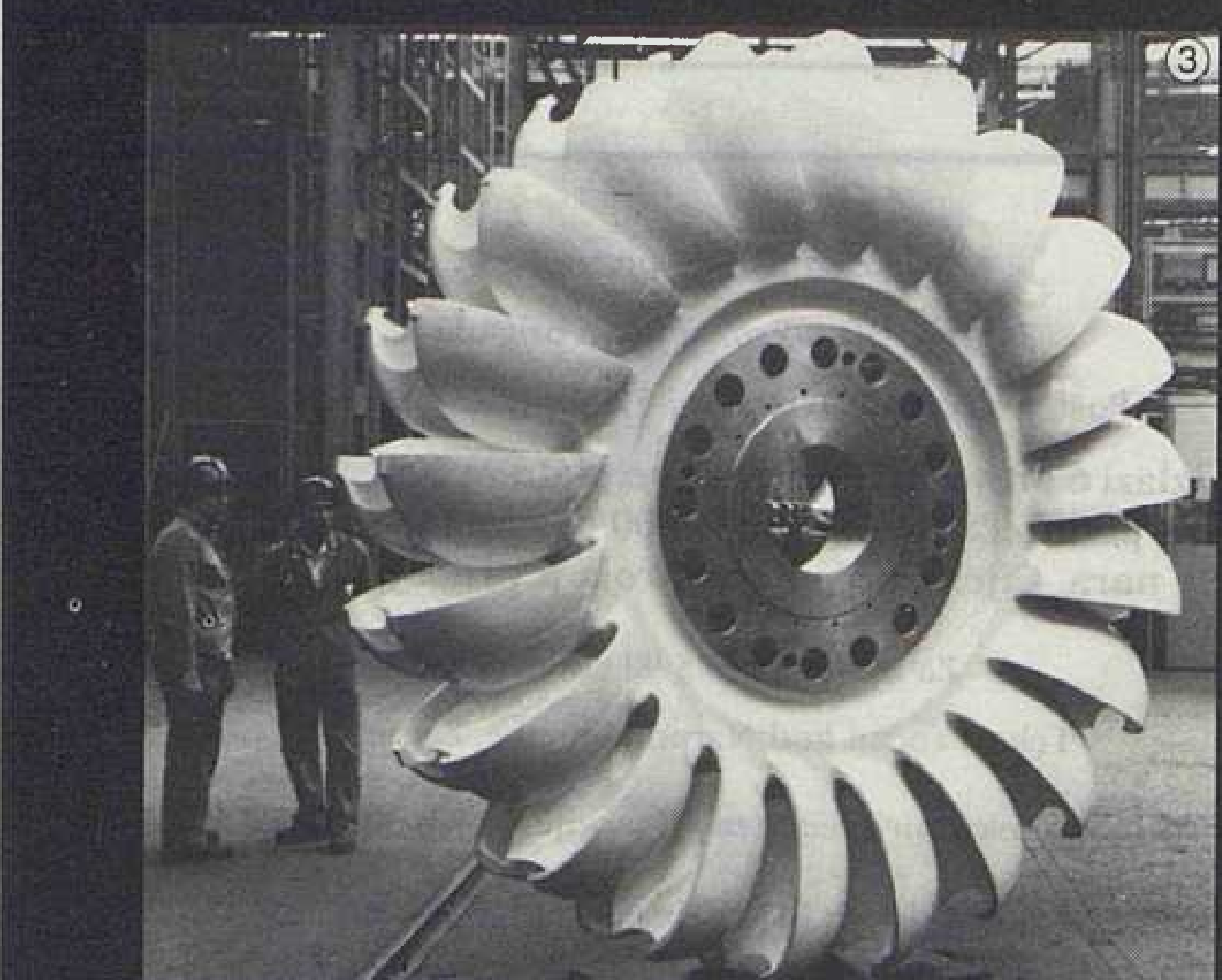
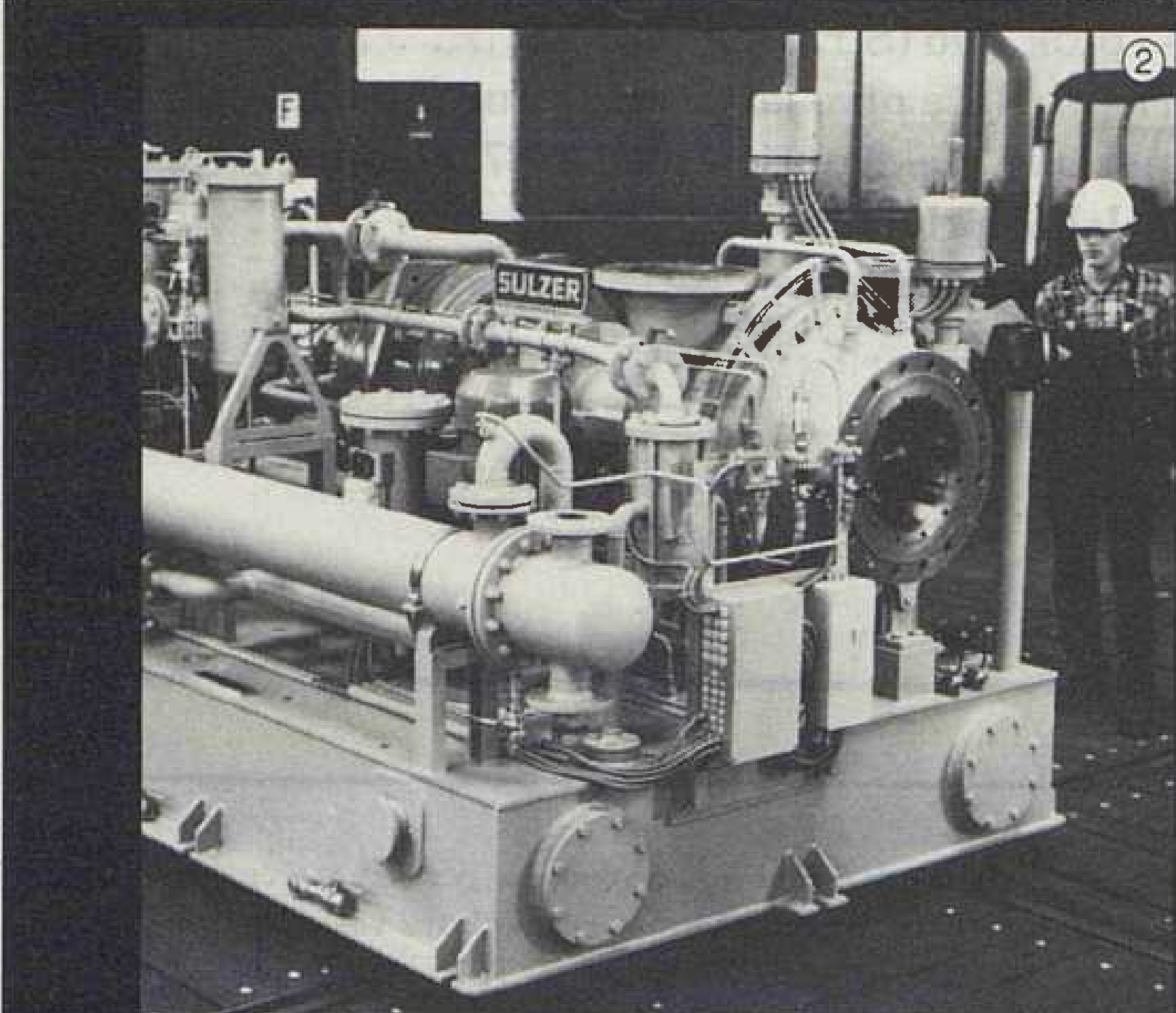
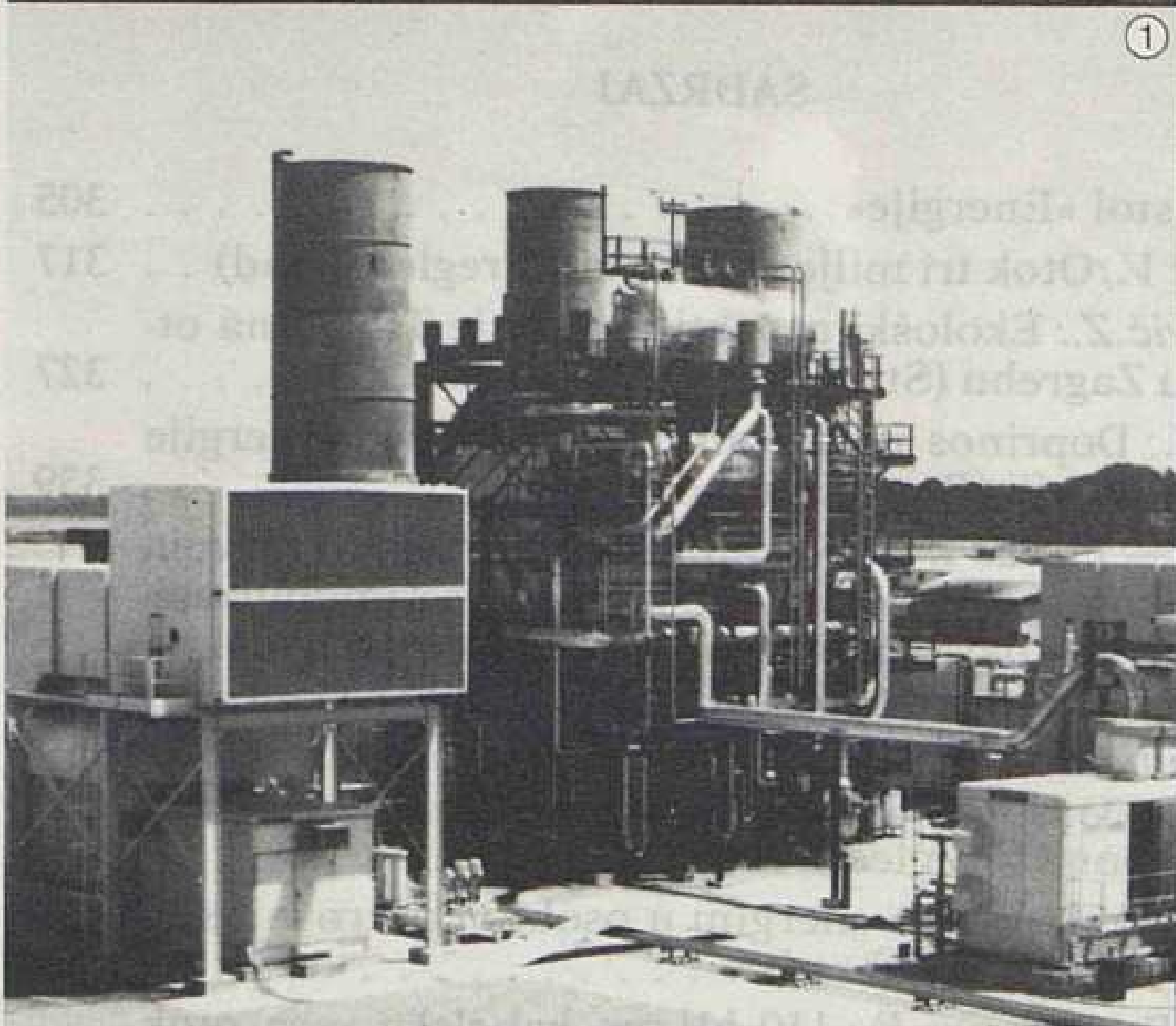
⑥ Kotlovska napojna pumpa za 600 MW-termoelektranu u Nizozemskoj.

## Sistemi za upravljanje i reguliranje

Preko 200 elektronskih sistema regulira rad turbina u hidrocentralama širom svijeta.

# SULZER®

Gebrüder Sulzer Aktiengesellschaft  
8401 Winterthur  
Telefon 052-811122  
Telex 896 060



# OKRUGLI STOL ENERGIJE

**U organizaciji časopisa Energija 14. travnja 1988. održan je u Institutu za elektroprivredu okrugli stol o tarifnom sistemu. O toj vrlo aktualnoj temi govorili su poznati stručnjaci iz elektroprivrede, Republičkog komiteta za energetiku, RSIZ-a potrošača električne energije i radnih kolektiva, velikih korisnika električne energije.**

**Donosimo skraćenu diskusiju sudionika okruglog stola i njihova imena abecednim redom. U daljnjem tekstu spominjat će se samo njihova prezimena. Evo popisa sudionika:**

**dr. Cvetković Zorko, dipl. inž., glavni i odgovorni urednik Energije, Elektroprenos Zagreb; dr. Hrs Ivo, dipl. inž., predsjednik Izdavačkog savjeta Energije, Institut za elektroprivredu; Jelić Glišo, dipl. ecc., RSIZ potrošača električne energije; Juričić Mladen, dipl. ecc., Komitet za energetiku; mr. Mandić Mladen, dipl. ecc., Elektra Zagreb; Novak Milan, dipl. inž., HE Dubrovnik; Paprić Stevo, dipl. inž., Elektroslavonija Osijek; dr. Pavlović Jovica, dipl. ecc., Institut za elektroprivredu Sarajevo; Peko Ante, dipl. ecc., Elektrodalmacija Split; Radulović Dean, dipl. tehn., Elektroprivreda Zagreb; Ringwald Zdravko, dipl. inž., TLM »Boris Kidrič« Šibenik; Spremo Borivoje, dipl. ecc., ZEOH; Šicel Mladen, dipl. inž., ZEOH, Tocigl Benito, dipl. ecc., iz Splita i Županović Stanko, dipl. inž., TLM »Boris Kidrič« Šibenik.**

**HRS:** Kao predsjednik Izdavačkog savjeta Energije i direktor Instituta za elektroprivredu, u čijem sklopu djeluje Energija, pozdravljam sve prisutne i želim vam ugodan i koristan rad pri obradi ove interesantne i aktualne teme. Dajem riječ dr. Cvetkoviću, glavnom uredniku Energije, koji će voditi ovaj sastanak.

**CVETKOVIĆ:** Pozvali smo vas na ovaj okrugli stol kao eksperte koji se bave problematikom tarifnog sistema za prodaju odnosno kupnju električne energije. Naglašavam da ovdje prisustvujete kao pojedinci i da vaši stavovi mogu, ali ne moraju biti i stavovi organizacija u kojima radite. Problem tarifnog sistema u javnosti je to aktualniji što su cijene električne energije više. Nastojanja elektroprivrede usmjerena su na to da tarifnim sistemom, uz princip da svatko plati koliko je potrošio, djeluje na »peglanje« dijagrama potrošnje i time uštedi nove investicije, i to prije svega utječući na opseg gradnje novih elektrana. Zato je to najdirektniji put prema smanjenju ukupnih troškova sistema.

Naročito negativna reakcija javnosti u posljednje se vrijeme čuje u vezi s naplatom doprinosa na snagu, pa je to dovelo čak do intervencije Saveznog inspektora za cijene. To ujedno pokazuje da je tarifni sistem (TS) još uvijek prilično velika nepoznanica na svim nivoima.

Interesantno je da nema reakcija na ostalim područjima na kojima se primjenjuje naplata »za snagu« npr. naplata telefonske pretplate. Njome se djelomično naplaćuje »snaga«, a televizijska se pretplata temelji isključivo na naplati »snage«. Dovoljno je da kupite prijemnik pa da morate platiti mjesečnu pretplatu, gledali ili ne gledali program.

Molim kolegu Tocigla da nam za početak dade pregled svjetske prakse na tom polju.

**TOCIGL:** Podaci i tekstovi koji su poslužili za ovo izlaganje pribavljeni su krajem prošle i početkom ove godine direktnim individualnim kontaktima sa članovima Studijskog komiteta za ekonomska i tarifna pitanja UNIPEDE, te s odgovarajućim integracijskim komiteti-



ma Sjeverne, Srednje i Južne Amerike. Podaci odražavaju stanje dana 01.01.1988, pa su i eventualne kvantifikacije obavljene prema valutnim tečajevima koji su vrijedili tog dana. Prikupljanje informacija i podataka još traje.

U svim tarifnim sistemima za prodaju električne energije na cijelom planetu dominira deklarativna namjena pod definicijom »stimuliranja racionalizacije potrošnje električne energije«.

Realna ocjena stvarnog postizanja takvoga »uzvišenog« cilja mogla bi se dati kada bi se mogli detaljno analizirati svi elementi tarife u njihovoj dugoročnoj primjeni (što u nas nikada nije nitko obavio) i kada bi postojao provjereni sistem usporedbe efikasnosti tarifa, odnosno kada bi bar postojala mogućnost usporedbe prosječne cijene električne energije koja se postiže u pojedinim zemljama primjenom tih tarifnih sistema.

Možda bi se o uspješnosti takvih usporedbi moglo govoriti kada cijene električne energije ne bi toliko ovisile o individualnim karakteristikama pojedinih elektroenergetskih sistema i o ekonomskoj politici pojedinih zemalja, odnosno kada bi električna energija mogla biti predmet ravnopravne razmjene na svjetskom tržištu uz mogućnost burzovnog utvrđivanja njezine vrijednosti kao i vrijednosti ostale robe te kada bi se na osnovi svega toga, u skladu s utopističkim željama naših zakonodavaca, mogla utvrđivati neka »svjetska cijena«.

Postoji, međutim, eventualna mogućnost usporedbe unutar parcijalnih svjetskih ekonomskih sistema i odgovarajućih grupa zemalja, naročito u slučajevima realnih internacionalnih sagledavanja zasnovanih na principima troškova radne snage (potrebno vrijeme rada za plaćanje jednog kWh odnosno pariteta kupovne moći). Nažalost, pristup podacima koji bi omogućili takve usporedbe znatno je otežan, pa je u praksi jedino moguća usporedba na osnovi podataka o prosječnim cijenama izraženim nacionalnim valutama, s time da ih, na osnovi podataka tečajnih lista za određeni datum svedemo na jedinstvenu valutu (USA dolar ili evropska škuda, ECU). Osnovni nedostatak tog sustava proizlazi iz očigledno nedovoljne realnosti primijenjenih tečajeva.

Određeni stupanj realnijih sagledavanja može se postići sistemom po kojemu se usporedbe zasnivaju na utvrđivanju domicilnih cijena električne energije u svim zemljama za tzv. tipske potrošače, tj. za »simulirane modele potrošnje« za koje se na isti način koristi snaga, aktivna i reaktivna energija pa se na iste, unaprijed određene, energetske veličine primjenjuju različiti tarifni sistemi s različitim nivoima tarifnih stavova.

Međutim, i takve je usporedbe nemoguće generalizirati jer ih treba zatvarati u parcijalne sisteme jednakih ili sličnih ekonomskih, energetske i financijskih karakteristika, jednakih struktura proizvodnih odnosa i jednakih nivoa standarda.

U tom smislu možemo razgraničiti i definirati sljedeće svjetske grupacije:

1. visokorazvijene zemlje koje obuhvaćaju SAD, Japan, Kanadu i zemlje EZT, uz još neke neutralne zemlje Zapadne Evrope u kojima je standard na mnogo većem nivou nego naš, gdje su apsolutni osobni dohoci deset do dvadeset puta veći, a prosječne cijene električne energije za male potrošače —

kućanstva približno jednake našima, uz napomenu da je riječ o istom sistemu degresivnosti koji stimulira neograničeni rast potrošnje i koji na Zapadu ima svoju osnovu u visokome tehničkom minimumu nuklearnih elektrana, a u nas nema nikakva logičnog rezona. Osim toga, broj tih malih potrošača u razvijenim je zemljama minimalan s obzirom na to da su prosječni nivoi potrošnje neusporedivo veći od naših, pa izuzetno visoke cijene za male potrošnje kućanstava samo neznatno djeluju na povećanje općeg nivoa cijena;

2. zemlje realnog socijalizma s nižim standardom, ali i s mnogo nižim (umjetno održanim) cijenama električne energije za kućanstva, čak i za male potrošnje. Tu grupu zemalja ne možemo, nažalost, uključiti u međunarodne usporedbe na osnovi iznesene koncepcije jer način utvrđivanja službenih tečajeva nacionalnih valuta onemogućuju bilo kakvu usporedbu s cijenama električne energije u ostalim dijelovima svijeta,

3. zemlje u razvoju, tzv. zemlje trećeg svijeta, kojemu i mi pripadamo i čija je potrošnja električne energije (i po stanovniku, i po kućanstvu) mnogo niža nego u prve dvije grupe, pa mali potrošači — kućanstva imaju neusporedivo veće učešće (relativno i apsolutno) u ukupnoj potrošnji. U tom smislu vrlo su interesantni podaci iz 12 zemalja Južne Amerike dana 01.01.1988. Sigurno će šokirati i ovo nizanje činjenica: riječ je o zemljama kojih je standard sličan našem, imamo približno jednake plaće, gubitke, dugove i inflaciju, a prosječne cijene električne energije za male potrošače — kućanstva (do 600 kWh) čak su im i deset do dvadeset puta manje od naših,

4. grupa tzv. četvrtoga ili petog svijeta nije zanimljiva za te usporedbe jer se zbog bijede ne mogu ni uklopiti u njih. U kontekstu iznesenih podataka valja naglasiti da smo mi, u skladu s megalomanijom i prepotencijom koja nam je svojstvena, kao reper za utvrđivanje našeg nivoa cijena električne energije uzeli »svjetske« cijene prve grupe zemalja. Pritom treba napomenuti da dva velikana svjetske industrijske i financijske moći u toj grupi (Japan i Italija) imaju cijene malih potrošača kućanstva osjetno niže od naših (pod našima razumijevamo cijene i tarifne stavove u SRH), a u cijeloj Evropi iz te grupe potrošača samo SR Njemačka, Belgija, Velika Britanija i Švicarska imaju cijene više od naših. U Francuskoj su približno jednake, a u Izraelu su čak dvaput niže.

Ta površna analiza samo malog dijela prikupljenih podataka ipak dokazuje da i u elektroprivredi, kao i u većini ostalih industrijskih grana, nekontrolirani rast cijena »pokriva« neracionalnost uvoza goriva, nenormalan rast troškova poslovanja, sve izrazitiji višak neproduktivne radne snage i nedovoljnu realnost proizvodnje i potrošnje (usprkos deklaracijama iz tarifnog sistema).

*Kako tarifni stavovi djeluju na racionalizaciju proizvodnje i potrošnje*

U skladu sa zakonskim propisima, koncepcija tarifa za prodaju električne energije osniva se na potrebi racionalizacije koju inicira prethodno zajedničko donošenje

Samoupravnog sporazuma o osnovnim principima tarifnog sistema za isporuku električne energije.

Te osnovne zajedničke tarifne koncepcije polaze od principa realnog utvrđivanja tarifnih stavova na osnovi rasporeda ukupnih troškova na naponske nivoe na kojima se obavlja isporuka električne energije. U tom je smislu nužna primjena jedinstvenih kriterija da bi tarifni elementi mogli stvarno djelovati u smislu racionalizacije potrošnje, redosljeda angažiranja proizvodnih kapaciteta, objektivnog utvrđivanja potrebnog razvoja i adekvatnog priključivanja novih potrošača. To je bio polazni zadatak »osnovnih principa«, pa ga je trebalo precizno i nedvosmisleno definirati.

U ovom slučaju, kao i u svim ostalim djelatnostima u kojima je jednoznačna definicija neophodna je nužna primjena već »uobičajene procedure«.

U tom su dokumentu sasvim precizno definirani neki nebitni više-manje irelevantni elementi tarifiranja, a o osnovnoj raspodjeli troškova po naponima nije napisano ni slovo i sve je prepušteno volji i nevolji republičkih i pokrajinskih elektroprivreda. Tako smo, usprkos navodnom postojanju zajedničkih osnovnih principa, dobili osam različitih, međusobno konfrontiranih tarifnih sistema, pa je Samoupravni sporazum postao smiješna farsa koja ničemu ne služi. Pritome treba napomenuti da taj »nesporazum« nije nastao između stručnjaka koji su u nacrtu sporazuma pripremali sasvim logična i prihvatljiva rješenja već je nastao na sastanku generalnih direktora republičkih i pokrajinskih elektroprivreda.

Osnovne energetske elemente tarifa (npr. snagu i energiju) valja utvrđivati i definirati na osnovi objektivnog mjerenja, izbjegavajući pritom svaku procjenu ili paušaliziranje. S obzirom na to da je mjerenje snage na niskom naponu, naročito u kućanstvima, preskupo u odnosu prema angažiranoj količini, u toj je grupi potrošača još početkom pedesetih godina umjesto mjerenja uvedeno ograničenje snage prema unaprijed utvrđenim rasponima potrebne snage, pri čemu se postavlja jednostavni i jeftini uređaj za sprečavanje prekoračenja angažirane i plaćene snage (limitator). Taj je sistem u svim razvijenim zemljama Evrope primijenjen uz fantastično povoljne rezultate. U EDF-u je, naprimjer, uvođenje »limitatora« u razdoblju 1953—1958. godine donijelo povećanje mjesečnoga prosječnog trošenja snage na mrežu distribucije Francuske od 435 na 575 sati, čemu je, prema proračunima stručnjaka, slijedila ušteda 6 000 MW u obliku gradnje novih kapaciteta koji bi bez te racionalizacije trebali pokriti rast potrošnje. U nas je ideja o iniciranju sličnih racionalizatorskih postupaka promovirana još 1953. godine i od tada »zapinje« zbog nerazumijevanja i pukog neznanja, uz sistemsku sabotazu neznalica koji misle da time štite neke svoje parcijalne interese.

U situaciji kada elektroprivreda Hrvatske zbog kašnjenja u izgradnji ide ususret mraku, ove bi mjere, zajedno s rezultatima koji bi se postigli masovnim uvođenjem limitatora, mogle dobrim dijelom zamijeniti izgradnju novih kapaciteta. Lako je izračunati kolike bi nam uštede mogla donijeti racionalizacija korištenja angažirane snage. Bile bi to tisuće megavata. Ako znamo da jedan megavat novoizgrađenih kapaciteta košta više od

2 000 000 dolara, lako je utvrditi koliko bi se milijardi dolara, kojih ionako nemamo, moglo zamijeniti običnim limitatorima.

Zapanjuje činjenica da nitko u elektroprivredi Hrvatske, pogotovo u djelatnosti proizvodnje i prijenosa, pri traženju rješenja za budući mrak nije uzeo u obzir te općepoznate činjenice.

Istodobno se manipulira činjenicama vezanim za nepovoljne financijske rezultate uvođenja limitatora za osnovne organizacije distribucije koje su, mimo svake logike, nastale radi zadovoljavanja ambicija niza perifernih DPO-a i za koje bi jedino logično ekonomsko-energetsko rješenje bilo ne životarenje na stalnim mjesečnim doprinosima zasnovanim na nepostojećim angažiranim snagama, već priključivanje realnim i racionalnim radnim organizacijama distribucije. Vrlo je blikso zdravom razumu da se oduševljeno čeka uvođenje limitatora kao elementa koji, osim mnoštva korisnih efekata, može priodnijeti likvidiranju malih nerentabilnih organizacija koje nemaju nikakve veze s realnim troškovima i racionalnim poslovanjem elektroprivrede.

### *Socijalne tarife*

Ne možemo prihvatiti koncepciju socijalne pomoći pomoću tarife za prodaju električne energije jer je to zadatak drugih organiziranih dijelova društva. Pri razmatranju tog pitanja ne mogu se, međutim, sasvim zaobići koncepcije koje su se u zemljama trećeg svijeta (prije svega u Južnoj Americi) deciderano afirmirale tvrđnjom da je električna energija jedna od elementarnih potreba današnjega radnog čovjeka kao što je i zrak koji se udiše ili voda koja se pije. A s obzirom na to da se zrak dobiva besplatno a voda vrlo jeftino, mora postojati i jeftina cijena »struje« (bar za onaj njezin osnovni, minimalni dio), pa je stoga u nekim zemljama, naročito u onima u kojima je neobično jak utjecaj »lijevih snaga« u politici i društvu, uvedeno stupnjevito utvrđivanje tarifa za osnovne količine električne energije (20, 30, 50 kWh mjesečno) na osnovi ekonomsko-socijalnog položaja pojedinih potrošača.

I u našoj bi zemlji u današnjoj krizi trebalo nešto učiniti u korist onih ljudi kojima je svaki dan sve teže.

**PAVLOVIĆ:** U svakom sistemu cijena postije neki aksiomi koji čine bit tog sistema. Tako cijenom električne energije moraju biti pokriveni troškovi proste reprodukcije i dio troškova proširene reprodukcije. To je sistem reprodukcijske cijene. Pri transformiranju tog sistema u tarifni sistem postoje dva cilja. Jedan je postojeća težnja objektivnosti, tj. načelo da svaki potrošač u cijeni plaća troškove koje je i napravio. Drugi je racionalizacija poslovanja elektroprivredne djelatnosti. Kao rezultat tih gledanja u velikoj većini tarifnih sistema nastaje vertikalno i horizontalno diferenciranje tarifnih stavova. Praktično se to u TS očituje razlikama tarifnih stavova po naponskim nivoima, s jedne strane, i podjelom na naplatu energije i snage, i to ovisno o sezonama i dijelovima dana kad se energija troši, s druge strane. Na kraju ne zaboravimo da se električna energija ne može uspješno uskladištiti.

**CVETKOVIĆ:** Ako ukratko rezimiramo dosadašnju diskusiju, možemo reći da ne postoji svjetska cijena ni svjetski tarifni sistem za električnu energiju. Opći aksiomi prihvaćeni u svijetu čine suštinu i našeg TS-a, no kad je riječ o realizaciji u praksi postoje znatne razlike.

**SPREMO:** Važeći Tarifni sistem za prodaju električne energije, ovakav kakav je ili neki budući i bolji, može biti efikasan ako se ispune sljedeći uvjeti, nazovimo ih deset tarifnih zapovijedi.

**1. Da razina cijene na temelju koje se utvrđuju tarifni stavovi za pojedine kategorije potrošnje pokriva troškove koje ta kategorija napravi u elektroenergetskom sistemu i da ta cijena sadrži barem 40% sredstava za razvoj.**

Nijedan tarifni oblik, naprimjer odnos više i niže tarife, koji je sada 2 : 1, neće animirati potrošača da se inkomodira i »prati« tarifu ako je razina cijene zanemariva. Mi bismo i sada imali relativno zadovoljavajuću razinu cijene — odnosno dovoljno respektirajuću razinu da potrošač ima kakav-takav ekonomski interes prilagođavanja — da ne postoji cijela lepeza izvora prikupljanja sredstava za razvoj i pokrivanje troškova jednostavne reprodukcije:

- 5, 10 i 25% na iznos fakture koji se plaća na osnovi SAS-a odnosno Zakona o udruživanju sredstava društvene reprodukcije radi izgradnje elektroprivrednih objekata. Sredstva su povratna, ali uz smiješno nisku kamatu;
- izdvajanje 0,552% iz dohotka — također po navedenom SAS-u i Zakonu;
- 15% na iznos računa za potrošače električne energije kategorije kućanstvo, javne rasvjete i za potrošače koji nemaju status OOUR-a. Taj se doprinos plaća na osnovi Zakona o doprinosu SIZ-u potrošača;
- 4% na iznos računa za investicijska ulaganja na osnovi navedenog SAS-a i Zakona;
- doprinos za prvo angažiranje odnosno povećanje angažirane snage temeljem Zakona o doprinosu.

Osim toga gubici u poslovanju elektroprivrednih organizacija pokriveni su na različite načine, između ostalih i zaobilaznicama, npr. 18% na iznos fakture u zadnjem kvartalu 1986. godine, pa 13% u 1986. god., 14% u 1987. god. na temelju odluke o učešću potrošača u dodatnoj nabavi električne energije itd.

Sve su to krajnje neracionalni postupci i oblici koji rezultiraju s više negativnih posljedica, i to:

- potrošač ne zna kolika je stvarna cijena električne energije niti to znaju stručnjaci koji rade na tim poslovima jer nemaju uvid u sve obveze pojedinog potrošača. Da su sva ta davanja u cijeni, dakle u tarifi, tarifni bi oblik (sezona, snaga, dnevna tarifa, prekomjerno preuzeta jalova energija itd.) imao odjeka među potrošačima i to povećanim interesom da se prilagođavaju elektroenergetskom sistemu;
- razni oblici sakupljanja sredstava za razvoj i pokriće troškova jednostavne reprodukcije multipliciraju troškove evidentiranja i naplate. Cijeli činovnički aparat evidentira, ubire i »usmjerava« spomenuta sredstva, a na kraju se ipak ne zna jesu li potrošači korektno podmirili svoju obvezu, pogotovo kada im ona nije fakturirana;

- potrošač se osjeća manipuliranim i nervozno reagira na sve postupke i zahtjeve za namirivanje sredstava za razvoj ili pokriće troškova elektroprivrede jer... »elektroprivreda opet nešto izmišlja i vara«.

Jedini razložan oblik prikupljanja sredstava za razvoj jest plaćanje novoangažirane ili povećane angažirane snage jer potrošač na taj način direktno plaća dio investicijskih troškova koje je izazvao priključenjem na mrežu odnosno povećanjem angažirane snage.

**2. Relativni odnosi između tarifnih stavova pojedinih kategorija potrošnje moraju odražavati razinu troškova svake od njih i ti odnosi ne mogu biti pod utjecajem socijalne, regionalne ili slične politike.**

Taj važan uvjet određen je prethodnim i ne bi trebao biti spominjan da u našoj praksi nemamo tarifnih anomalija koje gomilaju probleme i obezvređuju sadašnji Tarifni sistem. Vrlo ilustrativan primjer jesu odnosi cijena unutar kategorija na niskom naponu. Kategorija kućanstva ima 30% nižu prosječnu cijenu od kategorija potrošnje »ostali na 0,4 kV« i javne rasvjete. Stoga neprekidno stižu zahtjevi da se u tu kategoriju svrstaju potrošači kao što su prostorije raznih fiskalturnih društava, društvenih i turističkih organizacija i sl. Međutim, tarifno gledano kategorija kućanstva troškovno je na prvom mjestu među svim kategorijama na niskom naponu i njezina tarifa ne bi smjela biti privlačna ni za koga.

U depresiranju cijena kućanstva išlo se tako daleko da je prosječna cijena te kategorije niža od prosječne cijene kategorije potrošača na 10 kV, što je ekonomski i tarifni apsurd. Dugogodišnja politika zaštite standarda stanovništva niskom cijenom električne energije stvorila je čudovišnu filozofiju koju u ime siromašnih propovijedaju drugi, a efekte ubiru bogati. Oni, naime, troše godišnje preko dvadeset puta više električne energije od siromašnih slojeva. Ni za jedan proizvod nije tako grubo zamijenjen red stvari kao što je to slučaj s cijenom električne energije.

Posebno je poglavlje relativnog odnosa između tarifnih stavova kategorije 110 i 35 kV. Oko 12% razlike u tarifnim stavovima između te dvije kategorije stimulira velike potrošače, naročito distributivne organizacije, da nepotrebno grade svoje 110 kV-tne trafostanice jer im se za relativno kratko vrijeme isplate ulaganja u ta postrojenja, a nacionalna je ekonomija na šteti jer se novac razbacuje, a da se pritom ne proizvede nijedan kilovatsat niti kvalitetno riješi prijenosni ili distributivni problem u smislu sigurnije opskrbe električnom energijom. U posljednje smo vrijeme zabilježili tendenciju seljenja potrošača kategorije 10 kV u kategoriju »ostali na 0,4 kV«, sve zbog neshvatljivog zamrzavanja i okovanosti zatečenog stanja kojim nije dopušteno da se u odnosima između kategorija provede proklamiran otarifno načelo. Nadležni organi koji utvrđuju cijenu električne energije sprečavaju svaki pokušaj logičnog ispravka odnosa cijena između kategorija s izlikom jednakog rasta cijena za sve potrošače. Dokad će biti tako, teško je reći, ali tarifni sistem odnosno normalna ekonomija svakako gube i ne postižu nikakav efekt.

**3. Odluka o razini cijena električne energije ne može biti u nadležnosti SIZ-a potrošača, kako je određeno članom 29. odnosno 30. Zakona o elektroprivredi.**

Cijena električne energije momentalno je u nadležnosti SIV-a. Međutim, dosadašnju i indirektno sadašnju razinu cijena zahvaljujemo utopističkom vjerovanju da će organizirani potrošači dopustiti ekonomski realnu razinu cijena električne energije. Nekoliko smo se godina vrtjeli s njima u krugu oko utvrđivanja razine cijena. Za to je vrijeme elektroprivreda posrtala, postala gotovo kronični gubitaš, a niska cijena energije obezvređivala je tarifu i obilno pripomogla neracionalnom trošenju električne energije. Ta je cijena čak poticala razvijanje proizvodnji koje troše velike količine električne energije.

Razinu cijene električne energije mora utvrđivati i donositi kompetentan organ, kompetentan po tome što će razumjeti sve relevantne posljedice svoje odluke i po tome što će odgovarati za svoju odluku. SIZ-ovi to ni u kojem smislu nisu.

#### **4. Tarifni sistem mora biti jednostavan i lako razumljiv širokom krugu potrošača.**

Naravno, ako se nešto ne razumije, ne može biti ni na odgovarajući način primijenjeno. Primjera radi, Tarifni je sistem uveden prije tri godine, a na temelju svakodnevnog kontakta s potrošačima utvrdio sam da golem broj potrošača kategorije kućanstvo ne zna kako da se opredijeli — za jednotarifno ili dvotarifno brojilo. Ili, gotovo svaki drugi potrošač, koji ima uređaj za mjerenje snage, ne zna da se obračunska snaga odnosno postignuto mjesečno vršno opterećenje obračunava samo ako je postignuto u doba više dnevne tarife, uz uvjet da je potrošač osigurao odgovarajuće mjerenje. Postoji još niz nepoznanica u području obračuna prekomjerno preuzete jalove energije i sl.

To su samo primjeri koji govore da ni najjednostavniji tarifni oblik nije razumljiv na prvi pogled. A što bi bilo kad bi bilo više oblika tarife? Zato je potrebno utvrditi i razumjeti postojeće oblike, a onda postupno ići dalje.

#### **5. Nužna je kontinuirana edukacija potrošača svih kategorija, bez obzira na ospeg njihove potrošnje električne energije.**

Elektroprivreda premalo brine o upoznavanju i obrazovanju potrošača s tarifnom ponudom, Općim uvjetima za isporuku električne energije i drugim propisima koji se odnose na električnu energiju i koji direktno pogađaju potrošača, a za elektroprivredu imaju kapitalnu važnost.

Kontakte s potrošačima ostvarujemo pretežno preko šalterskih službi. Ondje sjede slabo plaćeni ljudi i koji ne znaju ni najnužnije o Tarifnom sistemu i drugim elektroprivrednim propisima. Ako se neki potrošač porred šaltera »probije« do kompetentnog čovjeka, tek onda će dobiti neophodne upute, ali je to brojčano zemarivo i nedovoljno. Našim povremenim obraćanjem potrošačima nekom uputom ili kraćim letkom, prilikom slanja uplatnica — završava se posao edukacije. To je sasvim nedovoljno. Nužno je što prije promijeniti odnos s potrošačima i primijeniti sistem koji su uspostavile razvijene zemlje. Njihove upute potrošačima — po načinu i pratećim ilustracijama — napor su više profesija, od stručnjaka za elektroprivredu preko pedagoga i sociologa do karikaturista. To mora biti i naš put. Potrošač mora znati svoja prava i prepoznati svoj interes.

#### **6. Popusti na tarifne stavove, dakle bonifikacija na cijenu električne energije, može se temeljiti samo na načelu *do ut es — dajem da daš*.**

Nikakva proizvodnja, pa ni strateška, ne može dobiti popust na cijenu električne energije ako zauzvrat ne nudi (i stvarno ne realizira) prilagođavanje elektroenergetskom sistemu. Tko ima interes (društvo, neka grana proizvodnje, grane koje se oslanjaju na tu proizvodnju, regija i sl.) da razvija proizvodnju koja troši velike količine električne energije prije toga mora osigurati pokriće razlike u cijeni električne energije ako ta proizvodnja ne može podnijeti realnu ekonomsku cijenu. Dosadašnja praksa državne intervencije — u smislu snižavanja cijena bez odgovarajućeg pokrića — u korist pojedinih potrošača imala je u cijeloj zemlji bar dva negativna efekta. Razvijanje npr. elektrolize aluminijske na tankoj energetskej podlozi u budućnosti stvarati će problem onim tehnologijama koje troše mnogo manje električne energije, a nužne su za razvoj i napredak. Osim toga, elektrolize aluminijske zapale su u tešku ekonomsku situaciju uz izliku i naglasak da je to zbog nepodnošljivo visoke cijene električne energije. Davanje popusta bez pokrića udar je na osnovne tarifne koncepcije.

#### **7. Mjerenje i točnost mjernih uređaja kisik su tarifnog sistema.**

Sve što se prodaje mora se mjeriti točnom vagom, metrom, brojilom, maksigrafom...

Tarifa električne energije sa svoja tri obračunata elementa specifična je, jer se svaki od njih plaća (pri čemu se snaga, ako je postignuta u doba manje dnevne tarife i preuzeta jalova energija uz faktor snage 0,95 ne plaća) i svaki od njih može povećati ili smanjiti fakturu potrošača za potrošenu električnu energiju, a da pritome potrošač ima jednak iznos potrošene električne energije. Ta specifičnost binomne tarife upućuje na potrebu preciznog mjerenja odnosno registracije događaja pri isporuci električne energije. Tako cjelovitog mjerenja pri 1/3 ukupne potrošnje nemamo. Osim toga, neki uređaji koji bi morali biti osnova za određeno prilagođavanje potrošača nisu precizni. Takvi su npr. uklopni satovi za ukopčavanje dnevne tarife koji idu naprijed ili kasne, slično lošoj budilici. Kako uz sve to nije moguće pratiti udio potrošača u peglanju dnevnog diagrama, jasno je koliko se u ocjeni djelovanja tog tarifnog elementa gubi.

Na tu se temu može izreći niz manjkavosti koje izravno ometaju kvalitetno djelovanje Tarifnog sistema, pa se mora konstatirati da su svi surogati pravog mjerenja — paušali, procjene, periodična mjerenja i drugi — zbunjujuće i štetne »zaobilaznice« i zato, kad ih ima, — a ima ih, moraju biti privremeni i brzo zaboravljeni.

#### **8. Tarifna načela nikad i ni u jednom slučaju ne mogu biti predmet špekulacije elektroprivrede radi ostvarenja većeg prihoda ili sličnih razloga.**

Dosada je bilo više primjera takve špekulacije, a iznijet ću dva karakteristična. Prije desetak godina slavodobitno je produženo vrijeme trajanja više sezone sa četiri na šest mjeseci. Razlog: nije mogla biti povećana cijena, pa je produžetak sezone došao kao »poboljšanje« Tarifnog sistema! Sličnom je špekulacijom prije nekoliko godina produženo trajanje više sezone i u doba niže se-



zone, pa su to isto neki »dobronamjernici« htjeli učiniti i ove godine! To su radnje koje ocrnjuju Tarifni sistem i u očima javnosti teško kompromitiraju.

Nažalost, ni mnogim elektroprivrednicima nije jasno da se dobro djelovanje Tarifnog sistema očituje u snižavanju prihoda od prodaje električne energije, ali i troškova — naročito investicijskih, čiji efekt pokriva ne samo dio umanjenog prihoda, nego pokazuje i bitan pozitivni rezultat.

**9. Za efikasno provođenje tarifnog sistema moraju biti jednako materijalno zainteresirane obje djelatnosti — i distributivna i proizvodno-prijenosna.**

Efekte djelovanja Tarifnog sistema dosada nisu izmjereni, čak ni procijenjeni, ali je poznato — bez obzira na visinu tih efekata — da se oni znatnije ostvaruju u sferi proizvodnje i prijenosa. Stoga povremeno nema dovoljnog odjeka u ostvarivanju odredbi Tarifnog sistema u distribuciji, što je i razumljivo. Naime, distribucija podnosi najveći teret umanjenog prihoda, a sav taj dio ne pokrije efektima postignutim smanjenjem troškova.

Ako želimo brže i kvalitetnije naprijed, moramo što prije naći modus kojim će se distribuciji osigurati jednaki efekti kao proizvodno-prijenosnoj djelatnosti.

**10. Nužno je stalno pratiti i analizirati tarifni sistem, kako u cjelini, tako i svaki tarifni oblik posebno.**

Nije ništa tako dobro da se ne može mijenjati i poboljšati. Izmjena nabolje može i mora biti posljedica stručne i kvalitetne analize djelovanja postojećega Tarifnog sistema. Ukratko, potrebni su dokazi. Danas se to pretežno radi na temelju slučajnog uzorka ili praćenjem statističkih podataka — zapravo bez pravog pristupa. Primjera radi, mi ne znamo što je ove zime utjecalo na

potrošnju, smanjeno ili povećano grijanje (za blage zime ponekad se troši više električne energije jer se veći broj potrošača uključuje radi »prigrijavanja«), ili sada već respektirajuće razine tarifnih stavova više sezone, ili... itd.

Što je s jalovom energijom? Ugrađuju li se baterije za kompenzaciju jalove snage ili se poboljšava faktor snage koji prema Općim uvjetima, kod novog potrošača, u vezi s režimom trošenja električne energije, ne može biti niži od 0,9?

Sve ovo, i mnogo drugih činjenica, treba biti razlog da se pri jednome od elektroprivrednih instituta u zemlji formira grupa za praćenje svih tarifnih sistema republika i pokrajina i predloži njihovo poboljšanje. Grupa od desetak dobrih stručnjaka učinila bi veliki pomak.

Zasada o stvarnim efektima utjecaja Tarifnog sistema gotovo ništa ne znamo.

**NOVAK:** Kad je riječ o širokoj potrošnji, trebalo bi bezuvjetno riješiti paritetni odnos raznih energenata, što je zadatak ekonomske politike države. U vezi s tarifnim sistemom, potrebno je korigirati današnju negaciju dvotarifnog sistema proisteklu iz činjenice da tarifni stav potrošača s jednotarifnim brojilima iznosi samo 80% stava više tarife za potrošače s dvotarifnim brojilom. Postavlja se, također, pitanje eventualne niže tarife nedjeljom.

**JURIČIĆ:** Mi u Hrvatskoj imamo TS samo za električnu energiju, a ne i za plin. Naša je osnovna postavka da energiju treba trošiti u primarnom obliku, a ne pretvarati je u električnu, pa nju isporučiti potrošaču. Smatra-

mo, naime, da je energetski opravdanije grijati stan plinom nego ga koristiti kao gorivo u elektranama da bi se stanovi grijali električnom energijom.

Postoji mišljenje da bi se za male potrošače električne energije, npr. s mjesečnim potroškom 40–50 kWh, mogla uvesti specijalna tarifa koja ne bi uključivala uplatu doprinosa za snagu, a to bi moglo utjecati i na racionalniju potrošnju tih potrošača.

**ŠICEL:** Tarifni sistem jugoslavenske elektroprivrede usvojen 1985. godine uz obračunatu energiju predviđa i doprinos za angažiranu snagu u kućanstvima. Danas se potrošena električna energija precizno mjeri, a angažirana se snaga određuje vrlo neprecizno, mahom paušalno. Upotreba limitatora mogla bi promijeniti to stanje u korist potrošača i distribucije.

U tom bi slučaju potrošač plaćao snagu koju stvarno angažira, a ne neku prosječnu pretpostavljenu. U slučaju preopterećenja potrošač nakon smanjenja potrošnje može sam ponovno uključiti sklopku.

I elektroprivreda odnosno distribucija također bi imala korist jer bi se »peglala vršna opterećenja« u dnevnom dijagramu opterećenja, a platili bi upravo oni potrošači koji to vršno opterećenje i stvaraju.

Na taj bi se način postigla pravednija raspodjela pri alimentaciji troškova od potrošača koji stvarno troše, a ne bi se stvarala neka lažna solidarnost među potrošačima. Nakon usvajanja proizvodnje limitatora i stvaranja uvjeta da se oni nabave za domaće tržište, trebalo bi u Tarifnom sistemu odnosno u Općim dobavnim uvjetima stvoriti pretpostavku za obaveznu ugradnju limitatora u nove stanove i kuće, a stimulirati ugradnju u postojeće stanove, i to utvrđivanjem odgovarajućeg raspona tarifnih stavova za limitiranu potrošnju u ovisnosti o ugovorenem opterećenju.

Elektroprivreda Hrvatske (ZEOH) kontaktirala je s nizom potencijalnih proizvođača limitatora i može se reći da postoji njihov interes i gledanje na tu problematiku. Naime, postoje sasvim jednostavna, ali i složena rješenja, uz mogućnost grupiranja potrošnje. Dok se jedni baziraju na mjerenju struje, drugi se baziraju na mjerenju struje i napona, što naravno, povisuje njihovu cijenu. Na elektroprivredi je da se odluči.

**CVETKOVIĆ:** Ako se odlučimo za limitatore, oni moraju biti jednostavni i jeftini.

**JELIĆ:** Danas nema gradnje izvora električne energije jeftinijeg od 2 000 000 američkih dolara po MW, što je dovoljno težak podatak da dalje ne mislimo. Postoje, međutim, stanoviti pokazatelji o potrošnji električne energije koji upozoravaju na opću nesuvislost ekonomskog sistema. Naprimjer, faktor porasta potrošnje električne energije posljednjih deset godina iznosi 1,7, a istodobno faktor porasta nacionalnog dohotka (BNP) stagnira na 1.

Kad je riječ o tarifnom sistemu, a naročito o širokoj potrošnji, prisutna su dva momenta koja otežavaju rješenje. To je manjak bilo kakve stimulacije elektroprivrede, s jedne strane, i društveno-ekonomski odnosi unutar elektroprivrede, s druge strane.

Stav RSIZ-a potrošača o pitanju limitatora je pozitivan, ali s tim da ih ne treba ugrađivati ako se to ne može postići sveobuhvatno, tj. u našem slučaju za približno svih 1 700 000 potrošača. U protivnome je realnije, bar u prijelaznom razdoblju, pribjeći blok-tarifi.

**PEKO:** Gotovo se svakodnevno u sredstvima javnog informiranja pojavljuju zahtjevi, a postavljena su i zastupnička pitanja u Saboru SRH, za izmjenama Tarifnog sistema za prodaju električne energije. Naime, zahtjeva se da se pravednije regulira udio iznosa za snagu u ukupnoj cijeni električne energije jer postojeće odredbe u Tarifnom sistemu bitno ugrožavaju tzv. male potrošače, tj. potrošače koji godišnje troše od 100 kWh do 500 kWh.

Da bismo mogli stvoriti predodžbu i ocijeniti opravdanost zahtjeva, u donjoj je tablici valorizirana potrošnja navedenih potrošača s važećim tarifnim stavovima u višoj i nižoj sezoni, uvećana za 15% doprinosa RSIZ-u potrošača električne energije.

Potrošnja (kWh/god.)	Godišnji dinarski iznos 1 × tarif. stav	Dinarski iznos za godišnju snagu	Ukupno 2 + 3	Mjesečni dinarski iznos kol. 4 : 12
1	2	3	4	5
100	7 960	53 562	61 522	5 127
200	15 920	53 562	69 482	5 790
300	23 880	53 562	77 442	6 454
400	31 840	53 562	85 402	7 117
500	39 800	53 562	93 362	7 780

Za kolonu 3 odnosno 5 tablice mislim da nije potreban komentar, a čitatelju ostavljam da sa usporedi iznose navedenih dviju kolona sa cijenom bilo kojeg proizvoda i osobnim dohotkom, pa da zaključi koliko bilo kakve izmjene Tarifnog sistema mogu bitno utjecati na standard odnosno »socijalni« moment potrošača s malom potrošnjom električne energije.

Slažem se s tim da bi trebalo pravednije regulirati pitanje učešća snage u ukupnoj cijeni svih potrošača na niskom naponu u kojih se ne mjeri snaga, ali pritom trebamo imati na umu da potrošači s malom potrošnjom bitno utječu na opterećenje sistema (uključivanje prijenosnih grijalica u prostorijama za velikih hladnoća kao dodatno grijanje, a u primorskom pojasu i za kratkotrajnih zahlađenja), i to bez obzira na vrijeme više ili niže tarife jer se utrošena energija tih potrošača registriira preko jednotarifnih brojila. Stoga zahtjevi za uvođenjem tzv. proste blok-tarife također ne bi pravedno riješili pitanje učešća snage u cijeni.

Ako se i teži uvođenju »blok«-tarife, na osnovi čl. 21. Tarifnog sistema pri izradi takvog prijedloga, trebalo bi uzeti u obzir stalne i varijabilne troškove, prema kojima bi se formirala konačna cijena kWh. Zato kao jedino pravedno rješenje ostaje ugradnja instrumenata za mjerenje snage svih potrošača.

Iz svega toga slijedi da nikakve promjene Tarifnog sistema radi pravednijeg učešća snage u cijeni električne energije neće bitno utjecati na standard odnosno socijalni status potrošača s malom potrošnjom, a još manje potrošača s potrošnjom od 2 000 do 5 000 kWh godišnje, koji su i najugroženiji jer su to većinom radnici u gradovima. Dakle, konačno možemo zaključiti da se iz-

mjenama Tarifnog sistema za prodaju električne energije neće riješiti socijalni problemi, pa su takvi zahtjevi neargumentirani i neopravdani. Ne bi trebalo stalno zahtijevati izmjene (što ne znači da Tarifni sistem ne treba doradivati) i bezrazložno uznemiravati građanstvo odnosno potrošače i time izazivati probleme i nepovjerenje potrošača u elektroprivredu.

**RADULOVIĆ:** Svako mjerenje snage točnije je od paušala i znači korektniji pristup potrošaču. Savezni zavod za mjerenje i dragocjene metale voljan je pristati i na veća odstupanja, do približno 10%, kad je riječ o limitatorima. Možda bi za limitatore trebalo uvesti gradaciju točnosti ovisnu o veličini potrošača.

**PAPRIĆ:** Paušal je loš, ali ga ne treba mijenjati dok nismo sigurni što želimo umjesto njega. Limitator ima manu da limitira potrošnju u svakom momentu, tj. i u doba male potrošnje, kad je povećanje potrošnje u interesu sistema.

Pravo bi rješenje bilo limitator samo za prvu tarifu, i to jeftini limitator. Znači, to vodi upravljanju pomoću MTK-prijemnika.

**MANDIĆ:** U posljednje se vrijeme sve češće postavljaju pitanja problematike o kojoj danas želimo raspravljati. Većina pitanja u javnosti odnose se na nivo cijena električne energije i na način obračuna snage — osnovnog doprinosa za potrošače kućanstva, iako je tarifna problematika mnogo šira.

Ovog bih puta nešto rekao samo o problemu koji se rješava tarifnim sistemom i tarifnom politikom. To je pitanje koliko je postojeći način obračunavanja snage — osnovnog doprinosa »pravedan« prema potrošačima električne energije u kućanstvima. U javnosti se stvara dosta nepovoljna klima o tom problemu, a ona se sve jače očituje kada se nivoom cijena električne energije nastoji osigurati reproduktivna sposobnost elektroprivrede.

U cijelom sklopu informacija o toj temi bila je informacija, pa i optužba, s najvišeg nivoa da čak pogrešno računavamo osnovni doprinos potrošačima kućanstva. Bilo je i nekoliko ustavnih sporova o opravdanosti naplaćivanja osnovnog doprinosa, ali Ustavni sud nije našao opravdanosti za pokretanje postupka za ukidanje takvog načina naplaćivanja dijela cijene električne energije. Na visinu osnovnog doprinosa naročito često prigovaraju potrošači vlasnici vikend-kuća ili stanova u kojima ne stanuju.

U osnovnim principima tarifnog sistema donesenim na nivou Jugoslavije i u Tarifnom sistemu donesenom na nivou SRH predviđeno je da osnovni doprinos za obračunsku snagu za kategoriju potrošnje iznosi 25% prosječne prodajne cijene električne energije. Budući da potrošači kućanstva nemaju uređaje kojima bi se mjerila snaga osnovni doprinos za snagu, od svih se potrošača električne energije naplaćuje jednak iznos.

Ako bismo htjeli izbjeći naplaćivanje osnovnog doprinosa i postići jednak prihod, cijene radne energije trebalo bi povećati za 33%. U tom bi slučaju izdaci za potrošenu električnu energiju porasli onim potrošačima koji troše veće količine električne energije, a smanjili se

onima koji troše manje. Neki smatraju da bi bilo najpravednije da se plaća samo ono što brojilo registrira. Međutim, činjenica je da i unatoč ubiranju jednog dijela cijene u obliku osnovnog doprinosa po brojilu, ekonomski loše stoje one distributivne organizacije udruženog rada koje imaju nisku potrošnju po potrošaču. Ako bi se, pak, i dio osnovnog doprinosa naplaćivao po potrošenim kWh, organizacije koje imaju nisku potrošnju došle bi u još lošiji ekonomski položaj. Te bi organizacije mogle doći u bolji položaj uz primjenu jednakih cijena za područje cijele Hrvatske (propisanu Zakonom o elektroprivredi) samo kad bi se udio osnovnog doprinosa u cijeni povećao i iznosio više nego sada.

Postavlja se pitanje zašto se uopće primjenjuju tarifni stavovi po naponskim nivoima i sezonama, po dobu dana, zašto postoji dvojna tarifa za snagu i za radnu i jalovu energiju. Samo zbog jednog jedinog razloga: da troškove proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije snosi potrošač ili kategorija potrošača koja ih svojim načinom trošenja i uzrokuje. Idealno bi bilo da se za svakog potrošača utvrdi cijena električne energije, što je apsurdno.

Stoga se prišlo razumnijem tarifiranju, pri čemu tarifni stavovi ovise o naponskom nivou, sezoni, dobu dana, namjeni potrošnje, i to posebno za snagu, a posebno za radnu i jalovu energiju.

Isti razlozi vrijede za potrošače kućanstava. Momentalno je najaktualnije pitanje naplaćuju li se osnovni doprinos za obračunsku snagu za potrošače kućanstva pravedno ili bi se mogao naći bolji način. To se pitanje postavlja dvojako: prvo, tom elementu tarife treba dati socijalnu notu, i, drugo, ovaj element tarife treba utvrditi tako da zadovolji osnovno načelo koje smo spomenuli: da potrošač elektroprivredi plati troškove koje stvori svojim radom.

O prvom zahtjevu ne mislim govoriti jer smatram da to ne može biti problem tarifne politike jer je tarifa ekonomsko-energetska kategorija.

Ako je osnovni smisao dvojne tarife da se fiksni troškovi od potrošača naplaćuju prema tarifnom stavu za snagu, a varijabilni troškovi prema tarifnom stavu za energiju, iznos fiksnih troškova bio bi mnogo veći od 25%, koliko je sada predviđeno tarifnim sistemom da se naplaćuje u obliku osnovnog doprinosa za snagu za potrošače kućanstava. Da se prema tarifnom stavu za snagu naplaćuju svi fiksni troškovi, sigurno bi bilo nerealno taj iznos naplaćivati od svih potrošača u jednakom iznosu.

Međutim, činjenica je da u distribuciji postoji dio troškova koji je za svakog potrošača jednak bez obzira na to koliko potroši radne energije. To se naročito odnosi na troškove tzv. prodajne režije (očitanje, obračun, naplata, baždarenje i održavanje brojila). U distributivnim organizacijama, u kojima su ti poslovi izdvojeni u posebne organizacijske cjeline, ti se troškovi raspoređuju na organizacije za koje obavljaju te poslove, ovisno o broju potrošača kao najpravednijem ključu raspodjele tih troškova, jer su oni proporcionalni broju potrošača. Osim toga, svi potrošači koji troše male količine radne energije, obično tu energiju troše samo za rasvjetu prostorija, a ona je uvijek potrošena u »špicima« sistema (između 17 i 21 sat).

Ako smatramo opravdanim da svi potrošači u fiksnom dijelu trebaju platiti troškove prodajne režije i barem 60% fiksnih troškova proizvodno prijenosnih postrojenja, premda podacima Elektre proistjeće da bi svaki potrošač za fiksne troškove, tj. u fiksnom iznosu osnovnog doprinosa morao platiti najmanje 50% cijene osnovnog doprinosa koju sada plaća.

Osim tih troškova, postoje i drugi troškovi distribucije koji su fiksni. To su troškovi održavanja mreže, koji su djelomično fiksni i ostvaruju se i onda kada potrošač troši minimalne količine električne energije.

Činjenica da sve distributivne organizacije koje nakon podmirjenja nabave električne energije imaju lošiji ekonomski položaj ako im potrošači troše male količine električne energije govori u prilog tome da je fiksni dio troškova po potrošaču za održavanje mreže veći od 50%, ako smo pretpostavili da je 50% sadašnjega osnovnog doprinosa potrebno za namirenje troškova prodajne režije.

Obično se prigovara da je neodrživa praksa da jednake troškove plaćaju i oni koji **angažiraju**, troše velike količine električne energije, i oni koji troše minimalne količine, a neprihvatljiva je tvrdnja da su im fiksni troškovi jednaki. Međutim, ti potrošači u relativno visokoj cijeni kWh za radnu energiju praktički plaćaju i dio fiksnih troškova i što je potrošnja veća, veći se dio te cijene odnosi na fiksne troškove.

Istina, takav način obračuna sve više približava potrošače prosječnoj cijeni. Smatram da je isto kad neku potrošnju dijelite na 100 ili bilo kako sati, jer to opet vodi uprosječivanju, a obračun se samo komplicira.

U svakom slučaju, najidealnije bi bilo da se mjeri snaga i energija svakog potrošača. Neki smatraju da su limitatori najbolje rješenje za to.

Smatram da je mjerna tehnika toliko napredovala, ili će u bliskoj budućnosti napredovati, da bi tako grube mjerače kao što su limitatori bilo deplasirano propagirati na kraju 20. stoljeća. Treba nam nešto za 21. stoljeće.

Osim tog problema, smatram da bi bilo zanimljivo čuti i mišljenje o sezonskim tarifnim stavovima i odnosima među tarifnim stavovima naponskih nivoa.

Sigurno je razlika tarifnih stavova na 110 kV i 35 kV ne-realno velika i stimulira distribuciju na preuranjenu gradnju novih transformatorskih stanica.

U vezi s prijedlogom da se za nedjelju uvede niža tarifa, valja reći da velik dio potrošača, npr. onih u južnom Zagrebu, ima vršno opterećenje baš nedjeljom prijedodne, pa uz vikend-tarifu ne bi mogli vrijediti sadašnji prosjeci.

**NOVAK:** Dok na tržištu ne bude limitatora, treba ukinuti član 37. i 41. TS-a.

**RINGWALD:** Evidentno je da Tarifni sistem nije zadovoljio zahtjev svoj člana 1. u kojemu, između ostaloga, stoji... da se stimulira racionalizacija potrošnje električne energije...«.

Pitanje racionalizacije potrošnje električne energije vrlo je važno pitanje, pogotovo za sistem u kojemu nedostaje energije. Racionalizacijom potrošnje možemo brže i jeftinije postići efekte nego izgradnjom objekata (naravno, gradnja objekata se ne isključuje).

Uloga tarifnog sistema je davanje odnosa cijena, a pitanje ukupnog prihoda elektroprivrede treba rješavati nivoom cijene električne energije. U našem smo tarifnom sistemu poremetili odnose, i to je ključ često neracionalnog ponašanja. Odnos prosječno ostvarenih cijena električne energije različitih potrošača u odnosu prema naponskom nivou, veličini angažirane snage i količini potrošene energije u svih 14 promatranih zemalja Zapadne Evrope i Južne Amerike uvijek ima jednak trend, osim u ZEOH-ovih potrošača. Naši potrošači karakteristika 10 000 kW, 1900 h/god., 10 (20) kV i 25 000 kW, 1 900 h/god kV troše, valjda najskuplju električnu energiju u svijetu.

Ali nije samo problem u Tarifnom sistemu. Ni ostali uvjeti za racionalizaciju potrošnje električne energije u društvu nisu ispunjeni. Za ilustraciju bih naveo primjer vodovoda u jednom našem gradu. Njegovi pogoni rade s lošim faktorom snage, ali im ne pada na pamet da je kompenziraju. Zašto?

Pa općina im nadoknađuje troškove za električnu energiju. Instaliranjem uređaja za kompenzaciju, kažu u vodovodu, samo bi se opteretili problemima i radnim zadacima, bez ikakva efekta za vodovod, jer će im općina i ubuduće pokrivati troškove električne energije koji bi tada, doduše, bili manji, ali bi njima ostalo postrojenje o kojemu bi morali brinuti bez ikakve koristi.

Istodobno je naš elektroenergetski sistem opterećen javlovom energijom, o čemu su, uostalom, već govorili sudionici prije mene.

Mislim da je kadrovska struktura naše privrede također jedna od prepreka racionalizaciji potrošnje. Na ovom je skupu spomenuta proizvodnja aluminijska kao djelatnost u kojoj se troše velike količine energije.

U procesu proizvodnje primarnog aluminijska zaposleno je oko 950 radnika, od kojih manje od 20 ima visokoškolsku naobrazbu. Radna organizacija s takvom kadrovskom strukturom može proizvesti samo proizvod u kojemu je mnogo sirovine i energije, ona ne može dati proizvod visoke tehnologije. Bez obzira na veliku specifičnu potrošnju energije, rješenje energetske problema SR Hrvatske nije u odustajanju od usvojene proizvodnje, na koju se, uostalom, nadovezuje prerada metala sve do finalnih proizvoda, nego ponajprije u racionalizaciji ukupne potrošnje.

Sve dok se izradi Tarifnog sistema bude prilazilo s pozicije »samo ne dirajte ukupni prihod«, on nas, sa stajališta racionalne primjene, neće zadovoljavati. Problemi koji bi se javili u pojedinim OOUR-ima uvođenjem limitatora i nekih drugih promjena u tarifnom sistemu upozoravaju na to da možda ni sadašnja organizacija elektroprivrede nije primjerena osnovnom zahtjevu svakog potrošača da dobije dovoljno energije po najnižoj mogućoj cijeni.

Nedostaju nam sredstva za razvoj. Ne vidim dovoljno valjanih razloga niti mi je jasno čiji standard štitimo ako npr. za novoangažiranu snagu naplaćujemo za red veličine manji iznos od cijene koštanja jedinice snage u novoizgrađenom proizvodnom objektu. Tako dolazimo u situaciji da je npr. priključak telefona oko triput skuplji od priključka trosobnog stana na distributivnu mrežu.



Izgleda da mi kao društvo još nismo spremni prihvatiti i platiti pravu cijenu za sve, uključujući i pravu cijenu rada.

I još nešto vezano za korištenje podataka o prosječnoj ostvarenoj cijeni kWh. U tome griješimo ako tvrdimo da je energije jeftina onome tko ostvari nižu prosječnu cijenu. Mislím da nema te sile koja bi me natjerala da potrošim pola osobnog dohotka električnu energiju samo zato što će mi prosječna ostvarena cijena kWh tada biti niža!

**CVETKOVIĆ:** Ima nekih činjenica kojima treba pogledati u oči. Znamo da je Jugoslavija relativno šestput siromašnija energetske izvora od svjetskog projekta, a Hrvatska triputa od Jugoslavije. Sigurno je da u tim uvjetima svaku energetske intenzivnu potrošnju treba dobro odvagati da u finalnoj proizvodi ne bismo poklanjali električnu energiju.

Druga je činjenica da elektroprivreda proizvodi robu, tj. kilovatsate. Treba nastojati da cijena te robe bude minimalna, no pritom se ne može istodobno zahtijevati da se cijenom električne energije pokriva dio troškova industrije, dio troškova široke potrošnje, a da se uz to dotira vodoprivreda, poljoprivreda, društveno-političke zajednice i sl.

Evo što se događa u Evropi. U zemljama EEZ-a će se 1992. godine ukinuti carinske prepreke, uključivši i one za električnu energiju. I među njima ima zemalja koje u cijeni električne energije provode stanovite korekcije u korist nekih specijalnih potrošača. I baš se u tim zemljama već danas javlja masovna tendencija potrošača da se uveze jeftinija energija od susjeda, da ne bi izgubili konkurentnu sposobnost na zajedničkom tržištu. Mi se također spremamo na znatniji izlazak na to tržište, pa već danas moramo paziti na slične probleme, jer električna energija postaje roba u punom smislu riječi.

**ŽUPANOVIĆ:** Osnovni kriterij za utvrđivanje nivoa cijene po pojedinim kategorijama potrošnje jesu ukupni troškovi električne energije koji nastaju do mjesta prodaje električne energije potrošačima (član 21, stav prvi Tarifnog sistema). Zadovoljava li važeći Tarifni sistem taj kriterij?

Činjenica koja se čula i na ovom okruglom stolu jest to da sistematsko praćenje ostvarivanja (primjene) Tarifnog sistema nitko ne provodi pa je nemoguće točno odgovoriti zadovoljava li postojeći Tarifni sistem osnovni kriterij člana 21.

Analiza koju smo proveli zahvaljujući podacima dobivenim od RO »Elektrodalmacije« Split kaže nam da je relativni odnos najveće prosječno ostvarene godišnje cijene za kategoriju potrošnje u odnosu prema ostvarenoj cijeni u Tvornici aluminija Ražine iznosio:

	1979. god.	1986. god.
OOOR »Distribucija« Split	5,59	2,57
OOOR »Elektrojug« Dubrovnik	5,49	2,38
OOOR »Elektra« Šibenik	5,54	2,33

Vidljivo je da u svim kategorijama potrošnje nastoje znatan pad relativnog odnosa cijena ostvarenih u usporedbi s aluminijem.

Ta činjenica neizbježno nameće ova pitanja:

- Što je realno?
- Hoćemo li, nastavi li se takva tendencija, svi plaćati istu cijenu kWh?
- Koji relativni odnosi zadovoljavaju osnovni kriterij člana 21. Tarifnog sistema?
- Je li točna prisutna krilatica »Svi plaćamo veću cijenu električne energije zato što aluminij plaća malu«?

Na ta i mnoga druga pitanja pokušajmo odgovoriti stručno i bez emocija, uz prethodnu svestranu analizu postojećeg Tarifnog sistema, za što je već odavno postavljen zahtjev.

U analizi Tarifnog sistema potrudimo se da uočimo i svjetska iskustva u sistemu tarifa.

U posljednje se vrijeme zbog poznate činjenice koliko je SR Hrvatska siromašna energijom u odnosu prema Jugoslaviji i svijetu javljaju ideje o zatvaranju elektrolize u Šibeniku.

Točno je da bi zatvaranje donijelo 145 MW i 1 200 GWh godišnje, ali budimo strpljivi i hrabri pa realno ocijenimo što taj šibenski aluminij (i aluminij ostalih proizvođača) donosi Šibeniku, Hrvatskoj, Jugoslaviji, to više što se u SR Sloveniji puštaju u pogon novi kapaciteti elektrolize od 35 000 t (u planu je još 35 000 t), a do daljnjega neće zatvarati stare kapacitete (50 000 t) dok mi razmišljamo o zatvaranju elektrolize u Šibeniku.

**JURIČIĆ:** Službeno mišljenje je da aluminij u ovoj republici može opstati samo dok cijena električne energije ne prelazi 30% troškova proizvodnje.

**CVETKOVIĆ:** Na kraju, što reći o pouci današnje diskusije? Naš se tarifni sistem bazira na istim principima kao i u većini ostalih zemalja, bez obzira na to što svatko ima svoje specifičnosti. Međutim, postoji mnogo bitnih detalja koje bi u tom TS-u, kao i u načinu definiranja cijene valjalo mijenjati. Pritome bi bilo korisno da se promjene ne rade »ad hoc«, već u hodu, kao rezultat stalnog praćenja efekta Tarifnog sistema od grupe stručnjaka. Javnost je u posljednje vrijeme naročito osjetljiva na paušalnu naplatu doprinosa na snagu, i to naročito na snagu tzv. malih potrošača u kućanstvima, iako neke zemlje, kao npr. SR Njemačka, već 50 godina imaju takvu praksu i ne mijenjaju je.

Prihvatljivo su rješenje limitatori, no i oni imaju nedostatka. Osnovni uvjet njihove primjene je svakako sveobuhvatnost potrošača i jeftina izvedba. Dok ih nema, ne treba ih ni uključivati u tarifni sistem. Dirigirina je potrošnja bolje rješenje, ali zahtjeva odgovarajuće instalacije.

Smatra se da socijalna tarifa nije rješenje jer ne rješava socijalni problem, a tzv. mali potrošači, uključivši vlasnike vikendica, uzrokuju neproporcionalna visoke troškove. Ima i mišljenja da bi ukidanje naplate za snagu za neke potrošače moglo djelovati i stimulatívno. U svakom slučaju, pri konačnoj odluci ne bi trebalo biti odlučujuća neracionalna organizacija distribucije.

Nasuprot tome, specijalni potrošači misle da je cijena energije previsoka na štetu preniske naplate snage. Oni se zalažu da se bez emocija priđe analizi i korekciji TS-a.

Svakako je potrebno korigirati današnje diferenciranje cijena prema naponskom nivou da bi se spriječila nelo- gična »seljenja« potrošača, naročito preuranjene inves- ticije u transformatorske stanice 110/x kV.

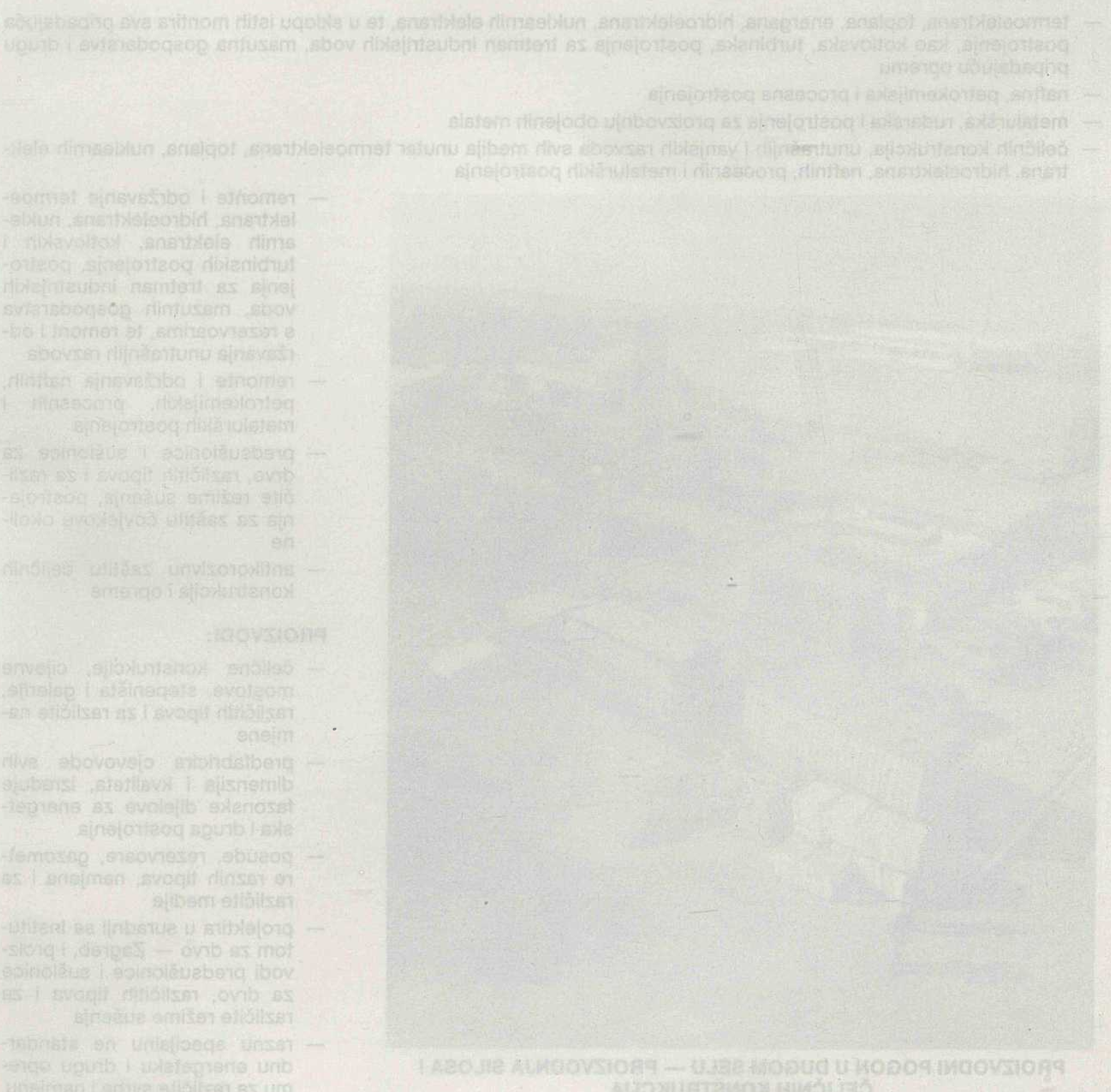
Konačno, nužno je korigirati tarifni stav za potrošače s jednotarifnim brojlilima, bar na iznos 90% višega tarif- nog stava potrošače s dvotarifnim brojlilima.

Općenito, veću bi pažnju trebalo obratiti stalnoj eduka- ciji potrošača.

Na kraju zahvaljujem svim sudionicima na aktivnoj su- radnji.

Komercijalni sektor 214-380  
 Tehnički sektor 218-758  
 Finansijski sektor 218-473  
 Telex: 21473 Mont yu

Priloga 13000  
 Dardanja B/4 pl 277  
 Telefon: 038/42-300  
 -INGRA-MONTING-  
 DÜSSELDORF  
 Telefon: 21184788  
 Telex: 17214880  
 -MONTING-ZAGREB  
 PRAG  
 Telefon: 287223, 282018  
 Telex: 122085





# SOUR **MONTING** RO ENERGETIKA ZAGREB

## Predstavništva:

**MONTING RO ENERGETIKA**  
**38000 PRIŠTINA**

Dardanija 9/a pt 277  
Telefon: 038/42-900

»INGRA-MONTING«  
**DÜSSELDORF**

Telefon: 21184788  
Telex: 172114560

»MONTING«-ZAGREB  
**PRAG**

Telefon: 297223; 292918  
Telex: 122065

## VRŠI IZGRADNJU I MONTAŽU:

- termoelektrana, toplana, energana, hidroelektrana, nuklearnih elektrana, te u sklopu istih montira sva pripadajuća postrojenja, kao kotlovska, turbinska, postrojenja za tretman industrijskih voda, mazutna gospodarstva i drugu pripadajuću opremu
- naftna, petrokemijska i procesna postrojenja
- metalurška, rudarska i postrojenja za proizvodnju obojenih metala
- čeličnih konstrukcija, unutrašnjih i vanjskih razvoda svih medija unutar termoelektrana, toplana, nuklearnih elektrana, hidroelektrana, naftnih, procesnih i metalurških postrojenja



**PROIZVODNI POGON U DUGOM SELU — PROIZVODNJA SILOSA I ČELIČNIH KONSTRUKCIJA**

## RO ZA IZGRADNJU I MONTAŽU OBJEKATA I ENERGETSKIH POSTROJENJA

41000 ZAGREB, Kesterčankova 1

## Telefoni:

Centrala	041/217-700
Direktor	222-499
Komercijalni sektor	214-960
Tehnički sektor	218-798
Financijski sektor	218-479
Telex	21473 Mont yu

- remonte i održavanje termoelektrana, hidroelektrana, nuklearnih elektrana, kotlovskih i turbinskih postrojenja, postrojenja za tretman industrijskih voda, mazutnih gospodarstva s rezervoarima, te remont i održavanja unutrašnjih razvoda
- remonte i održavanja naftnih, petrokemijskih, procesnih i metalurških postrojenja
- predsušionice i sušionice za drvo, različitih tipova i za različite režime sušenja, postrojenja za zaštitu čovjekove okoline
- antikorozivnu zaštitu čeličnih konstrukcija i opreme

## PROIZVODI:

- čelične konstrukcije, cijevne mostove, stepeništa i galerije, različitih tipova i za različite namjene
- predfabricira cjevovode svih dimenzija i kvaliteta, izrađuje fazonske dijelove za energetska i druga postrojenja
- posude, rezervoare, gazometre raznih tipova, namjena i za različite medije
- projektira u suradnji sa Institutom za drvo — Zagreb, i proizvodi predsušionice i sušionice za drvo, različitih tipova i za različite režime sušenja
- raznu specijalnu ne standardnu energetska i drugu opremu za različite svrhe i namjenu

# OTOK TRI MILJE I ČERNOBIL

## Analiza okolnosti koje su dovele do akcidenta i kronologija događaja

Vladimir Vuković, Zagreb

UDK 621.039.58:094.7/8

PREGLEDNI RAD

Prikaz razvoja kvarova na nuklearnim elektranama Otok tri milje i Černobil. Sekvencije razvoja kvarova opisane su detaljno, uključivši i akcije operatora, i ponašanje postrojenja i zajedničkih sistema.

**Ključne riječi:** nuklearna sigurnost, nuklearni akcidenti.

### 1. OKOLNOSTI I RAZVOJ DOGAĐAJA KOJI SU DOVELI DO AKCIDENATA

#### 1.1. Reaktor TMI-2

Malo prije 4 sata ujutro kritičnog dana reaktor je radio snagom 97%. Postojao je manji problem s propuštanjem hladila na jednome ili više ventila tlačnika, ali u granicama propisa, pa je ocijenjeno da cijeli reaktorski optočni sistem radi u normalnim tlačnim i temperaturnim uvjetima. Zbog propuštanja ventila tlačnika temperatura cjevovoda prema ispusnoj posudi bila je malo povišena. Samo za sebe to nije imalo bitno značenje u iniciranju akcidenta, ali je kasnije, kada se u akcidentu istjecanje hladila povećalo, pridonijelo pogrešnom zaključivanju.

Drugi problem koji je također imao manje značenje u akcidentu jest činjenica da operateri nisu bili svjesni da su zatvorena dva izolacijska ventila (sl. 1) preko kojih se posebnim pumpama napajaju generatori pare u slučaju nužde. Na taj način prvih osam minuta tranzijenta generatori pare nisu dobivali vodu za hlađenje iz vanjskog izvora.

Treći je problem zapravo izazvao akcident. Naime, malo više od 11 sati prije akcidenta predradnik je s pomoćnim operaterima pokušavao prebaciti istrošenu ionsku masu za demineralizaciju kondenzata u spremnik za regeneraciju. To se radi pomoću komprimiranog zraka. No, došlo je do začepljenja cjevovoda, a pri pokušaju njegova otčepljivanja ispala je pumpa kondenzata, i to je bio početak niza događaja koji su doveli do akcidenta TMI-2. Naime, ispad pumpe kondenzata uzrokovao je ispad napojnih pumpi i turboagregata.

#### 1.2. Reaktor Černobil-4

Kobne noći (pri rutinskoj obustavi postrojenja zbog godišnjeg remonta) počeo se izvoditi test radi demonstracije novog sistema za regulaciju napona na

generatoru u slučaju ispada generatora i raspada elektroenergetskog sistema kojim bi se osiguralo još pedesetak sekundi dotoka električne energije za napajanje bitnih sigurnosnih sistema (prije starta dizelskoga generatora). Kao energetski izvor trebala se koristiti inercija rotirajućih masa turbogeneratora pošto se zatvore turbinski zaustavni ventili. Prijašnji testovi nisu uspjeli (suviše je brzo padao napon). Test se jednostavno smatrao elektrotehničkim problemom, pa je inicijativa i organizacija bila u nadležnosti elektrotehničara. Malo je pozornosti dano nuklearnoj sigurnosti, pa u tome nisu dobivena ni potrebna odobrenja.

Na slici 2. prikazana je priprema i početak testa spomenute noći, a kronologija događaja izgledala je približno ovako.

**April, 25.**

01:00:00

Počela je polagana redukcija snage prema planu da bi se smanjili efekti porasta ksenona.

13:05:00

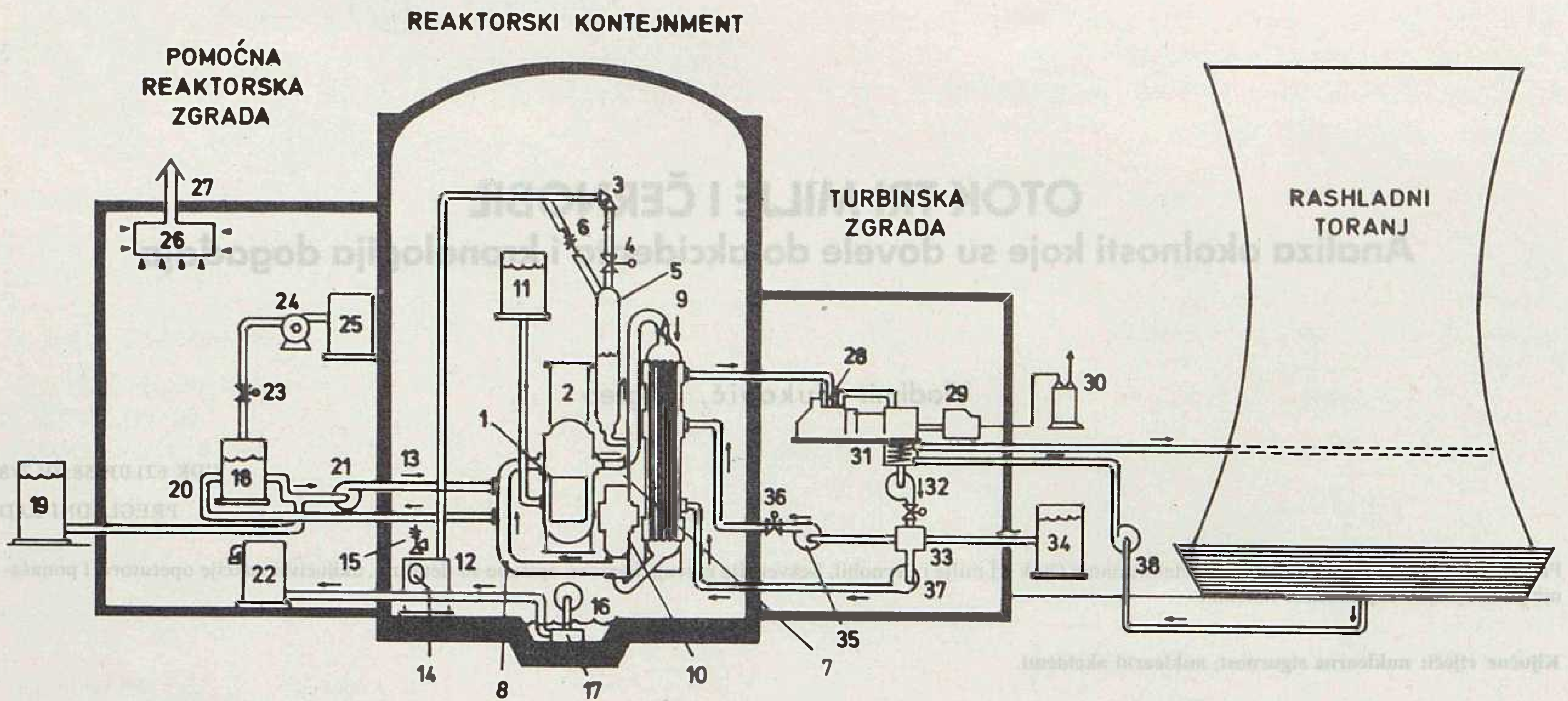
Nakon 12 sati snaga je smanjena na 1600 MWt (50%), pa je isključen jedan turbogenerator (TG-7), a napajanje četiriju optočnih pumpi, dviju napojnih pumpi, te odgovarajućih pomoćnih uređaja prebačeno je na ostali TG-8 u pogonu.

14:00:00

Prema planu testa, izoliran je sistem za hlađenje jezgre u nuždi (kasnije su eksperti objasnili da to i nije bilo potrebno, da bi se spriječila njegova aktivacija). Dispečer zahtijeva da TG-8 ostane na punoj snazi daljih 9 sati. Izoliranjem sigurnosnog sistema prekršeni su tehnički propisi.

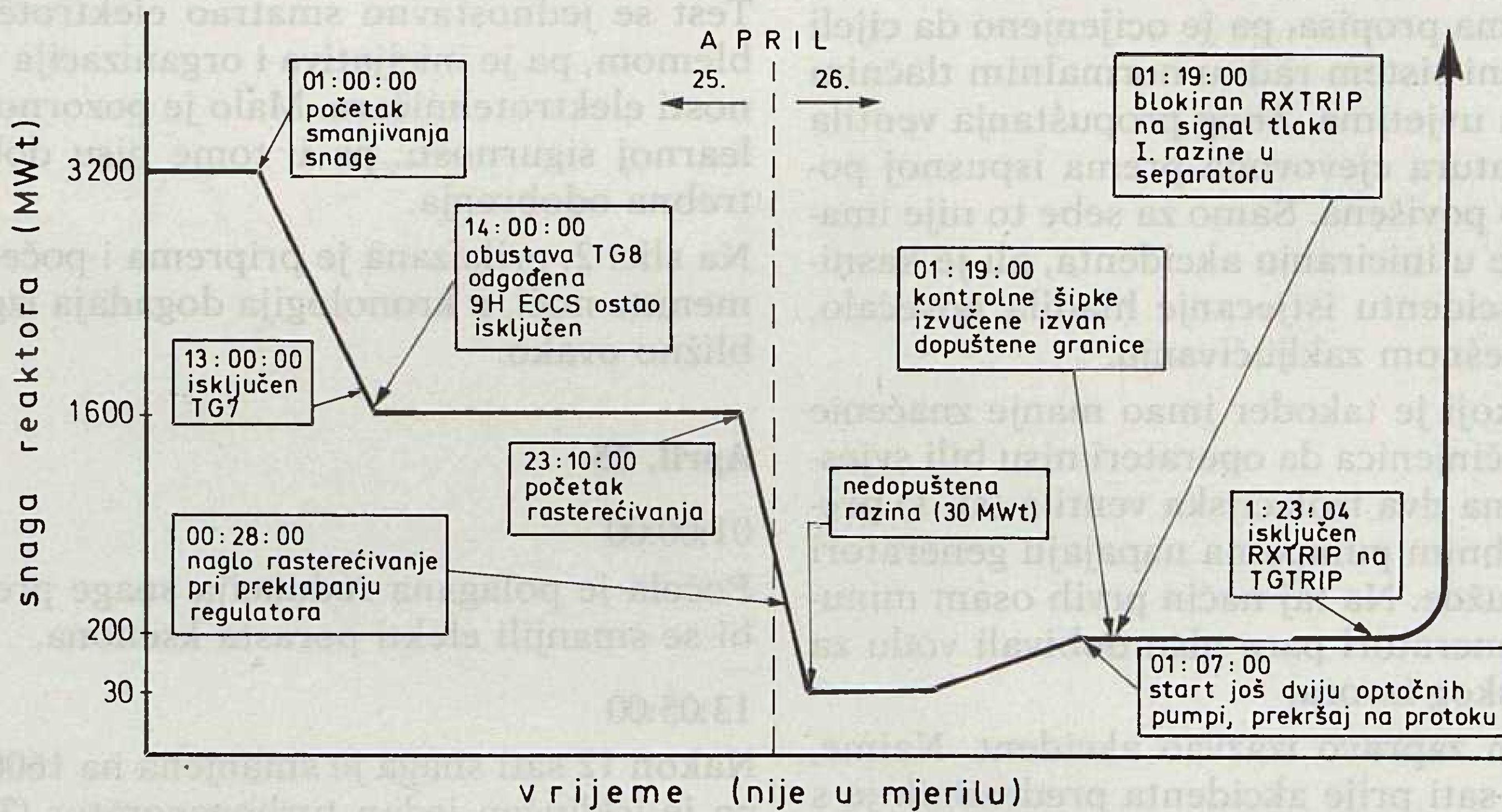
23:10:00

Nastavlja se redukcija na planiranih 700 do 1000 MWt. Tehnički propisi zabranjuju rad reaktora na snazi nižoj od 700 MWt.



Slika 1. Shema TMI-2

1-jezgra reaktora, 2-kontrolne šipke, 3-elektromagnetski rasteretni ventil, 4-izolacijski ventil, 5-tlačnik, 6-sigurnosni ventil, 7-vrući krak, 8-hladni krak, 9-generator pare, 10-optočna pumpa, 11-tlačni akumulator, 12-ispusni spremnik, 13-cjevovod za dodavanje, 14-rasprski disk, 15-sigurnosni ventil, 16-slivnik reaktorske zgrade, 17-pumpa slivnika, 18-spremnik dodatne vode, 19-spremnik borirane vode, 20-oduzimna linija 21-visokotlačna pumpa za injektiranje, 22-spremnik RAO, 23-odušni ventil, 24-kompresor za plinovit RAO, 25-spremnik za raspad plinova, 26-ventilacijski filtri, 27-ispusni kanal, 28-turbina, 29-generator, 30-trafo, 31-kondenzator, 32-kondenzatna pumpa, 33-demineralizator, 34-spremnik kondenzata, 35-pumpa za napajanje u nuždi, 36-izolacijski ventil, 37-glavna napojna pumpa, 38-rashladna pumpa



Slika 2. Kronologija akcidenta Černobil

**April, 26.**

00:28:00

Operater je prebacio kontrolu reaktora s lokalne (LAR) na automatsku regulaciju globalne snage (AR). Greškom nije regulirao (unio) vrijednost zadane razine snage («hold power») na pomoćnom regulatoru snage, pa je snaga naglo pala na gotovo 30 MWt. Nije bilo moguće tako brzo izvući kontrolne šipke i time izvršiti korekciju snage (dodavanje negativne reaktivnosti zahtijeva izvlačenje više ručnih kontrolnih šipki da bi se ona kompenzirala).

01:00:00

Snaga je stabilizirana na 200 MWt jer nije bilo rezervne reaktivnosti za povećanje snage. Zasićenost ksenonom raste, pa je izvučeno više kontrolnih šipki nego što pogonski propisi dopuštaju. Rezerva pogonske reaktivnosti bila je niža od najmanje dopuštene za obustavu reaktora (operativna rezerva reaktivnosti izražena je ekvivalentnim brojem ubačenih kontrolnih šipki; normalna je vrijednost 30, a apsolutni minimum 16).

01:03:00

Prema planu testa, uključena je četvrta optočna pumpa u lijevi optočni krug (napajana iz vanjske mreže). Zbog niske snage (200 MWt) i povećanog protoka temperatura hladila približava se zasićenju.

01:07:00

Uključena četvrta optočna pumpa (test-program), napajana iz vanjske mreže i u desnom optočnom krugu. Pri 200 MWt povećani je ukupni protok hladila bio veći od u propisima dopuštenoga. Pojedine pumpe rade u uvjetima u kojima je moguća kavitacija i vibracije. Pao je tlak pare i razina vode u separatorima i još se više temperatura ulazne vode u reaktor približila temperaturi zasićenja. Držanje svih pumpi u optoku uzrokovalo je dodatno izvlačenje kontrolnih šipki i ponovno smanjenje rezervne reaktivnosti (veliki je protok reducirao sadržaj pare u hladilu kanala s gorivom, a time povećao negativnu reaktivnost).

01:09:00

Operater ručno povećava protok napojne vode koja ulaskom u jezgru kondenzira frakciju pare u hladilu i time stvara negativnu reaktivnost. Kontrolne šipke automatske regulacije (AR-1) kreću prema gore, a operater izvlači iz jezgre i ručne kontrolne šipke.

Da bi »zaštiti« reaktor od obustave na signal devijacije tlaka pare i razine vode u separatoru, operater blokira te signale.

01:22:00

Operater smanjuje dotok napojne vode, što podiže ulaznu temperaturu u reaktor i pridonosi komplikaciji situacije minutu kasnije.

01:22:30

Računarski ispis upozorava operatera da je rezervna reaktivnost s obzirom na broj kontrolnih šipki ubačenih u jezgru samo 6 do 8, nasuprot normalnome ekvivalentnom broju 30. »Skala« (računarski sistem) upozorava i o položaju svih kontrolnih šipki i neregularnosti distribucije gustoće neutronskega fluksa

na postojećoj snazi 200 MWt. Potvrda računala da operativna rezerva reaktivnosti ne iznosi više od polovice minimalno dopuštene morala je operateru značiti da trenutno zaustavi reaktor. To nije učinjeno, već je započet planirani test.

01:23:04

Suprotno test-programu i pogonskim procedurama, a da bi se izbjeglo ispadanje reaktora na signal zatvorenosti ventila na obje turbine i omogućilo eventualno ponavljanje testa, ta je zaštita reaktora blokirana. Radi početka testa, zatvoren je turbinski zaustavni ventil, a ostavljen je zatvoren i obilazni ventil turbine. Kako se brzina četiriju optočnih pumpi koje su bile na TG-8, smanjivala tako je slabio i protok vode kroz jezgru. Tlak pare počeo je rasti zbog neoduzimanja pare i ranije redukcije protoka napojne vode. Reaktor je reducirano oduzimanje topline, pa se pretpostavlja da je porast frakcije pare bio mnogo brži nego u normalnom pogonu, a to je uzrokovalo nagli porast reaktivnosti (prema procjeni, koeficijent reaktivnosti šupljina povećan je sa  $2,0 \times 10^{-4}$  /% volumena pare, na  $3,0 \times 10^{-4}$  /% volumena pare).

01:23:10

Tlak u reaktor raste, parni se mjehurići kondenziraju, pa nekoliko AR-1 šipki izlazi iz jezgre.

01:23:21

Snaga je još uvijek oko 200 MWt; s padom protoka hladila (zaustavljanje četiriju pumpi) povećava se snaga i šupljine u hladilu, pa nekoliko AR-1 šipki ulazi u jezgru.

01:23:31

Snaga se povećava jer je protok hladila još niži, a ulazna temperatura u jezgri viša. Kontrolne šipke ne mogu uravnotežiti porast reaktivnosti.

01:23:40

Snaga i dalje raste, pa je operater pritisnuo tipku AZ-5 za izbacivanje reaktora. Trenutno nije bilo vidljivog efekta, ali je u sljedećim trenucima sve bilo gotovo. U tablici 1. dan je pregled najvećih učinjenih povreda tehničkih propisa.

Tablica 1. Akcije i posljedice u tranzijentu Černobil-4

Akcija	Namjera	Rezultat
Redukcija operativne rezerve reaktivnosti ispod dopuštenog minimuma.	Ublažavanje posljedica trovanja ksenonom.	Nedjelotvorna zaštitna funkcija.
Redukcija snage ispod zahtjeva postupka za testiranje.	Svladavanje greške pri iskopčavanju LAR i prebacivanju na AR (globalnu).	Otežavanje kontrole reaktora.
Uključivanje svih optočnih pumpi s prekoračenjem dopuštene veličine optoka.	Zadovoljenje zahtjeva testa.	Veliki protok hladila pri maloj snazi podiže ulaznu temperaturu koja je blizu zasićenja.
Blokada obaju okidnih signala na oba turboagregata.	Omogućivanja ponavljanja testova u slučaju potrebe.	Gubitak mogućnosti automatskog izbacivanja reaktora pri ispadu turbine.
Blokada zaštite reaktora signalima razine vode i tlaka pare u separatorima.	Zanemarivanje nestabilnosti reaktora da bi se test svakako izveo.	Gubitak zaštitnog sistema zasnovanog na toplinskim parametrima.
Isključivanje sistema za hlađenje jezgre u opasnosti.	Izbjegavanje neželjene aktivacije tog sistema.	Gubitak mogućnosti smanjenja opsega akcidenta.

## 2. RAZVOJ AKCIDENTA I INTERVENCIJA OPERATERA

### 2.1. Reaktor TMI-2

2.1.1. Kako je navedeno pri kraju poglavlja 1.2, sekundu prije ispada napojnih pumpi (FW-P-1A i FW-P-1B istodobno i turbogeneratora) ispala je iz pogona pumpa kondenzata CO-P-1A.

Ispad turbogeneratora u 04:00:37, dana 28.4.1979. smatra se početkom razvoja akcidenta i bilježi se kao nulto vrijeme, 00:00:00.

U tablici 2 dana je kronologija razvoja akcidenta za prvih 16 sati.

2.1.2. Na slici 3. prikazana je promjena parametara reaktorskog hladila u prvih 20 minuta. Brojevi krivulja označavaju:

- 1 — razinu vode u tlačniku ( $L$ )
- 2 — temperaturu vrućeg kraka ( $T_H$ )
- 3 — temperaturu hladnog kraka ( $T_C$ )
- 4 — tlak hladila ( $P$ )
- 5 — tlak zasićenja ( $P_S$ ) na temperaturu  $T_H$ .

Na slici 4. dana je promjena nekih bitnih parametara reaktorskog hladila u prvih 16 sati akcidenta. Oznake na krivuljama znače:

$L$  — razinu vode u tlačniku

$P_{RCS}$  — tlak hladila

$P_S(T_{Cmax})$  — tlak zasićenja pri temperaturi  $T_{Cmax}$

$P_S(T_H B)$  — tlak zasićenja pri temperaturi  $T_H$  u krugu B

$P_S(T_H A)$  — tlak zasićenja pri temperaturi  $T_H$  u krugu A.

### 2.2. Reaktor Černobil-4

2.2.1. U trenutku 01:23:40 pokretanje postupka zaustavljanja reaktora bilo je suviše kasno, pa su događaji dalje tekli na sljedeći način.

01:23:43

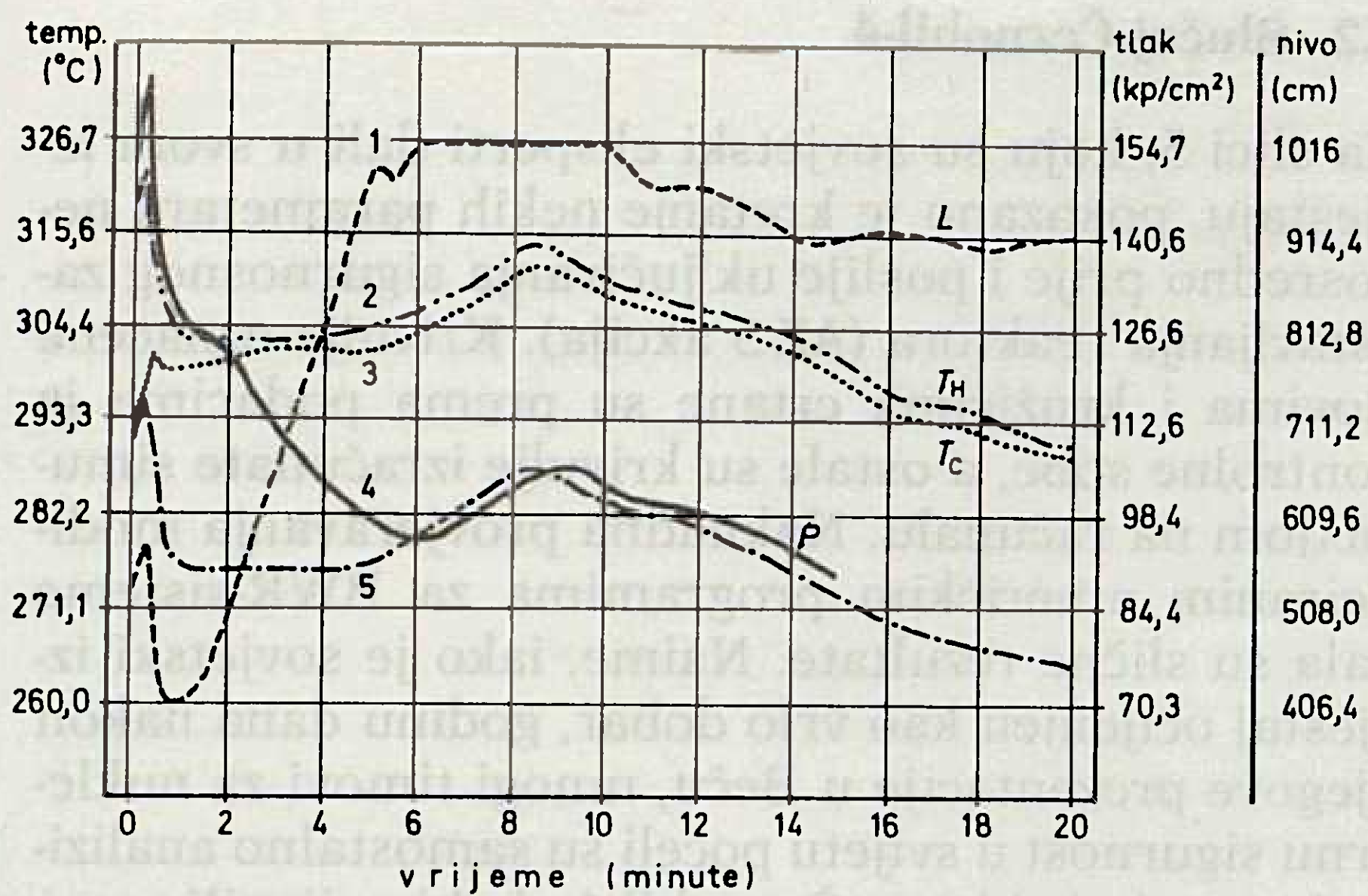
Prema sovjetskim procjenama, period »bijega« reaktora bio je mnogo kraći od 20 sekundi. Doppler-efekt samo je djelomično kompenzirao povećanje reaktivnosti zbog naglog porasta praznina u hladilu. U to je vrijeme razina snage mogla biti oko 530 MWt i naglo je rasla.

2.2.2. 01:23:44

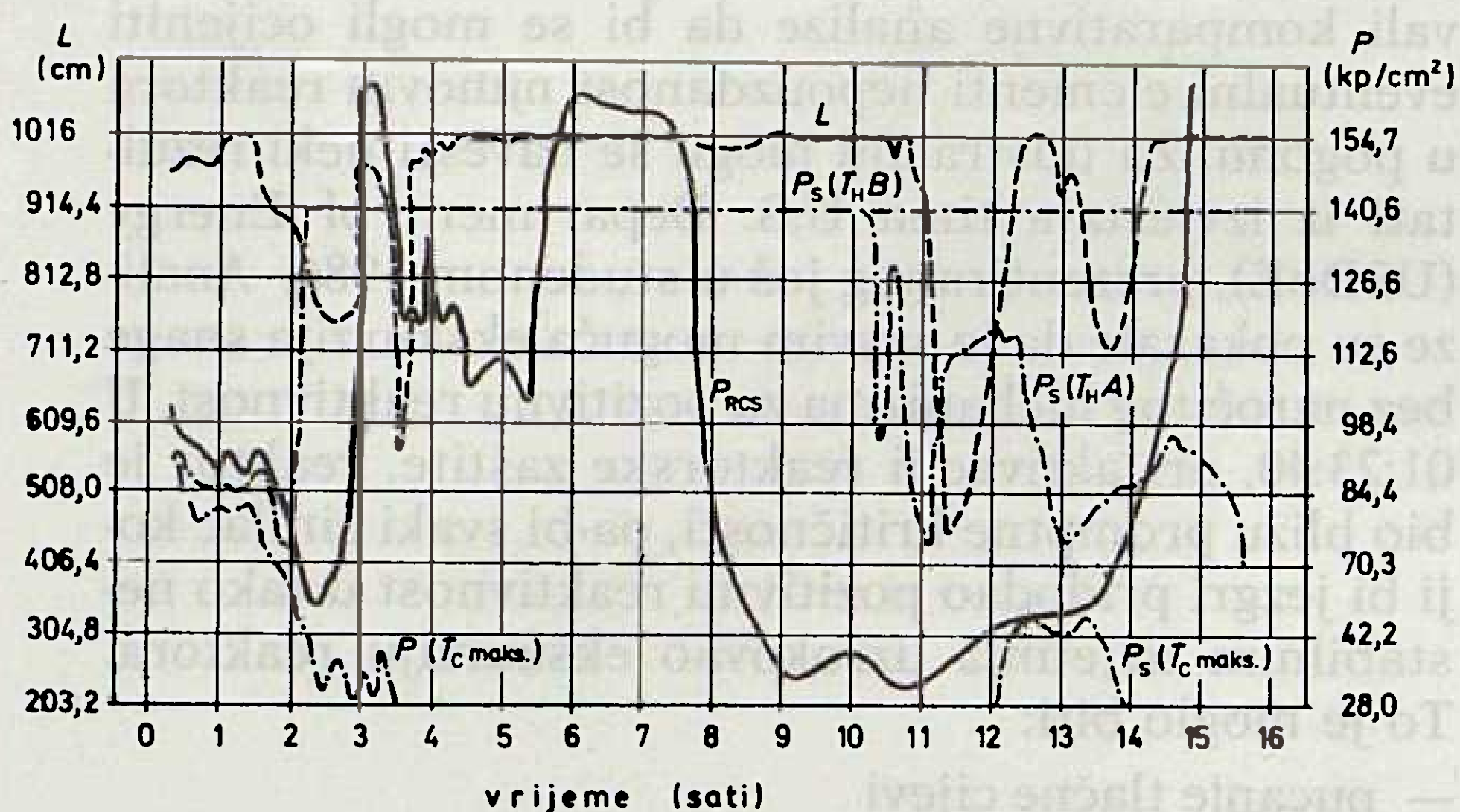
Snaga se i dalje naglo povećava, a procjenjuje se da je val tisuću puta veći od nominalnoga. Ubacivanje kontrolnih šipki, ako je uopće i uspjelo, kao i Dopple-

Tablica 2. Kronologija glavnih događaja TMI-2

Približno vrijeme	Događaj
00:00:00	Ispad napojnih pumpi FW-P-1A i FW-P-1B, s istodobnim ispadom turbine.
00:00:03	Hladilo postiglo tlak otvaranja rasteretnih ventila tlačnika; otvorio se ventil RC-RV2.
00:00:08	Visokotlačna zaštita izbacila reaktor.
00:00:13	Tlak hladila pao ispod postavne vrijednosti, ali je ventil RC-RV2 ostao otvoren.
00:00:14	Pumpe za napajanje generatora pare u nuždi, EF-P-1, EF-P-2A i EF-P-2B, dosegle puni tlak.
00:00:38	Otvorili su se automatski ventili za napajanje, EF-V11A i EF-V11B, ali je ulaz vode spriječen blok-ventilima EF-V12A i EF-V12B.
00:02:00	Automatsko uključivanje visokotlačnih pumpi za injektiranje, MU-P-1A, MU-P-1B i MU-P-1C.
00:02:00	Otvaranje rasteretnog ventila na spremniku za ispušt tlačnika, WDL-R1.
00:04:00	Reducirano (prigušeno) visokotlačno injektiranje.
00:07:00	Pokrenuta pumpa WDL-P-2A i prepumpavanje slivnika kontejnmenta u pomoćnu reaktorsku zgradu.
00:08:00	Otvoreni izolacijski ventili, EF-V12A i EF-V12B, na linijama za napajanje generatora pare u nuždi.
00:15:00	Popustio rasprski disk rasteretnog spremnika tlačnika.
01:13:00	Isključene pumpe optoćnog kruga B, RC-P-2B i RC-P-1B.
01:40:00	Isključene reaktorske optoćne pumpe kruga A, RC-P-2A i RC-P-1A.
01:30:00 03:03:00	Otkrivanje jezgre; oštećivanje goriva; nastanak reakcije Zr-H <sub>2</sub> O i proizvodnja vodika.
02:22:00	Zatvoren izolacijski ventil rasteretnog ventila na tlačniku (ispred RC-RV2).
02:30:00	Temperaturni elementi u jezgri izišli iz područja skale (> 371 °C).
03:00:00	U elektranu stigao rukovodilac, analizirao prilike i proglasio izvanredno stanje.
03:30:00	Deklarirano opće izvanredno stanje.
09:49:44	U kontrolnu je sobu prodro jak tutanj. To je bio znak eksplozije vodika u kontejnmentu (1,96 kp/cm <sup>2</sup> ).
16:00:00	Pokrenute optoćne pumpe na krugu A, RC-P-1A i RC-P-2A.



Slika 3. TMI-2 tranzijent u prvim minutama



Slika 4. TMI-2 tranzijent u prvim satima

rov efekt, za trenutak su samo smanjili pozitivnu reaktivnost.

Operater je čuo jaku eksploziju i primijetio da su se kontrolne šipke zaustavile prije dna jezgre, pa je oslobodio mehanizam za pokretanje ne bi li omogućio slobodni pad šipki u jezgru. No, vjerojatno zbog deformacija u jezgri, kontrolne šipke nisu pale.

Zvuk eksplozije vjerojatno je bilo početno pucanje tlačnih cijevi i eksplozija cilindra reaktora (omotača).

01:23:45

Eksplozija je izazvala razaranje goriva, što je uzrokovalo i eksploziju zbog tlaka pare koji je zatvorio protupovratne ventile na optočnim pumpama.

01:23:46

Prema procjeni, tlak u prostoru jezgre raste brzinom od 8 do 10 atp/sekundi.

01:23:47

Nagli porast protoka hladila vjerojatno je posljedica dizanja gornjega biološkog štita i konačnog loma svih tlačnih granica.

01:23:48

Visoki je tlak konačno razorio reaktor.

01:24:00

Približno tri sekunde nakon prve eksplozije čula se i druga. Užareni materijal izlijeće iz reaktorske zgrade. Pojavilo se više požara.

Od tog trenutka nema više informacija iz kontrolne sobe.

### 3. ANALIZA DOGAĐAJA

#### 3.1. Slučaj TMI-2

**3.1.1.** Tri sekunde nakon ispada turbine zbog porasta tlaka u tlačniku otvorio se rasteretni ventil, a za sljedećih pet sekundi prekotlačna je zaštita izbacila reaktor. Ispust pare iz tlačnika i prekinuta lančana reakcija snizili su tlak (sl. 3, krivulja 4). No, tlak naglo pada i nakon 13 sekundi, kada je imao vrijednost na kojoj bi otvoreni ventil trebao početi zatvarati. Mogućnost »zapinjanja« rasteretnih ventila predviđena je projektom, pa je ispred njih ugrađen motorom pokretan izolacijski ventil. U ovom je akcidentu izolacijski ventil zatvoren tek nakon 2 sata i 22 minute, kad je u kontrolnoj sobi projektant postrojenja počeo postavljati pitanja (da bi pomogao). Na kontrolnoj je ploči postojala samo indikacija da je ventil deenergiziran. Povišena temperatura na liniji iza ventila postojala je otprije (ventili nisu dobro držali). Indikator tlaka u rasteretnom spremniku nalazi se iza kontrolne ploče. Rasprski disk na spremniku popustio je nakon 15 minuta. Kompjutorski sistem nije imao u memoriji povijest tlaka u rasteretnom spremniku.

**3.1.2.** Oko druge minute akcidenta pokrenut je visokotlačni sistem za injektiranje borirane vode. To je ubrzalo približavanje ulazne temperature izlaznoj (sl. 3, krivulja 3 i 2). Nakon četiri i pol minute operater je isključio jednu pumpu za injektiranje, a drugu prigušio bojeći se da ona ne prepuni tlačnik (sl. 3, krivulja 1). (Kasnije je utvrđeno da je dodavanje vode bilo manje od gubljenja na otvorenom ventilu.) Smanjeno injektiranje vode rezultiralo je porastom temperature vode u reaktoru i porastom tlaka zasićenja  $P_s$  (krivulja 5). Inače, na treningu je operatorima naglašavano da izbjegavaju rad s punim tlačnikom. To je zabranjeno zbog gubitka funkcije kontrole tlaka. No, u tom je slučaju stvarna razina vode zapravo bila niska. Dana je prednost pouzdanosti indikatora razine, a ne tlaka, iako je moralo biti obrnuto, jer tlačni instrument ima veću pouzdanost. Dodavanje hladila bilo je smanjeno jer operateri nisu znali da hladilo curi iz optoćnog sistema. Osim toga, konfiguracija sistema je takva da se ne može sigurno ustanoviti direktni odnos između nivoa u tlačniku i nivoa u cijelome optoćnom sistemu. Kad je indikator nivoa došao do gornje granice skale, tlak sistema je pao na tlak zasićenja, parni su se mjehurići našli u ravnoteži s vodom, količina pare se povećala, što je u suprotnosti s pokazivanjem instrumenta.



**3.1.3.** Zbog povećanja udjela pare u optočnom sistemu (niski tlak i protok hladila) pojavile su se velike vibracije na optočnim pumpama. Nakon 73. minute akcidenta isključene su obje optočne pumpe na generatoru pare B, a poslije 100 minuta akcidenta (sl. 4) isto je učinjeno i s optočnim krguom A da bi se spriječili eventualni kvarovi na pumpama i/ili cjevovodima. No, možda je i važnije bilo razmišljanje o potrebi zaštite brtvenica pumpi čiji bi kvar uzrokovao novo, veliko gubljenje hladila. Nakon isključenja pumpi pretpostavljalo se da će se uspostaviti prirodna cirkulacija. Međutim, počela je separacija pare i vode, a grijanje jezgre raspadnom toplinom, smanjivalo je udio tekuće faze. Poslije isključenja druge pumpe (oko 111. minute akcidenta) temperatura koja je izlazila iz jezgre počela se naglo povećavati (sl. 4). Iz zapisa je ustanovljeno da je instrument »izišao izvan skale« ( $> 325^\circ\text{C}$ ) oko 40 minuta nakon obustave optočnih pumpi. Tako je bilo do približno desetog sata akcidenta. To je značilo i pregrijanost pare i nekonkondenzibilnog vodika iznad jezgre i u izlaznom cjevovodu. Jezgra je ostala otkrivena, a temperatura obloge goriva dovoljno visoka za egzotermnu reakciju  $\text{Zr-H}_2\text{O}$ .

**3.1.4.** Nakon zatvaranja izolacijskog ventila na tlačniku (02:22:00), operateri su pokušali uspostaviti stabilno stanje hlađenjem jezgre prirodnom ili prisilnom cirkulacijom kroz generator pare ili niskotlačnim sistemom za odvod preostale topline. U više pokušaja, nakon više od pet sati poslije zatvaranja izolacijskog ventila, uspostavljena je cirkulacija kroz generator pare. Teškoće su nastajale nakupljanjem nekonkondenzibilnih plinova i vodika u dijelu primarnog cjevovoda koji spaja reaktorsku posudu i gornji dio generatora pare (neadekvatan oblik i položaj). Varijacija tlaka uglavnom je ovisila o položaju izolacijskog ventila na tlačniku i ostanju sistema za visokotlačno injektiranje. Pokušaji da se cirkulacija hladila uspostavi na tlaku višem od 14,5 MPa i s visokotlačnim injektiranjem nije uspijevala. Važno je skrenuti pažnju na otvaranje ventila tlačnika nakon malo više od 7 sati akcidenta radi redukcije tlaka do vrijednosti aktivacije niskotlačnog sistema za injektiranje hladila i potapanja jezgre. Kad je tlak pao ispod 4,1 MPa, tlačni su akumulatori injektirali malo borirane vode u reaktorsku posudu, no tlak je u sistemu bio suviše visok za aktiviranje niskotlačnoga injekcijskog sistema. S tim snižavanjem tlaka (otvaranjem ventila) pojavilo se z natno otplinjavanje sistema (sl. 4). Kada se tlak više nije mogao sniziti, zatvoren je izolacijski ventil. Sljedeća dva sata odvod topline nije bio djelotvoran jer su oba generatora pare bila blokirana plinovitom fazom (vodik), a injektiranje hladila bilo je slabo. Nakon trinaest i pol sati trajanja akcidenta s održavanjem se visokotlačnim injektiranjem u optočnom sistemu tlak ponovo počeo znatno dizati. Otplinjavanje je, uz snižavanje tlaka i injektiranje hladila, omogućilo uključivanje pumpi. Nakon starta i druge pumpe u krugu A (16 sati nakon akcidenta) stabilizirano je normalno hlađenje jezgre.

### 3.2. Slučaj Černobil-4

Na slici 5, koju su sovjetski eksperti dali u svom izvještaju, pokazano je kretanje nekih parametara neposredno prije i poslije uključivanja sigurnosnog zaustavljanja reaktora (AZ-5 akcija). Krivulje označene slovima i kružićima crtane su prema podacima iz kontrolne sobe, a ostale su krivulje izračunate simulacijom na računaru. Naknadna provjeravanja modificiranim američkim programima za BWR-sisteme dala su slične rezultate. Naime, iako je sovjetski izvještaj ocijenjen kao vrlo dobar, godinu dana nakon njegove prezentacije u Beču, mnogi timovi za nuklearnu sigurnost u svijetu počeli su samostalno analizirati razvoj akcidenta Černobil-4, da bi ocijenili pouzdanost raznih pretpostavki i što detaljnije objasnili akcident. To nije bio samo entuzijazam pojedinaca ili grupa, već su i državni regulatorni organi zahtijevali komparativne analize da bi se mogli ocijeniti eventualni elementi nepouzdanosti njihovih reaktora u pogonu. Za ilustraciju mogu se navesti neki rezultati iz izvještaja tima U.S. Department of Energy (USDoE), prezentiranog još u studenom 1986. Analize su pokazale da je sasvim moguća eskurzija snage bez naročitog mehanizma za pozitivnu reaktivnost. U 01:23:40, pri aktivaciji reaktorske zaštite, reaktor je bio blizu promptne kritičnosti, pa bi svaki činilac koji bi jezgri pridodao pozitivnu reaktivnost u tako nestabilnim uvjetima uzrokovao eskurziju reaktora. To je moglo biti:

- pucanje tlačne cijevi
- otvaranje sigurnosnih ventila
- bilo koje oštećenje tlačne granice optočnog sistema
- kavitacija u optočnim pumpama itd.

Dakle, već samom obustavom turbogeneratora reaktor je bio u nestabilnom stanju zbog smanjenog odzimanja energije, uz veliki protok hladila čija se temperatura približavala temperaturi zasićenja na ulazu u reaktor. U tom trenutku svaki dodatak energije može izazvati burno vrenje koje s pozitivnim koeficijentom reaktivnosti šupljina čini situaciju opasnom.

Tim je USDoE analizirao nalet snage u akcidentu primjenom programa MINET i CRAS, koji uz termohidrauliku uključuju i jednostavni model reaktivnosti. Na slici 6. prikazana je eskurzija snage usporedno sa sovjetskim proračunima. Program CRAS-1 primijenjen je bez dodavanja reaktivnosti »reaktorskog tripa« i s dodavanjem početne pozitivne reaktivnosti »reaktorskog tripa« s jednakim ulaznim podacima:

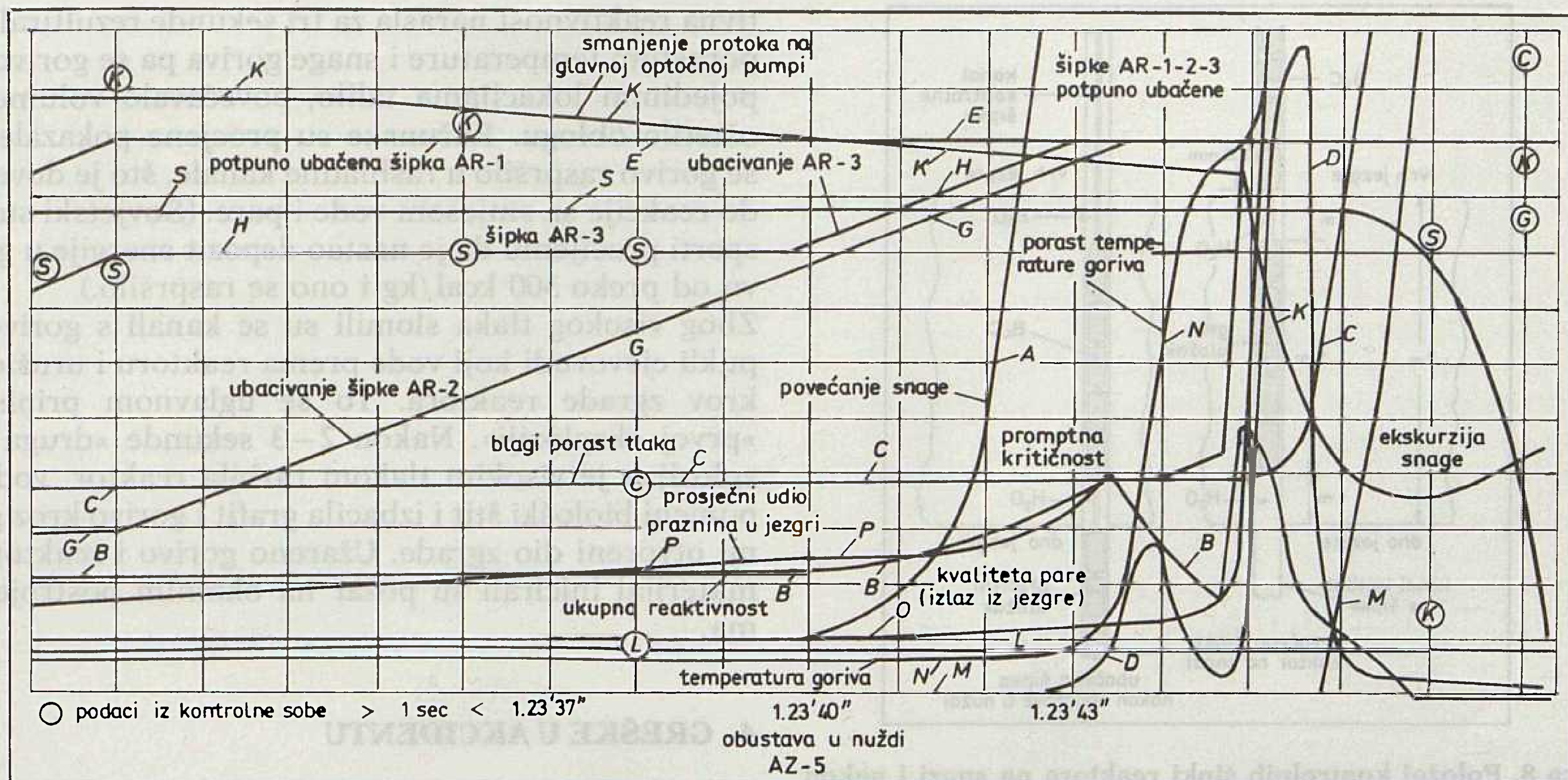
$\beta = 0,0045$  (udio zakašnjelih neutrona)

$l = 0,000785$  (prosječno trajanje neutrona)

koef. praz. =  $0,0003 \Delta k / (\% \text{ praznine})$ .

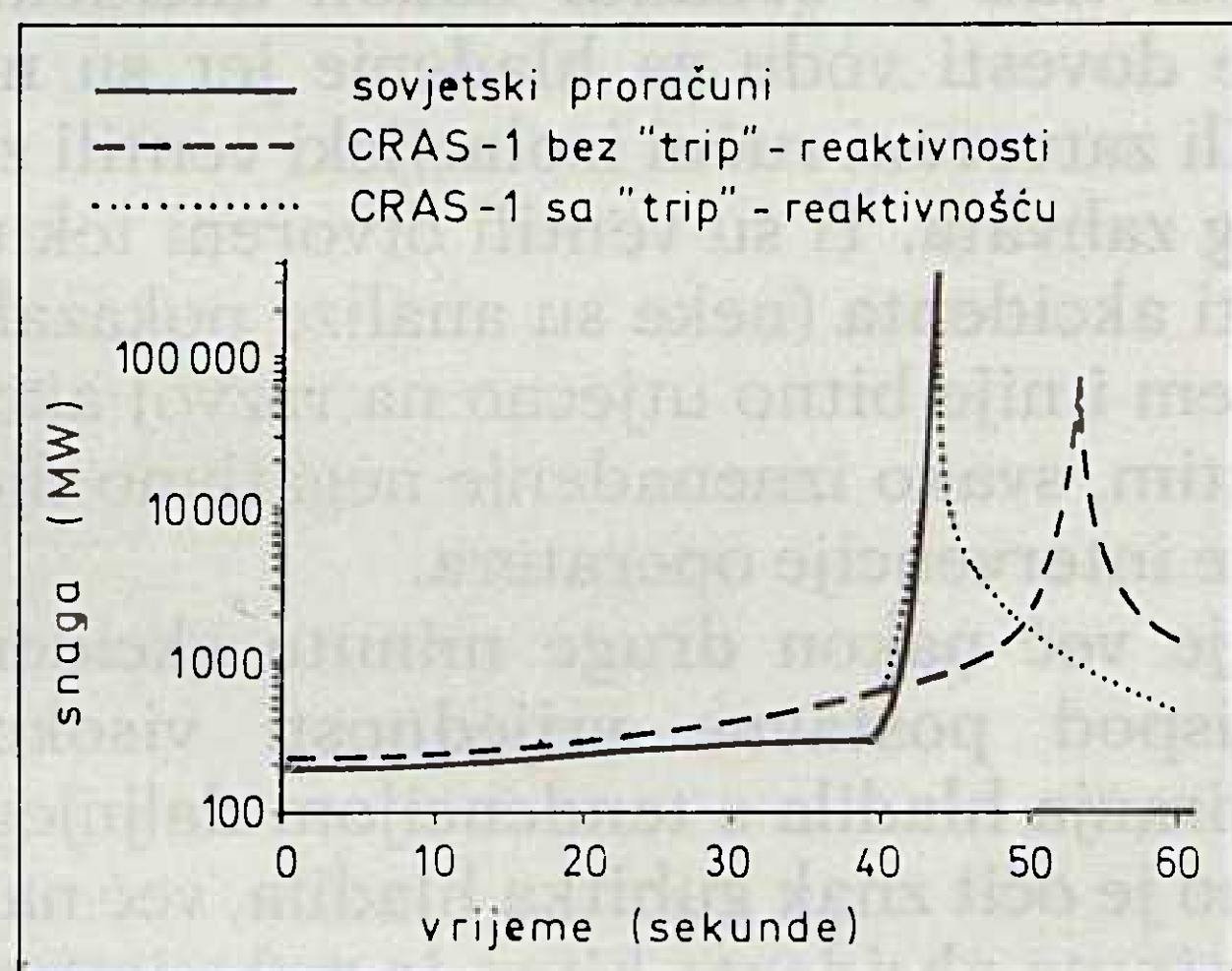
Vrijednosti su pretpostavljene jer precizniji podaci o jezgri nisu bili poznati.

Vrtnja tih programa pokazuje da je tranzijent eskurzije reaktora povezan s velikim pozitivnim koeficijentom praznina. Za podudaranje sa sovjetskim proračunom u oba programa valjalo je dodati tranzijentu pozitivnu reaktivnost neposredno nakon akcije AZ-5 (10 c za MINET i 1 \$ za CRAS).



Slika 5. Tranzijenti Černobil-4

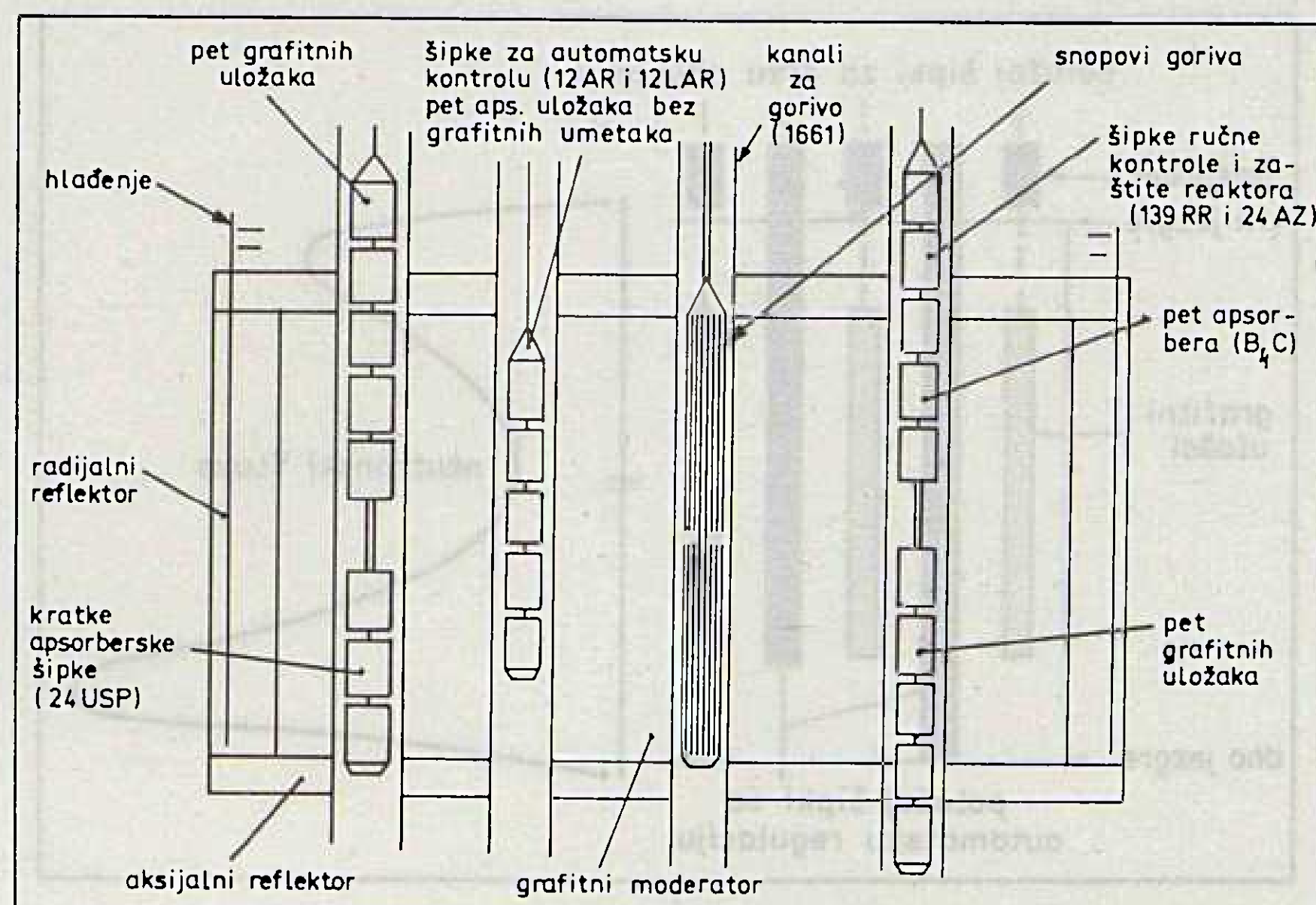
	vrijednost			vrijednost	
	min.	maks.		min.	maks.
A — neutronska snaga	0	120	K — protok hladila (m <sup>3</sup> /s)	2	8
B — ukupna reaktivnost (%)	-1	+5	L — protok napojne vode (kg/s)	0	600
C — tlak, bubanj separatora (bar)	54	90	M — protok pare (kg/s)	0	600
D — neutronska snaga (%)	0	48000	N — temperatura goriva (°C)	200	2000
E — grupa šipki (ubačeni dio), AR-1	0	1,2	O — maseni udio pare (izlaz iz jezgre, %)	0	6
G — grupa šipki (ubačeni dio), AR-2	0	1,2	P — volumni udio pare (prosjeak jezgre, frakcija šupljine)	0	1,2
H — grupa šipki (ubačeni dio), AR-3	0	1,2	S — razina u separatoru	-1200	0



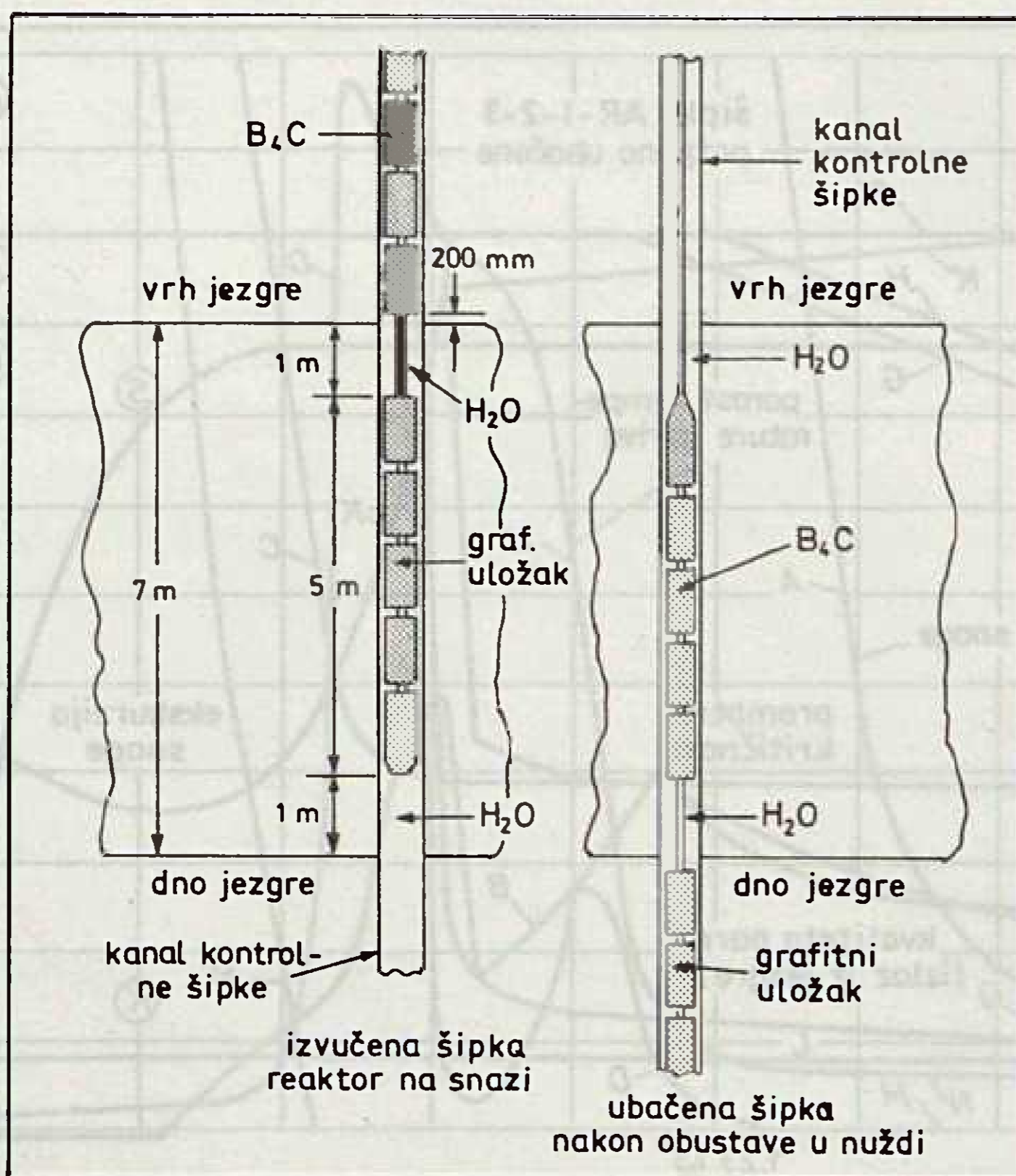
Slika 6. Ekskurzija snage Černobil-4 reaktora prema sovjetskim proračunima i proračunima USDoE

USDoE je došao do zaključka da je do ubacivanja pozitivne reaktivnosti došlo u AZ-5 akciji zbog greški u projektu reaktorskoga kontrolnog sistema. Naime, kontrolne se šipke pomiču unutar kanala koji se hlade vodom (sl. 7). U ovom je slučaju ta voda apsorber neutrona, pa se efekt reaktivnosti pri izvlačenju kontrolnih šipki djelomično smanjuje. Osim toga, oko polovica šipki ispunjena je grafitnim ulošcima (moderatorima) koji izlaze iz jezgre pri ubacivanju dijela šipke ispunjenog bornim karbidom. Budući da je grafitna zona šipke kraća od one ispunjene gorivom u okolišu (po visini jezgre), pri potpunom izvlačenju kontrolne šipke iz jezgre grafitni ulošci ne zauzimaju punu visinu kanala s gorivom, pa je 1,2 m ispunjeno

vodom. Ako se kontrolne šipke ubace iz potpuno izvučenog položaja, voda na dnu kanala istisne se s grafitnim dijelom šipke, što može uzrokovati tranzijent s lokalno dodanom pozitivnom reaktivnošću («efekt pozitivnog tripa»). Tako je protumačena situacija kada su operateri u akcidentu Černobil-4 upozorili na porast snage pri akciji AZ-5. Prema tom tumačenju, na slici 8. prikazan je položaj grafitnoga i apsorpcijskog dijela šipke u izvučenome i uvučenom položaju kontrolnih šipki. Zanimljiva je zamisao scenarija akcidenta zamjenika direktora Ureda za inspekciju švedskoga nuklearnog inspektorata F. Reisch, s ilustracijom na slici 9. Prema njegovim shvaća-



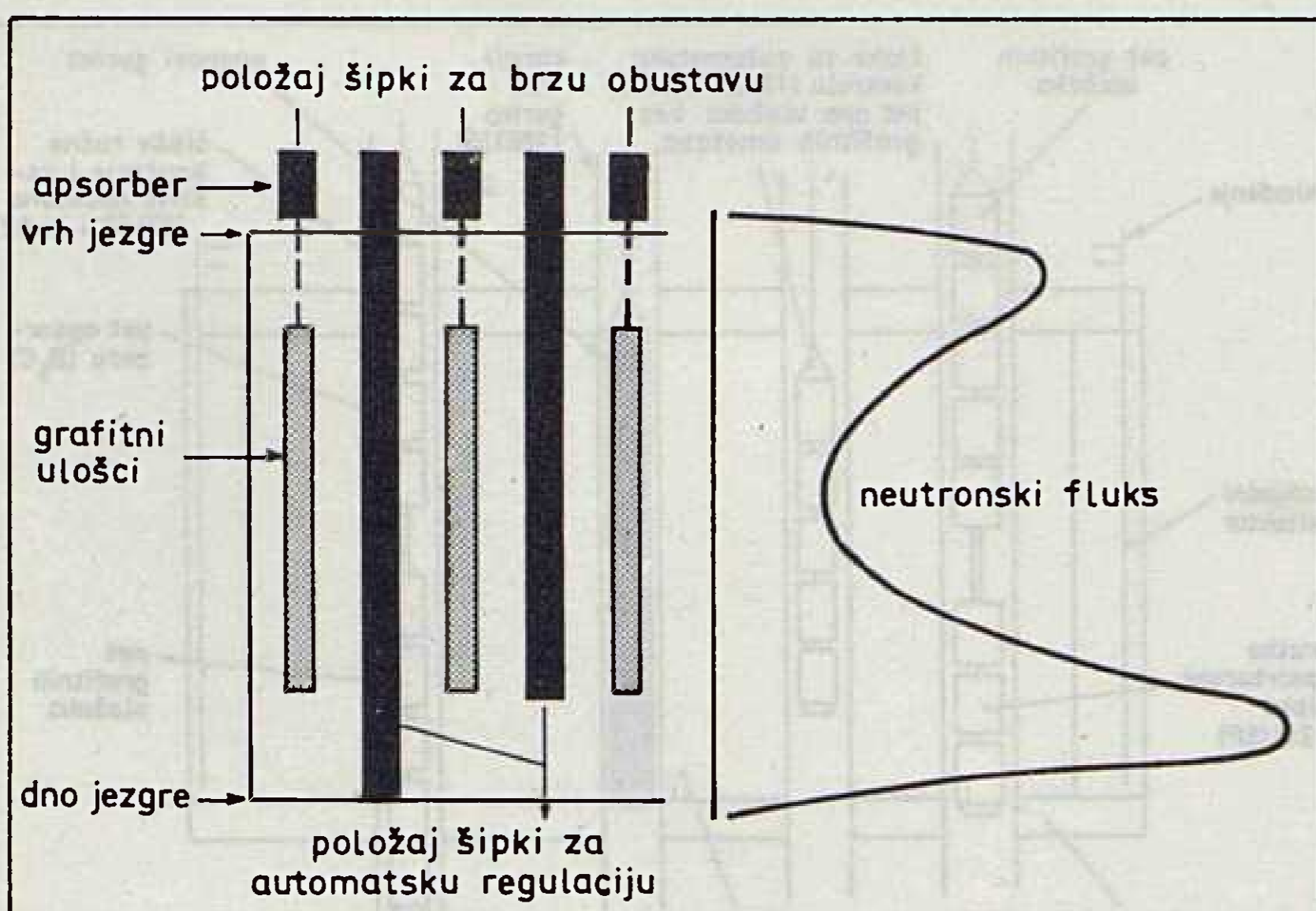
Slika 7. Razmještaj komponenata jezgre



Slika 8. Položaj kontrolnih šipki reaktora na snazi i nakon njihova ubacivanja u nuždi

njima, najvažnije učešće u dodavanju reaktivnosti pri dnu i vrhu jezgre imala je kavitacija u pumpama. Raspad goriva u interakciji vrlo vrućih čestica s vodom uzrokovao je početnu eksploziju pare pri dnu jezgre. Rezultirajuće istiskivanje vode iz vrha jezgre moglo je izazvati drugu (objavljenu) eksploziju. Reichovo se mišljenje bazira na analizama provedenim u Švedskoj i drugdje. Aksijalna distribucija neutronskog fluksa prije akcidentu (sl. 9) izračunata je trodimenzijskom dvogrupnom teorijom difuzije. Osim toga, taj autor smatra da se zbog velikoga pozitivnog koeficijenta reaktivnosti šupljina na donjoj strani jezgra može tretirati kao više odvojenih kritičnih masa u obliku horizontalnih diskova složenih jedan na drugi.

Sovjetski proračuni (sl. 5, krivulje B i D) pokazuju da je za nepune tri sekunde nakon AZ-5 akcije ubačena pozitivna reaktivnost koja je uzrokovala skok snage. Iako je na gornjoj strani jezgre ubačena negativna reaktivnost, predominantna je bila pozitivna reaktivnost na njezinoj donjoj strani. Naravno, pritom su se javili i efekti kao što je redistribucija fluksa itd. Pozi-



Slika 9. Vjerojatni položaj kontrolnih šipki i oblik neutronskog fluksa neposredno prije akcidenta Černobil-4

tivna reaktivnost narasla za tri sekunde rezultirala je porastom temperature i snage goriva pa se gorivo na pojedinim lokacijama talilo, povećavalo volumen i oštetilo oblogu. Računske su procjene pokazale da se gorivo raspršilo u rashladne kanale, što je dovelo i do reakcije sa smjesom vode i pare. (Sovjetski su eksperti procijenili da je nastao depozit energije u gorivu od preko 300 kcal/kg i ono se raspršilo.)

Zbog visokog tlaka slomili su se kanali s gorivom, pukli cjevovodi koji vode prema reaktoru i urušio se krov zgrade reaktora. To se uglavnom pripisuje »prvoj eksploziji«. Nakon 2–3 sekunde »druga eksplozija« je visokim tlakom razbila reaktor, vodom punjeni biološki štit i izbacila grafit i gorivo kroz gornji otvoreni dio zgrade. Užareno gorivo i reaktorski materijal inicirali su požar na okolnim postrojenjima.

## 4. GREŠKE U AKCIDENTU

### 4.1. Greške načinjene u akcidentu TMI-2

Osim brojnih projektnih nedostataka te izvedbe reaktorskog postrojenja i kontrolnih uređaja, u slijedu događaja koji čine taj akcident napravljeno je dosta grešaka u intervenciji operatera, koje su pridonijele poznatome krajnjem ishodu. Slijedom kronološke tablice 2. moguće je upozoriti na neke greške.

- Operateri nisu bili pripremljeni za slučaj da pumpe koje napajaju generatore pare u nuždi (postigle su puni tlak 14 sekundi nakon akcidenta) nisu mogle dovesti vodu za hlađenje jer su na njima već bili zatvoreni ručni izolacijski ventili zbog servisnog zahvata. Ti su ventili otvoreni tek u osmoj minuti akcidenta (neke su analize pokazale da taj problem i nije bitno utjecao na razvoj akcidenta). Međutim, svako iznenađenje negativno djeluje na daljnje intervencije operatera.
- Iako je već nakon druge minute akcidenta tlak pao ispod postavne vrijednosti visokotlačnog injektiranja hladila s tendencijom daljnjeg opadanja, što je očit znak gubitka hladila, već nakon četvrte minute akcidenta bitno je reducirano injektiranje hladila. Razlog je bilo vrlo visoko pokazivanje razine u tlačniku, s tendencijom porasta. No, tlačnik je zapravo bio protočna posuda jer je rasteretni ventil ispuštao hladilo u rasteretnu posudu tlačnika. Dokaz toga bio je i porast tlaka u rasteretnoj posudi tlačnika (15 minuta nakon akcidenta propustio je rasprski disk), ali zbog lokacije tlačnog indikatora izvan glavne kontrolne ploče to nije opaženo.
- Rasteretni ventil tlačnika i dalje je ostao otvoren, a indikacija je upozoravala na bezenergetsko stanje, što je značilo da je morao biti zatvoren. Tlak hladila i dalje je padao, sve dok nakon 2 sata i 22 minute izolacijski ventil rasteretnog ventila tlačnika nije zatvoren. No, zbog velikih vibracija i kavitacije u optočnim pumpama, one su već bile zaustavljene. Nagla oksidacija jezgre počela je oko 150. minute akcidenta i rezultirala je degradaci-

jom goriva i taljenjem velikog dijela materijala jezgre te oslobađenjem dijela fizijskih produkata.

## 4.2 Greške vezane za akcident Černobil-4

Projekt reaktorskog postrojenja imao je dosta nedostataka, a radi sigurnijeg rada, suviše je ovisio o administrativnoj kontroli i postupcima. Ta je činjenica znatno pridonijela nizu pogonskih greški, odnosno grešaka u organizaciji i nadzoru. Glavni se problemi mogu ovako komentirati:

- Organizacija testa i njegovo povezivanje s radom elektrane nije jasno utvrđeno. Test je vodio stručnjak iz turbogeneratorskog područja, a rukovodstvo elektrane nije predvidjelo nadzor normalnih ograničenja u elektrani.
- Postupak testiranja nije podvrgnut pregledu sa stanovišta nuklearne sigurnosti. Postoje mišljenja da bi akcident bio blaži da nije blokiran sistem za hlađenje jezgre u opasnosti. Iz procedure se ne vidi stav rukovodstva prema kršenju pogonskih postupaka jer u postupku za testiranja nisu bile ugrađene adekvatne mjere predostrožnosti i upozorenja.
- Operateri su imali osjećaj da se test mora hitno završiti, jer se u protivnome, sve odgađa za godinu dana. Postojao je, dakle, pritisak sa strane. S obzirom na to da je cjelokupni test duže trajao, u to je bilo uključeno više smjena, a i praznik Prvog maja bio je na pragu.
- Intervencijom dispečera prekinuta je redukcija snage. Time su izmijenjeni početni uvjeti stanja reaktorske jezgre koji su bili predviđeni procedurom. To je također utjecalo na pogonsko osoblje, a bili su opterećeni i »kašnjenjem«.
- Zbog greške operatera pri podešavanju nastavne vrijednosti regulatora globalne kontrole snage, snaga reaktora naglo je padala prema 30 MWt. Tada je operater prebacio kontrolu s lokalne na globalnu (prosječnu). Gubitak reaktivnosti zbog kolapsa parne faze i porasta ksenona onemogućili su vraćanje snage 700–1000 MWt specificiranih u postupku.
- Test je započeo na niskoj snazi pa su prekršeni zahtjevi i pogonskih instrukcija i test-instrukcija. Snaga reaktora bila je 6% umjesto specificiranih 22 do 31%. Na niskoj se snazi proizvodi (oduzima) vrlo malo pare, pa je osam optočnih pumpi proizvelo protok veći od dopuštenoga. Visok protok i niska snaga reaktora rezultirali su približenjem temperature vode na ulazu u jezgru temperaturi zasićenja. Takvi uvjeti pri nekom povećanju snage uzrokuju mnogo veće povećanje sadržaja pare i reaktivnosti nego u normalnim uvjetima.

- Izbacivanje reaktora na signal ispada druge turbine bio je blokiran, čime su prekršene sigurnosne procedure, a to nisu zahtijevale test-procedure.
- Blokiranje je izbacivanje reaktora na signal tlaka u bubnju separatora i na razinu u separatoru, što onemogućuje nastavak rada reaktora usprkos nestabilnim uvjetima.
- Da bi se kompenzirala proizvodnja ksenona i negativna reaktivnost zbog smanjenja »šupljina« u jezgri, kontrolne su šipke izvlačene izvan dopuštenih sigurnosnih ograničenja. Na taj je način sistem za izbacivanje reaktora u nuždi postao manje djelotvoran.
- Sistem za hlađenje jezgre u opasnosti bio je blokiran dulje sati (a jedinica je radila sa 50% opterećenja), što je suprotno normalnom postupku. (Neke analize pokazuju da bi i akcident bio blaži da je taj sistem bio aktiviran.)
- Razvoj događaja pokazuje da ni operateri ni rukovodstvo elektrane nisu adekvatno postupili s obzirom na sigurnost postrojenja. Ni njihova spremnost da se test izvodi na vrlo niskoj razini snage, sa nenormalnim i nedopuštenim položajem kontrolnih šipki, u opisanim uvjetima jezgre te isključenim sigurnosnim uređajima upućuje na nedovoljno poznavanje strukture reaktora i njegovih osobina.

### NPP THREE MILE ISLAND AND NPP CHERNOBYL

#### Analysis of Circumstances and Event Chronology

In the article is presented a event chronology in NPP Three Mile Island and NPP Chernobyl. Sequence of events are particularly described as well as operators actions and system conditions.

### DREI — MEILEN INSEL UND TSCHERNOBYL

#### Analyse der Umstände die zum Unglück führten und die Chronologie des Ereignisses

Schilderung der Entwicklung der Schäden bei den Kernkraftwerken Drei — Meilen Insel und Tschernobyl. Die Entwicklung der Schäden wird in Einzelheiten beschrieben sowie die Aktionen der Operatoren, die Reaktionen der Anlagen und gemeinsamen Systeme.

### ОСТРОВ ТРИ МИЛЬЕ И ЧЕРНОБЫЛЬ

#### Анализ обстоятельств, вызвавших изменения и хронология событий

Обзор развития по вреждений на атомных электростанциях Остров Три Миле и Чернобыль. Секвенции развития повреждений описаны подробно и деятельность операторов включительно, поведение установок и совместных систем.

Naslov pisca:

**Vladimir Vuković, dipl. inž.**  
**Nuklearna elektrana Krško,**  
**68270 Krško,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-02-16

Telefon: (041) 216-666 \* Telegram: TEPEKA — Zagreb \* Telex: 21-319 YU TPK ZG

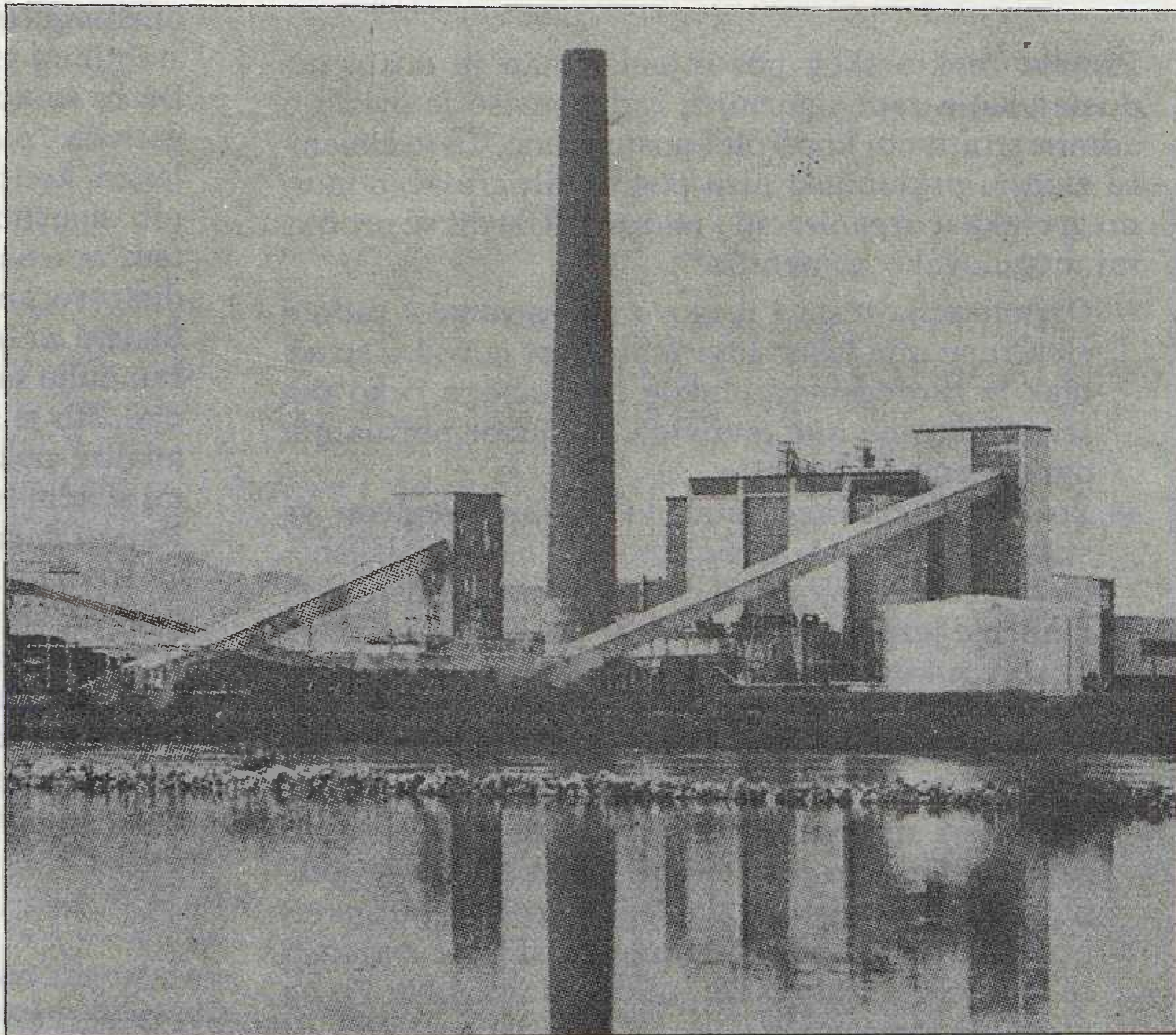
**Projektira**

**Proizvodi**

**Konstruira**

**Montira**

**Izvodi**



#### STACIONARNE KOTLOVE

po vlastitoj dokumentaciji i u suradnji do najvećih učina, tlakova i temperatura pare ili vode: za centralna grijanja • za daljinska grijanja • za tehnološke procese • za pogon parostrojeva • za baznu energetiku

#### BRODSKE KOTLOVE

po vlastitoj dokumentaciji i po licenci: glavne: • pomoćne: na naftu, na ispušne plinove, kompozitne itd.

#### ELEMENTE KOTLOVA

bubnjeve • cijevne sisteme • zagrijače vode • zagrijače zraka • pregrijače pare • čelične konstrukcije itd.

#### OPREMU KOTLOVNICA

uređaje za kemijsku pripremu vode • uređaje za toplinsku pripremu vode • cjevovode • hladnjake pare • spremnike goriva • razne posude pod tlakom • prečistače dimnih plinova • limene dimnjake • uređaje za transport goriva itd.

#### UREĐAJE ZA LOŽENJE

nepokretne roštilje • pokretne roštilje • mlinska ložišta • plinska ložišta • pneumatska ložišta • ložišta za drvenu piljevinu i otpatke • ložišta za ulja • ložišta za plin • drobilice i izbacivače šljake itd.

#### OPREMU ZA PROCESNU INDUSTRIJU

za petrokemijsku industriju • za farmaceutsku industriju • za prehrambenu industriju • za industriju građevinskog materijala • za metalurgiju itd.

#### BRODSKU OPREMU

spremnike • bojlere • hidrofore • rashladnike • zagrijače itd.

#### ARMATURE

ventile ravne, kose i kutne: zaporne, zapornoodbojne, odbojne, regulacione, sigurnosne • hvatala nečistoće • glave za napajanje • termodinamička odvajala kondenzata • kondezne lonce • vodokaze • regulatore vodostaja • ispusne pipce • slavine • prirubnice za navarivanje itd.

#### ELEMENTE ENERGETSKIH UREĐAJA

posude pod tlakom • izmjenjivače topline • razne spremnike • podnice itd.

#### OPREMU ZA TEHNOLOŠKE PROCESSE

za zagrijavanje i toplinske obrade • za transport limova, profila i cijevi • pomoćnu za zavarivanje • za uvaljavanje cijevi itd.

#### PRIBORE

za pogonska ispitivanja vode • za utvrđivanje kvalitete radiograma • za toplinska mjerenja itd.

#### SERVISIRANJE ENERGETSKIH POSTROJENJA

#### REKONSTRUKCIJE ENERGETSKIH POSTROJENJA

#### LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

defektoskopska • kemijska • metalografska • mehanička itd.

#### ATESTACIJU ZAVARIVAČA

#### RAZVOJNA ZNANSTVENA ISTRAŽIVANJA

# EKOLOŠKI ASPEKTI IZGRADNJE TE-TO NA OTPAD U ZAGREBU

Zlatko Milanović, Zagreb

UDK 577.4:697.34

STRUČNI RAD

Analiziraju se osnovni problemi spaljivanja komunalnoga i industrijskog otpada (osnovne ekološke karakteristike, problematika izgaranja, vrste roštilja i izvedbe ložišta te pročišćavanje dimnih plinova). Analiziraju se svjetska (uglavnom njemačka) iskustva i ekološki kriteriji prihvaćeni za rad spaljivaonice u Zagrebu.

**Ključne riječi:** spaljivaonica otpada, komunalni otpad, izgaranje, onečišćenje zraka.

## UVODNE NAPOMENE

Istraživanja provedena za grad Zagreb pokazala su da je za likvidiranje svih količina i vrsta otpada optimalan **sistem reciklaže korisnih sirovina i energije iz otpada, uz separaciju štetnih tvari**. Taj sveobuhvatni i složeni sistem cjelovitog zbrinjavanja otpada, shematski prikazan na slici 1, može se funkcionalno podijeliti na tri osnovna projekta:

- 1) projekt reciklaže korisnih sirovina,
- 2) projekt izdvajanja i zbrinjavanja štetnih tvari,
- 3) projekt reciklaže energije odnosno izgaranja otpada.

Svaki projekt zahtijeva posebnu stručnu i kvalitetnu analizu, uz kontinuirano međuprojektno usklađivanje. Ponuđeni sistem reciklaže sirovina i energije u Zagrebu omogućuje potpuno uklanjanje svih količina komunalnoga, tehnološkog i bolničkog otpada, uz optimalne investicijske i eksploatacijske troškove i maksimalnu zaštitu okoline. Nužno je vrednovanje i paralelno provođenje svih triju projekata, s primarno ekološkim naglaskom. To u našim uvjetima zahtijeva niz promjena dosadašnje prakse i među stručnjacima i među građanima.

1) **Projekt reciklaže korisnih sirovina** služi za postepeno izdvajanje svih korisnih sirovina u toku tehnološkog procesa stvaranja i likvidiranja otpada. To je projekt koji se u Zagrebu dosada djelomično realizirao, ali koji i dalje zahtijeva dugoročan sistematski rad. Za uspješnu realizaciju nužno je poticati građane na razne mogućnosti i koristi reciklaže sirovina, te investirati u nove tehnologije reciklaže sirovina. To se može postepeno realizirati sredstvima dobivenim prodajom korisnih tvari, ali i angažiranjem drugih financijskih izvora (programi štednje energije, programi tehnološkog razvoja, programi očuvanja okoline i sl.). Time se smanjuju troškovi likvidiranja otpada, čuvaju primarne sirovine i bitno smanjuju negativni utjecaji cijelog sistema na okolinu.

Reciklaža korisnih sirovina u zagrebačkom projektu sastoji se od:

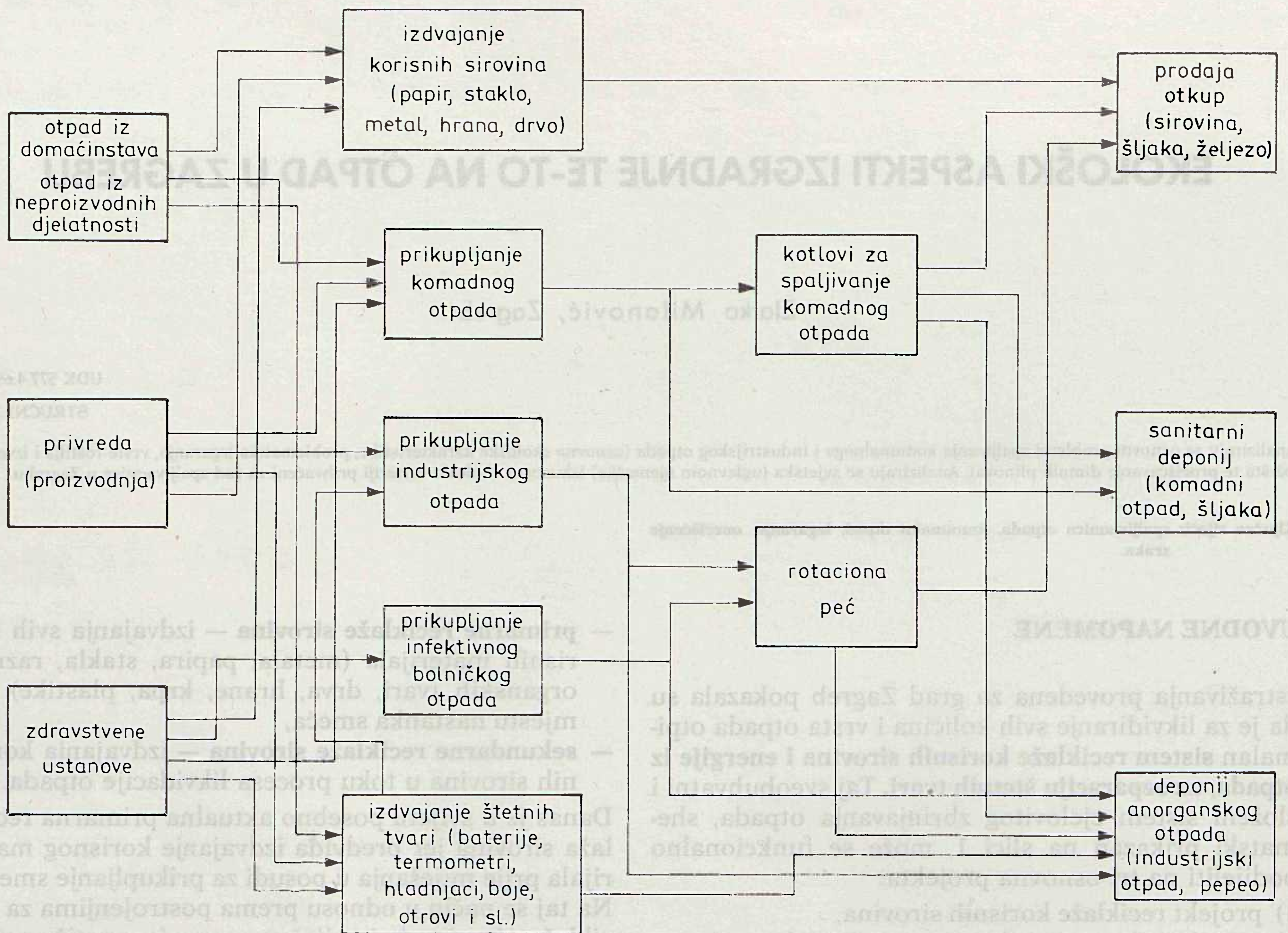
- **primarne reciklaže sirovina** — izdvajanja svih korisnih materijala (metala, papira, stakla, raznih organskih tvari, drva, hrane, krpa, plastike) na mjestu nastanka smeća,
- **sekundarne reciklaže sirovina** — izdvajanja korisnih sirovina u toku procesa likvidacije otpada.

Danas je u svijetu posebno aktualna primarna reciklaža sirovina jer predviđa izdvajanje korisnog materijala prije miješanja u posudi za prikupljanje smeća. Na taj se način u odnosu prema postrojenjima za reciklažu sirovina iz izmiješanog smeća, postižu prednosti:

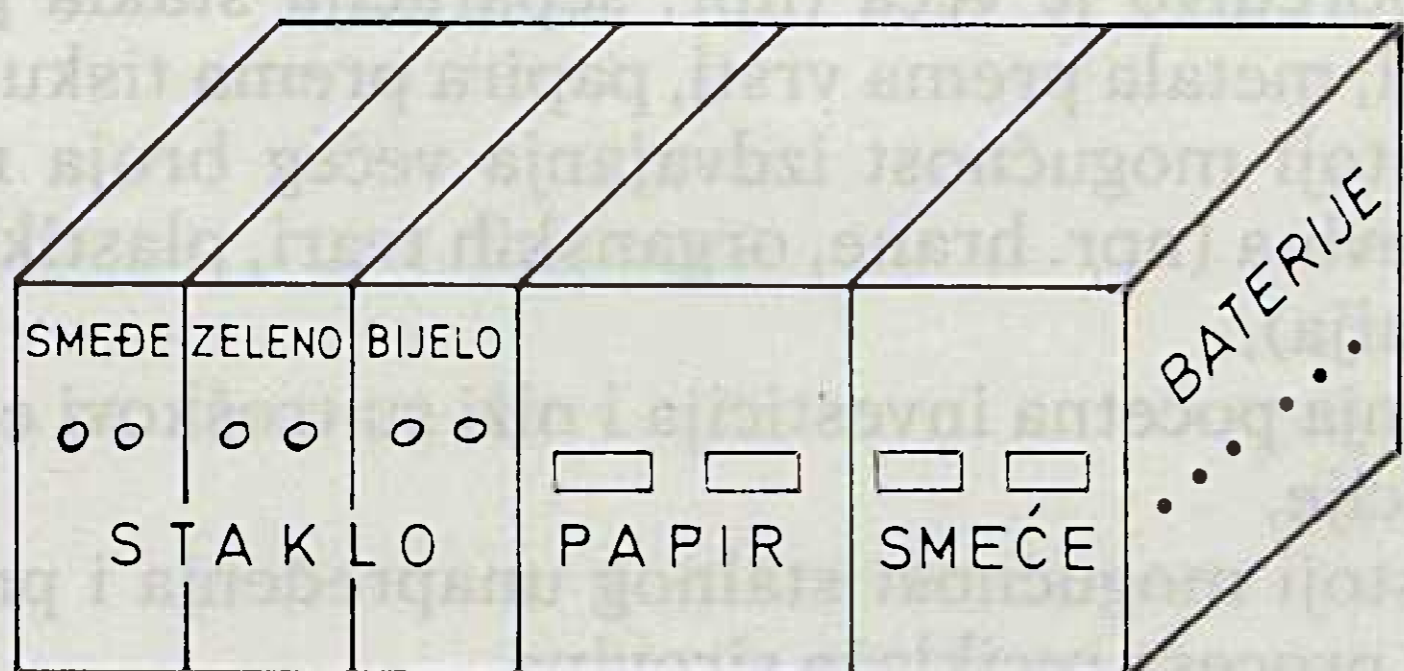
- čistoća odnosno kvaliteta izdvojenih sirovina neusporedivo je veća (npr. separacija stakla prema boji, metala prema vrsti, papira prema tisku i sl.),
- postoji mogućnost izdvajanja većeg broja raznih sirovina (npr. hrane, organskih tvari, plastike, aluminija),
- manja početna investicija i niži su troškovi eksploatacije,
- postoji mogućnost stalnog unapređenja i proširenja procesa reciklaže sirovine.

Međutim, primarnu reciklažu nije moguće provesti bez direktne suradnje s proizvođačima otpada. Suradnja između industrijskih proizvođača otpada i sakupljača odnosno prodavača recikliranih sirovina relativno je dobra, ali u Zagrebu zasada nije postignut potreban nivo suradnje sakupljača sirovina s domaćinstvima. Za potrebe domaćinstava valja postaviti kontejnere za prikupljanje stakla, papira i, eventualno, aluminijskog otpada. To je provedeno u nekim našim gradovima (npr. u Ljubljani, Sl. Požegi), a posebno uredno u gradovima Zapadne Evrope.

Provedeni su proračuni [14] pokazali da je za područje grada Zagreba potrebno najmanje 300 kontejnera (zapremine oko 2,5 m<sup>3</sup> za staklo, oko 4 m<sup>3</sup> za papir i oko 0,5 m<sup>3</sup> za stare baterije). Prijedlog takvoga višnamjenskog kontejnera za grad Zagreb prikazan je na slici 2. Uspješno provođenje primarne reciklaže pretpostavlja i preciznije određivanje korisnosti (npr. prikupljanje u korist kluba, društva ili škole), pa i uvođenjem djelatnosti tzv. male privrede.



Slika 1. Shema projekta primarne reciklaže sa spaljivanjem otpada



Slika 2. Višenamjenski kontejner za prikupljanje i primarnu reciklažu komunalnog otpada

O problematici sekundarne reciklaže korisnih sirovina u Zagrebu je dosta pisano. U jednom je razdoblju bilo odlučeno da se usvoji tehnologija reciklaže sirovina iz otpada kao osnovne tehnologije za likvidiranje svih količina komunalnog otpada. U praktičnoj se realizaciji pokazalo da realno nije moguće u Zagrebu provesti potpunu reciklažu komunalnog otpada. Istodobno su se neka postrojenja za sekundarnu reciklažu smeća u svijetu pokazala nedovoljno efikasna. Prikupljene ponude (stanje 1981. godine) za reciklažu komunalnog otpada u Zagrebu pokazale su da se nakraju ipak gotovo 50% otpada spaljuje.

U sadašnjem projektu likvidiranja svih vrsta otpada grada Zagreba, u sklopu sekundarne reciklaže predviđa se izdvajanje korisnih sirovina u toku procesa likvidacije otpada. Time je, prije svega, obuhvaćena

reciklaža sirovina (pepela, šljake i željeznog materijala) nakon izgaranja komunalnog odnosno tehnološkog otpada. Korisnom primjenom materijala koji ostane nakon izgaranja bitno se smanjuju negativni utjecaji na okolinu. Zato korisnoj primjeni svih otpadnih tvari valja dati posebno značenje. Trenutna sagledavanja upozoravaju na eventualnu mogućnost primjene pepela u cementnoj industriji, šljake u niskogradnji odnosno građevinskoj industriji i željeznog materijala u metalurgiji.

Također je potrebno kontinuirano pratiti svjetska dostignuća u razvoju tehnologije reciklaže sirovina iz otpada. Tehnologiju reciklaže korisnih tvari iz otpada u osnovi treba smatrati komplementarnom metodom spaljivanja otpada.

2) **Projekt izdvajanja i zbrinjavanja štetnih tvari** predviđa prikupljanje, izdvajanje, obradu i deponiranje svih štetnih tvari koje nastaju zajedno s otpadom odnosno u toku likvidiranja otpada. Na kraju procesa zbrinjavanja otpada te ekološki opasne tvari trebaju završiti na sanitarnom deponiju odnosno na deponiju anorganskog otpada. Već danas proizvodimo sve veće količine raznih koncentrirano otrovnih supstancija, npr. onih u filter-uređajima za pročišćavanje otpadnih voda. Njih je zabranjeno i opasno nekontrolirano odlagati. Zato gradnja deponija za anorganski otpad u Zagrebu mora imati apsolutnu prednost. Provedena su istraživanja pokazala da je moguća lo-

kacija za deponij anorganskog otpada Zagreba **lokacija** Sesevskog Kraljevca. Na osnovi preliminarne studije utjecaja na okolinu dogovorena je izrada konačne studije utjecaja na okolinu. To je središnja aktivnost za skoro donošenje odluke o izgradnji tog deponija.

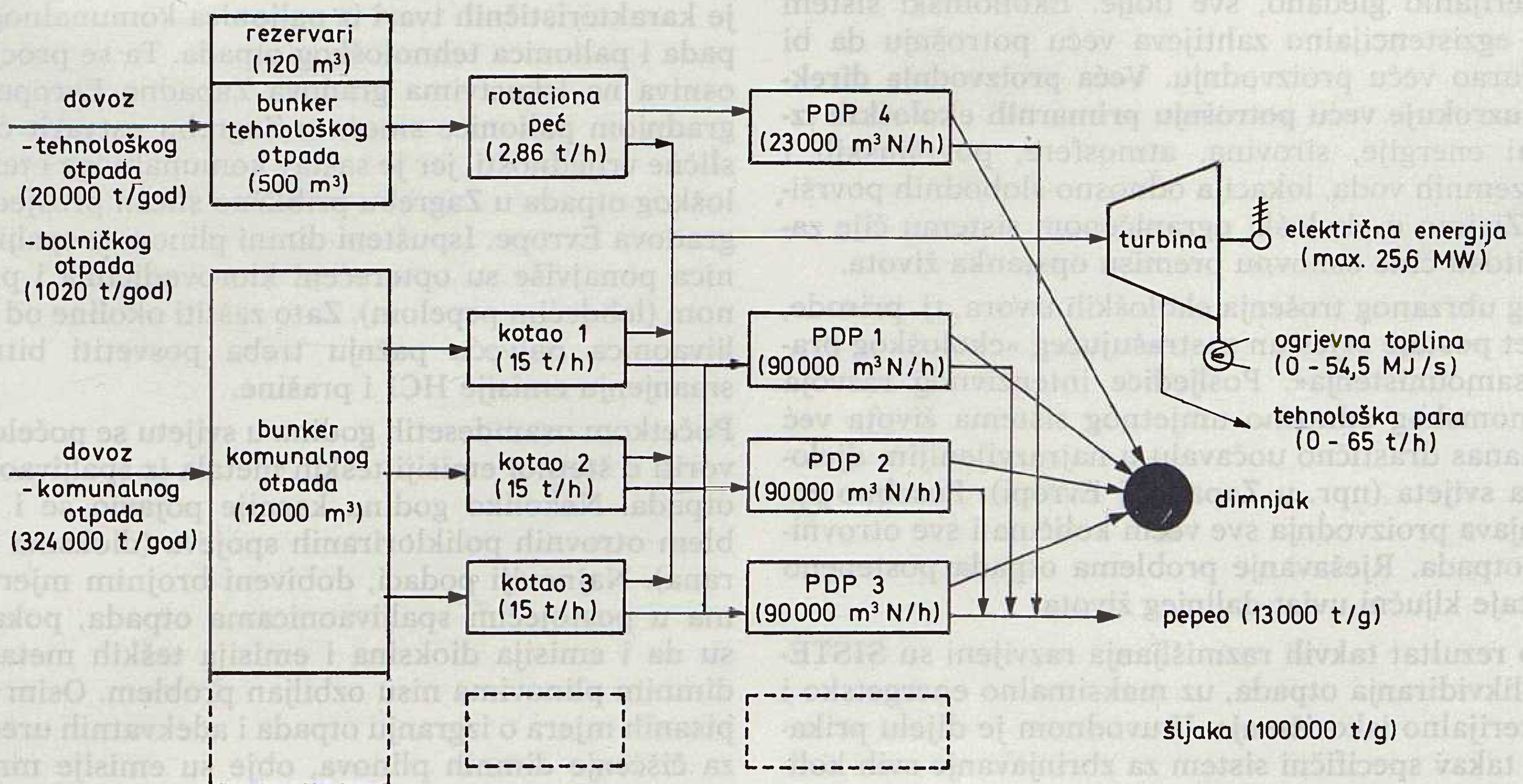
Osim aktivnost u pripremama za gradnju deponija anorganskoga i sanitarnog deponija kućnog otpada, za projekt izdvajanja i zbrinjavanja štetnih tvari u Zagrebu dosada nije gotovo ništa poduzeto. Administrativno propisivanje i konstatacije onoga što se sve ne smije raditi s ekološki otrovnim tvarima bez istodobnog propisivanja mjera i aktivnosti u prijelaznom razdoblju, pokazala su se dosada neefikasima. Zato je na nivou Grada potrebno utvrditi prijedlog kratkoročnih mjera kojima se trenutno rješavaju postojeći problemi. Izradu konkretnoga stručnog prijedloga kratkoročnih mjera treba povjeriti odgovarajućoj stručnoj organizaciji. Iskustva drugih gradova pokazuju da se uz vrlo male početne investicije mogu dobiti prvi pozitivni rezultati. Na primjer, u Zagrebu se može propisati obaveza preuzimanja starih baterija u svim prodavaonicama novih baterija. Također treba obavezati toplane, benzinske pumpe i slične objekte da preuzimaju sve količine starog ulja. Ljekarne bi pak morale preuzeti obavezu primanja starih lijekova i ujedno utvrđivati njihovu primjenjivost. Poljoprivredne bi apoteke trebale organizirati preuzimanje pesticida i sličnih tvari. To vrijedi i za prodavaonice boja i lakova itd. U tim akcijama ne bi trebalo odmah na početku inzistirati na izdvajanju velikih količina štetnih tvari. Već i najmanje iz smeća izdvojene količine opasnih tvari imaju znatnu ekološku i pedagošku vrijednost.

3) **Projekt reciklaže energije odnosno izgaranja otpada** centralni je dio prezentiranog sistema zbrinjavanja otpada u gradu Zagrebu. Izgaranjem otpada na najefikasniji se način provodi sterilizacija otpada.

Zagađeni dio sistema osim sredstava za transport obuhvaća još samo takozvane bunkere i rezervoare za smeće. Istovremeno je moguće, uz primjeran ukupni stupanj djelovanja (više od 70% za planirano tehničko rješenje u Zagrebu), iskoristiti energetska sadržaj smeća. Izgaranjem svih količina otpada u Zagrebu godišnje se može supstituirati više od 60 000 tona ekvivalentnog lož-ulja. Osim toga, izgaranjem otpada postiže se bitna redukcija volumena smeća, što je grafički prikazano na slici 3. Preostali dio volumena neiskoristive šljake i pepela nakon izgaranja, koji se mora odvesti na deponij, iznosi samo 5%. To znači da se izgaranjem otpada najmanje 20 puta produljuje vrijeme eksploatacije i smanjuju troškovi deponija danas je u visokourbaniziranim sredinama osnovni razlog za primjenu tehnologije izgaranja otpada. Pojednostavljena shema TE-TO na otpad Zagreb prikazana je na slici 4. Temeljni kapaciteti su tri linije za spaljivanje komunalnog otpada i jedna linija za spaljivanje organskog tehnološkog i bolničkog infektivnog otpada. U fazi proširenja predviđena je naknadna ugradnja još jedne linije za spaljivanje komunalnog otpada.



Slika 3. Redukcija volumena otpada primjenom tehnologije izgaranja



Slika 4. Pojednostavljena shema rada »TE-TO na otpad Zagreb«



U sastavu linije za izgaranje komunalnog otpada predviđene su sljedeće funkcionalne cjeline:

- bunker za prijem i eventualnu predobradu smeća,
- uređaji za transport otpada od bunkera do ljevka,
- roštilj s ložištem za spaljivanje otpada,
- kotao za proizvodnju pregrijane vodene pare,
- postrojenje za pročišćavanje i odvod dimnih plinova,
- postrojenja za prikupljanje šljake i pepela.

Linija za izgaranje tehnološkog otpada obuhvaća:

- bunker, rezervoare i razna skladišta za prihvatanje tehnološkoga i bolničkog otpada,
- transportne uređaje,
- rotacionu peć za spaljivanje otpada,
- kotao za proizvodnju pregrijane vodene pare,
- postrojenje za pročišćavanje i odvod dimnih plinova,
- postrojenja za prikupljanje šljake i pepela.

Pregrijana vodena para (s parametrima 42 bara i 405 °C) odvodi se do kondenzaciono-oduzimne turbine. Maksimalna količina pare na ulazu u turbinu je 150 t/h. Maksimalna električna snaga turbogeneratora na stezaljkama generatora je 32 MW. Maksimalna toplinska snaga za ogrjevnu potrošnju je oko 55 MW, a za tehnološke parne potrebe oko 90 MW. Veoma razvijen sistem centralizirane opskrbe Zagreba toplinom omogućio je primjerno uklapanje TE-TO na otpad u energetske sisteme Grada i SR Hrvatske.

Ostali tehničko-tehnološki podaci o budućoj spaljivaonici otpada grada Zagreba navedeni su u lit. [5].

## OSNOVNE EKOLOŠKE KARAKTERISTIKE TE-TO NA OTPAD

Suvremeno društvo danas je nemilosrdno opterećeno zakonima ekonomskog sistema koji se osniva na želji većine ljudi da žive tehno-ekonomski odnosno, materijalno gledano, sve bolje. Ekonomski sistem pak egzistencijalno zahtijeva veću potrošnju da bi osigurao veću proizvodnju. **Veća proizvodnja direktno uzrokuje veću potrošnju primarnih ekoloških izvora:** energije, sirovina, atmosfere, površinskih i podzemnih voda, lokacija odnosno slobodnih površina. Živimo u ekološki ograničenom sistemu čije zakonitosti čine osnovnu premisu opstanka života.

Zbog ubrzanog trošenja ekoloških izvora, tj. prirode, svijet postaje svjestan zastrašujućeg »ekološkog praga samouništenja«. Posljedice intenzivnog razvoja ekonomskog odnosno umjetnog sistema života već se danas drastično uočavaju u najrazvijenijim djelovima svijeta (npr. u Zapadnoj Evropi). Posebno zabrinjava proizvodnja sve većih količina i sve otrovnijeg otpada. Rješavanje problema otpada postepeno postaje ključni uvjet daljnjeg života.

Kao rezultat takvih razmišljanja razvijeni su SISTEMI likvidiranja otpada, uz maksimalno energetske i materijalne iskorištenje. U uvodnom je dijelu prikazan takav specifični sistem za zbrinjavanje svih količina i vrsta otpada u Zagrebu. Osnovni zadatak u realizaciji sistema zbrinjavanja otpada jest zaštita okoli-

ne. Ne smije se dopustiti da reciklaža energije i reciklaža korisnih sirovina u projektiranju i izvedbi dobiju prioritetno značenje. To se posebno odnosi na uklapanje spaljivaonice otpada u ukupni sistem zbrinjavanja. Neprihvatljiva je teza o gradnji spaljivaonice otpada radi proizvodnje energije. Spaljivaonica otpada uvijek se gradi radi ekološki prihvatljivog načina zbrinjavanja smeća. Iskorištenje energije i recikliranje korisnih sirovina pritom imaju sekundarno značenje.

Takav pristup izgradnji TE-TO na otpad u Zagrebu već u fazi pripreme za izgradnju zahtijeva utvrđivanje osnovnih ekoloških karakteristika. Definiranje tehnološkog procesa spaljivanja otpada mora polaziti od mjera maksimalne zaštite okoline, zasnovanih na osnovnim ekološkim karakteristikama.

U sastavu linija za spaljivanje otpada razlikujemo sljedeće mjere zaštite okoline:

- **primarne ekološke mjere** obuhvaćaju pripremu za spaljivanje otpada, izgaranje otpada i sekundarno izgaranje štetnih plinova,
- **sekundarne ekološke mjere** obuhvaćaju izdvajanje i separaciju produkata izgaranja, pročišćavanja dimnih plinova i otpadnih voda te deponiranje nekorisnih ostataka.

Pripreme za gradnju spaljivaonice otpada moraju predvidjeti definiranje svih potrebnih primarnih i sekundarnih ekoloških mjera. Isto treba učiniti prije konačnog odabira tehnološke opreme postrojenja i definiranja uvjeta rada.

Pri definiranju ekoloških osobina postrojenja za spaljivanje otpada ponajprije se polazi od propisanih vrijednosti dopuštene emisije. Međutim, u nas ne postoje zakoni kojima se određuju maksimalne emisije štetnih tvari iz palionica otpada. U Zagrebu postoje propisi o »otpadnim vodama« i oni će se primijeniti i realizirati.

U tablici 1. dan je pregled srednjih vrijednosti emisije karakterističnih tvari iz palionica komunalnog otpada i palionica tehnološkog otpada. Ta se procjena osniva na iskustvima gradova Zapadne Evrope. Izgradnjom palionice smeća u Zagrebu ostvarit će se slične vrijednosti, jer je sastav komunalnoga i tehnološkog otpada u Zagrebu približno sličan prosjecima gradova Evrope. Ispušteni dimni plinovi iz spaljivaonice ponajviše su opterećeni klorovodicima i prašinom (lebdećim pepelom). Zato zaštititi okoline od spaljivaonice najveću pažnju treba posvetiti bitnom smanjenju emisije HC1 i prašine.

Početak osamdesetih godina u svijetu se počelo govoriti o štetnoj emisiji teških metala iz spaljivaonice otpada. Nekoliko godina kasnije pojavio se i problem otrovnih polikloriranih spojeva (dioksina i furana). Najnoviji podaci, dobiveni brojnim mjerenjima u postojećim spaljivaonicama otpada, pokazali su da i emisija dioksina i emisija teških metala u dimnim plinovima nisu ozbiljan problem. Osim propisanih mjera o izgradnji otpada i adekvatnih uređaja za čišćenje dimnih plinova, obje su emisije mnogo niže od propisanih (dopuštenih) količina, odnosno ispod granica opasnih za život ljudi.

**Tablica 1. Procjena srednjih vrijednosti glavnih emisija iz kotla za spaljivanje otpada u gradovima**

	Komunalni otpad	Tehnološki otpad
1. HCl (mg/m <sup>3</sup> )	800	4000
2. HF (mg/m <sup>3</sup> )	10	250
3. SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	400	2000
4. prašina (mg/m <sup>3</sup> )	4000	8000

**Tablica 2. Usporedni pregled normativa za dopuštenu emisiju iz palionica otpada**

Veličina	Jedinica	SR Njemačka		Švicarska	Austrija IX/86.
		TA-Luft 74/84.	TA-Luft 86.		
1. prašina	mg/m <sup>3</sup>	100	30	50	25
2. HCl	mg/m <sup>3</sup>	100	50	100	30
3. HF	mg/m <sup>3</sup>	5	2	5	0,7
4. SO <sub>2</sub> (+ SO <sub>3</sub> )	mg/m <sup>3</sup>	200	100	/	100
5. CO	mg/m <sup>3</sup>	1000	100	/	100
6. C-ukupni (organ.)	mg/m <sup>3</sup>	/	20	/	20
7. anorganske tvari					
– klasa I.	mg/m <sup>3</sup>	20	0,1(+0,1)	0,1(+0,1)	0,1(+0,1)
– klasa II.	mg/m <sup>3</sup>	50	1,0	/	1,0
– klasa III.	mg/m <sup>3</sup>	75	5,0	5,0	4,0
8. NO <sub>x</sub> (kao NO <sub>2</sub> )	mg/m <sup>3</sup>	/	500	/	200
9. dioksini i furani	mg/m <sup>3</sup>	/	/	/	0,1

U tablici 2. dan je pregled normativa dopuštene emisije palionice otpada za nekoliko zemalja s najstrožim zahtjevima. Po pravilu, kreatori tih propisa težili su kontinuiranom smanjivanju dopuštenih maksimalnih vrijednosti emisije. Pritome se često postupalo formalno pa su se postepeno javile brojne nelogičnosti koje nemaju stručnog ni logičnog objašnjenja. Najbolji dokaz te tvrdnje su bitne razlike (do 100%) između pojedinih vrijednosti i definicija. Te su razlike vrlo uočljive ako vrijednosti iz tablice 2. usporedimo s propisanim maksimalnim vrijednostima emisije za slične energetske objekte.

Jednostavno preslikavanje inozemnih propisa načelno ne bismo smjeli prihvatiti. Primjena tuđih propisa o dopuštenoj emisiji znači direktno vezanje za tehnologiju (»uvoz pameti«) tih zemalja i nivo specifične investicije u ekološku opremu. Naprimjer, nema nikakve osnove slijepo primijeniti propise SR Njemačke (TA-Luft) kada danas u Jugoslaviji samo iz te zemlje stižu triputa veće količine SO<sub>2</sub> (19 milijuna tona godišnje, lit. [16]) nego što ih Jugoslavija emitira u SR Njemačku.

Tehnologija pročišćavanja dimnih plinova i zakoni o dopuštenoj emisiji u svijetu se intenzivno razvijaju tek posljednjih sedam godina. Ta se tehnologija intenzivno razvija i mijenja. Zato nije kasno da se postepeno uključimo u njezin razvoj na bazi vlastitih znanja. Pri tome je definiranje uvjeta dopuštene emisije ključni činilac. Stoga je na temelju tuđih iskustava, vlastitih saznanja i pretpostavke maksimalne zaštite okoline pri gradnji spaljivaonice smeća u Zagre-

bu potrebno odrediti vrijednosti maksimalne emisije štetnih tvari, vodeći računa o našim ekonomskim mogućnostima. Konkretno, za TE-TO na otpad Zagreb određen je dimnjak minimalne visine 170 m, što je mnogo više od propisane visine dimnjaka u SR Njemačkoj.

U tablici 3. izrađen je usporedni pregled minimalnih vrijednosti emisije zahtijevanih »Konačnom studijom utjecaja na okolinu«, s predloženim ostvarljivim vrijednostima za natječajnu dokumentaciju. Prijedlog ostvarljivih vrijednosti polazi od mogućnosti smanjenja emisije štetnih tvari, prije svega primarnim ekološkim mjerama. Potrebne sekundarne mjere ovise direktno o kvaliteti i nivou provedbe primarnih ekoloških mjera.

Sekundarne ekološke mjere su specifične investicijski i eksploatacijski mnogo skuplje, i u svakom ih konkretnom SISTEMU zbrinjavanja otpada treba minimalizirati provedbom primarnih ekoloških mjera. Efikasna provedba primarnih ekoloških mjera od samog početka projektiranja spaljivaonice zahtijeva njihovo definiranje. U sklopu uvodnog dijela analizirane su mogućnosti pripreme smeća prije spaljivanja takozvanom primarnom reciklažom korisnih sirovinna i izdvajanjem štetnih tvari. Zato će se u nastavku detaljnije razmotriti samo vrlo složena problematika izgaranja otpada.

**Tablica 3. Prijedlog ostvarljivih vrijednosti emisije dimnih plinova za TE-TO na otpad Zagreb**

Emisija	Minimalni zahtjev (prema »Konačnoj studiji utjecaja na okolinu«)	Prijedlog ostvarljivih vrijednosti (kao uvjet za TENDER)
1. prašina (mg/m <sup>3</sup> )	100	50
2. HCl (mg/m <sup>3</sup> )	100	50
3. HF (mg/m <sup>3</sup> )	5	5
4. CO (g/m <sup>3</sup> )		
– komunalni otpad	1	1
– tehnološki otpad	100	100
5. SO <sub>2</sub> + SO <sub>3</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	200	200 (400)
6. NO <sub>x</sub> (kao NO <sub>2</sub> ) (mg/m <sup>3</sup> )	/	500
7. C-ukupni, org. tvari (mg/m <sup>3</sup> )	/	20
8. anorganske tvari (mg/m <sup>3</sup> )		
I. klasa (Cd, Hg)	/	0,1 (+0,1)
II. klasa (Co, Ni, arsen)	/	1,0
III. klasa (Pb, Cr, Zn)	/	4,0

## PROBLEMATIKA IZGARANJA OTPADA

Dosadašnja istraživanja i iskustva o radu spaljivaonice smeća nepobitno su pokazala da se smeće kvalitetnim izgaranjem maksimalno energetski vrednuje te da se maksimalno smanjuje emisija štetnih tvari. Kontrolirano izgaranje otpada u ložištu kotlova spaljivaonice osnova je prednost spaljivanja u usporedbi s drugim metodama zbrinjavanja (deponiranjem, kompostiranjem, proizvodnjom humusa, nekontroliranim izgaranjem i sl.). Zato se izboru kotla odnosno procesa izgaranja smeća mora posvetiti puna pažnja. Komunalni otpad, tj. otpad iz domaćinstva zapravo je mješavina raznih gorivih i negorivih tvari. Ta mje-

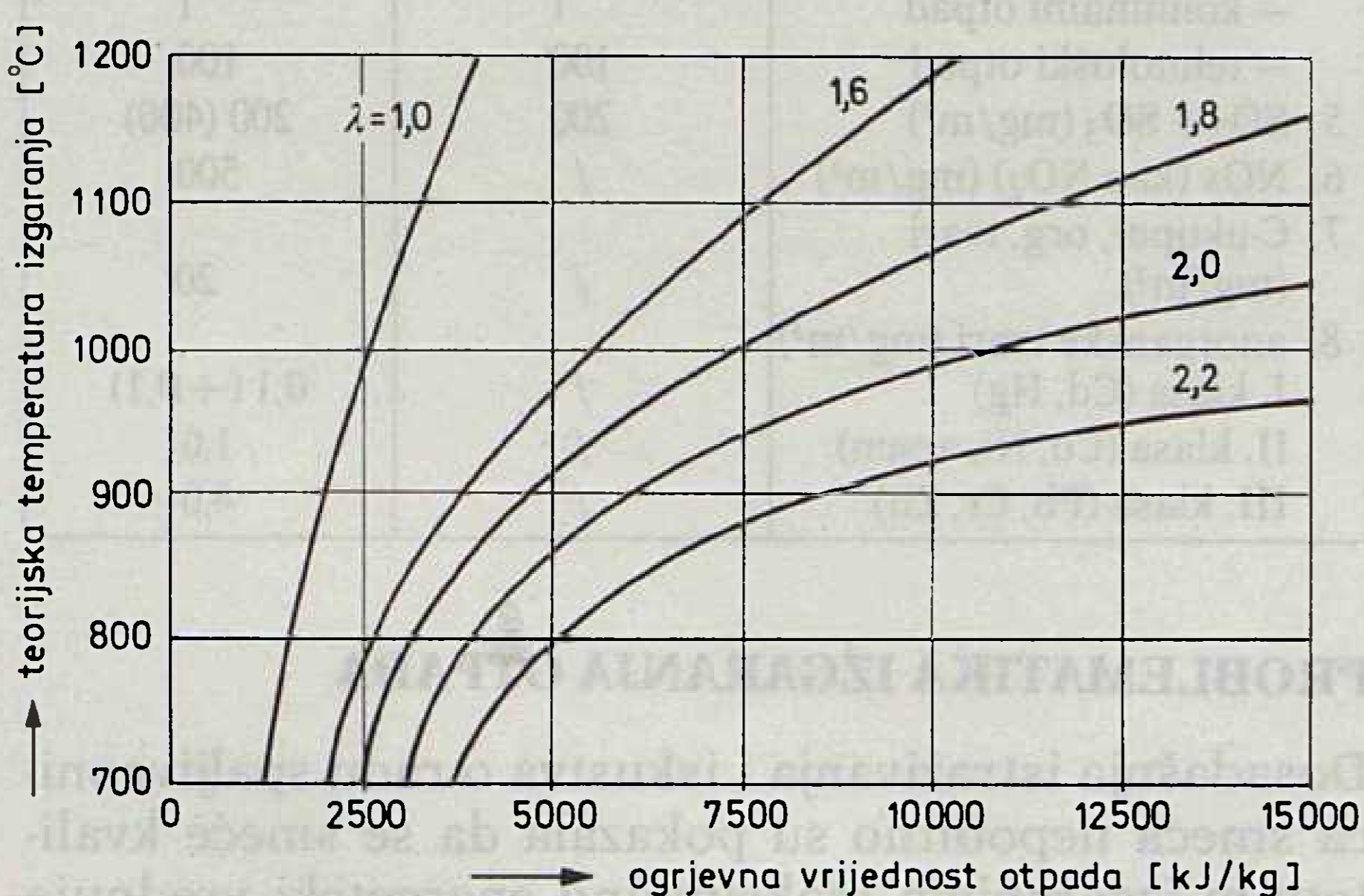
šavina nije nikada konstantnog sastava, već se u toku rada spaljivaonice stalno mijenja. Zato je vrlo važno prije loženja dobro izmiješati otpad.

Tehnika loženja u spaljivaonicama primarno je usmjerena za različitost sastava smeća. Izgaranjem smeća osigurava se potpuno termičko razbijanje organskih komponenti na anorganske spojeve. U toku procesa pothlađivanja mora se pak spriječiti povratno stvaranje organskih tvari i transfer u vodi topljivih tvari te tvari s niskom temperaturom taljenja u ispušnim plinovima.

Proces izgaranja otpada u području plamena određen je kemijskim, termodinamskim i strujajućim međudjelovanjima. Kvaliteta tog procesa odnosno razgradnje štetnih spojeva, uz konstantni sastav smeća, ovisi prije svega o:

- temperaturi izgaranja,
- vremenu razgradnje štetnih plinova,
- temperaturi naknadnog izgaranja,
- turbulenciji u području izgaranja.

**Temperatura izgaranja** teorijski ovisi o donjoj ogrjevnoj vrijednosti smeća ( $H_d$ ) i pretičku zraka u ložištu ( $A$ ). Temperatura izgaranja povećava s ogrjevom vrijednosti smeća, a smanjuje s porastom pretička zraka. To je prikazano na slici 5. Očekivane ogrjevne vrijednosti komunalnog otpada urbanih sredina u Evropi prosječno su između 6 000 i 11 000 kJ/kg. Suvremeni kotlovi za spaljivanje kućnog otpada rade s pretičkom zraka od 1,8 do 2,0 (rjeđe do 2,2), tako da je prosječna temperatura izgaranja između 900 i 1100 °C (bez dodatnog loženja). Više temperature (1200 °C i više) mogu se postići ponajprije smanjenjem pretička zraka. To se događa na početku izgaranja smeća na roštilju (I. i II. zona), kada se zbog nedovoljne količine zraka i oksidacije plinovitih produkata visoke ogrjevne vrijednosti kratkotrajno poveća temperatura plamena.



Slika 5. Dijagram ovisnosti teorijske temperature izgaranja o ogrjevnoj vrijednosti smeća i pretička zraka

**Vrijeme razgradnje štetnih tvari** izgaranja otpada ovisi o visini temperature izgaranja i njezinu trajanju. Osnovno pravilo za smanjenje štetne emisije jest održavanje procesa izgaranja što dulje na što višoj temperaturi. To zahtijeva izvedbu takozvanih toplih lo-

žišta za izgaranje otpada. Osnovne karakteristike toplog ložišta ovise o:

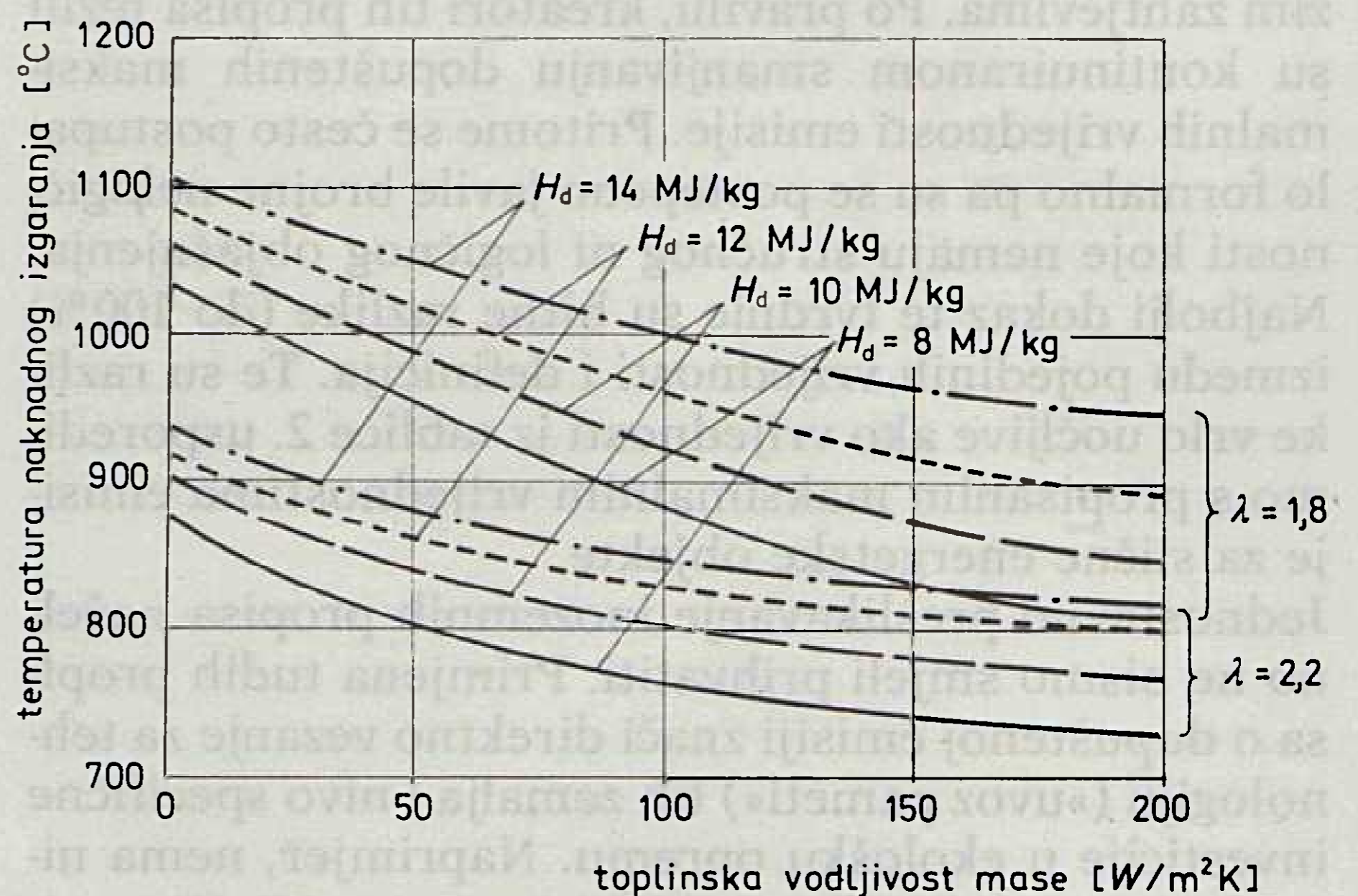
- debljini nabojne (šamotne) mase,
- toplinskoj vodljivosti nabojne mase,
- visini nabojne mase u ložištu,
- predgrijavanju primarnoga i sekundarnog zraka za izgaranje,
- šamotiranju isparivačkog dijela kotla,
- stupnju zaprljanosti kotlovske površine,
- ugradnji dodatnih gorača,
- regulaciji loženja.

Kao primjer važnosti visine i trajanja temperature izgaranja smeća ističe se istraživanje jednog laboratorija za zaštitu okoline u SAD lit. [8] kojim je utvrđen stupanj razgradnje polikloriranih bifenola (PBC) od čak 99,995% pri temperaturi najmanje 800 i vremenu od najmanje 2 sekunde.

**Temperatura naknadnog izgaranja** je, prema najnovijim istraživanjima, najvažnija za razgradnju otrovnih polikloriranih spojeva diona (PCDD) i furana (PCDF). Prema propisima u SR Njemačkoj (TA-Luft), temperatura naknadnog izgaranja mjeri se u prostoru za naknadno izgaranje nakon posljednjeg dovoda zraka. Ta temperatura direktno ovisi o tri osnovne veličine:

- donje ogrjevne vrijednosti smeća,
- pretička zraka,
- toplinske vodljivosti nabojne mase u ložištu.

Međusobna ovisnost temperature naknadnog izgaranja i te tri veličine dana je na slici 6. Vidljivo je da se bez problema mogu postići i garantirati temperature naknadnog izgaranja više od 800 °C (TA-Luft).



Slika 6. Temperatura naknadnog izgaranja u ložištu spaljivaonice smeća

**Turbulencija u području izgaranja** također je vrlo važna preventivna mjera za minimaliziranje emisije štetnih produkata. Turbulencija, tj. miješanje otpada i plinova nastalih izgaranjem uglavnom ovise o tipu roštilja i izvedbi ložišta kotla za spaljivanje smeća. Osnovno pravilo je postizanje što boljeg miješanja u toku cijelog procesa izgaranja, od početne faze sušenja i zagrijavanja do sekundarnog izgaranja proizvedenih plinova.

## VRSTE ROŠTILJA I IZVEDBE LOŽIŠTA ZA SPALJIVANJE KOMUNALNOG OTPADA

### a) Karakteristike i tipovi roštilja

Roštilj i ložište su ključni dijelovi svakog kotla. U suvremenim palionicama komunalnog otpada susrećemo sljedeće vrste roštilja:

- putujući roštilj (po pravilu je stepeničast),
- valjkasti roštilj (sistem VKW — Babcock),
- ravni roštilj s hodom prema naprijed (sistemi Von Roll, W + E, Vollund, K + K),
- ravni roštilj s povratnim hodom (sistem Martin),
- rotacioni roštilj (sistem Westinghouse),
- ravni roštilj s rotacionom peći (sistem Vollund).

Shematski prikaz osnovnih tipova roštilja daje slika 7. Svaki tip roštilja ima određene investicijske i eksploatacijske prednosti. Ovisno o vrsti i veličini palionice, danas se u svijetu upotrebljavaju gotovo svi tipovi roštilja (osim kružnoga). Principi rada većine roštilja patentirani su prije nekoliko desetljeća. Međutim, na gotovo svim sistemima roštilja za izgaranje otpada posljednjih nekoliko godina izvedeno je i patentirano niz konstruktivnih i tehnoloških detalja. Po pravilu, roštilji za spaljivanje otpada razvijeni su

#### valjkasti roštilj (sistem Babcock)

- nema guranja smeća
- miješanje smeća
- kretanje smeća prema naprijed

#### ravni roštilj s hodom prema naprijed

- slabo guranje smeća
- slabo miješanje smeća
- dobro kretanje prema naprijed

#### ravni roštilj s povratnim hodom (sistem Martin)

- dobro guranje smeća
- dobro miješanje smeća
- slabo kretanje prema naprijed

#### rotacioni roštilj (sistem Westinghouse-Connors)

- nema guranja smeća
- dobro miješanje smeća
- slabo kretanje smeća prema naprijed

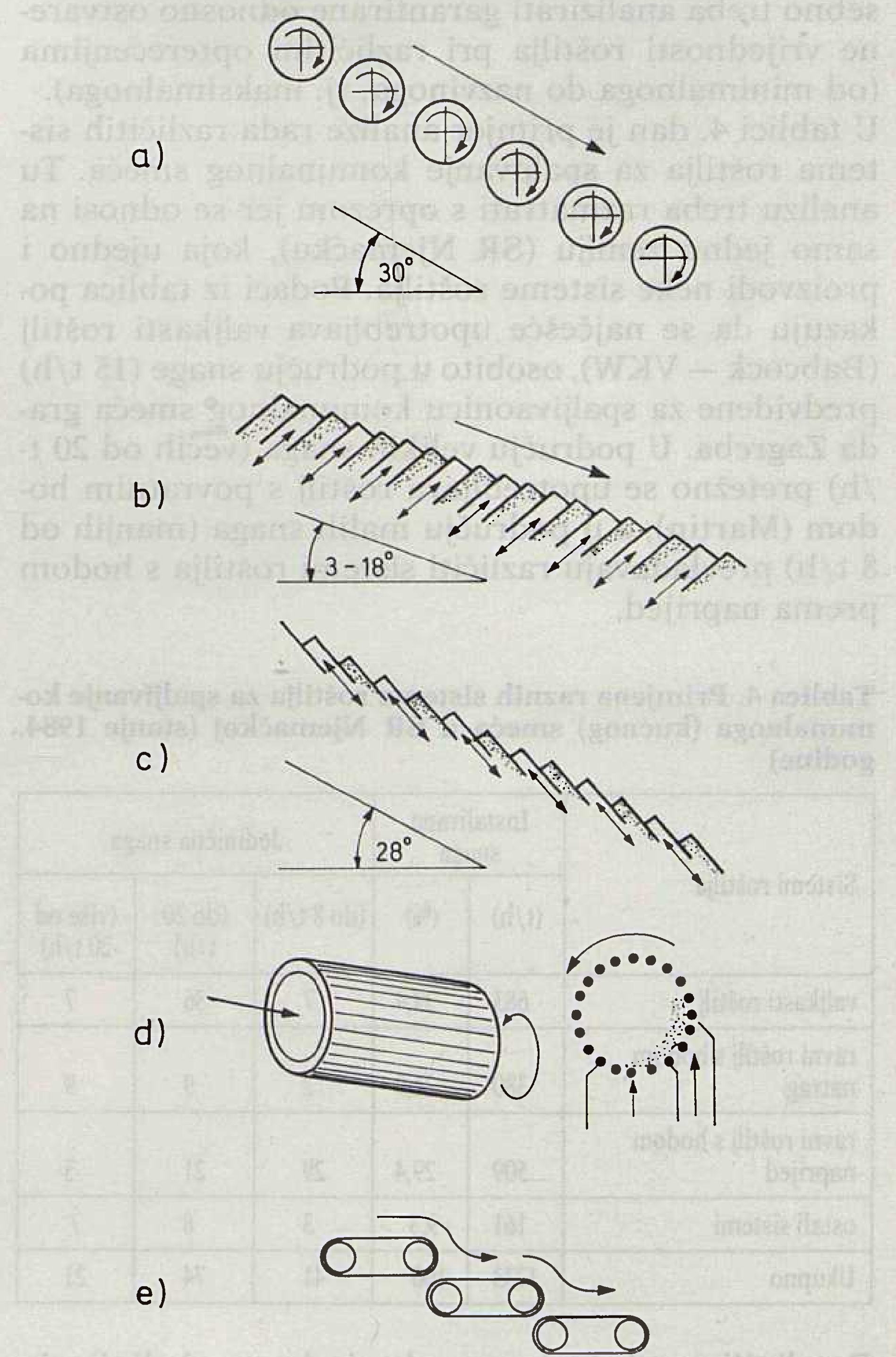
#### putujući stepeničasti roštilj

- nema guranja smeća
- veoma slabo miješanje smeća
- dobro kretanje prema naprijed

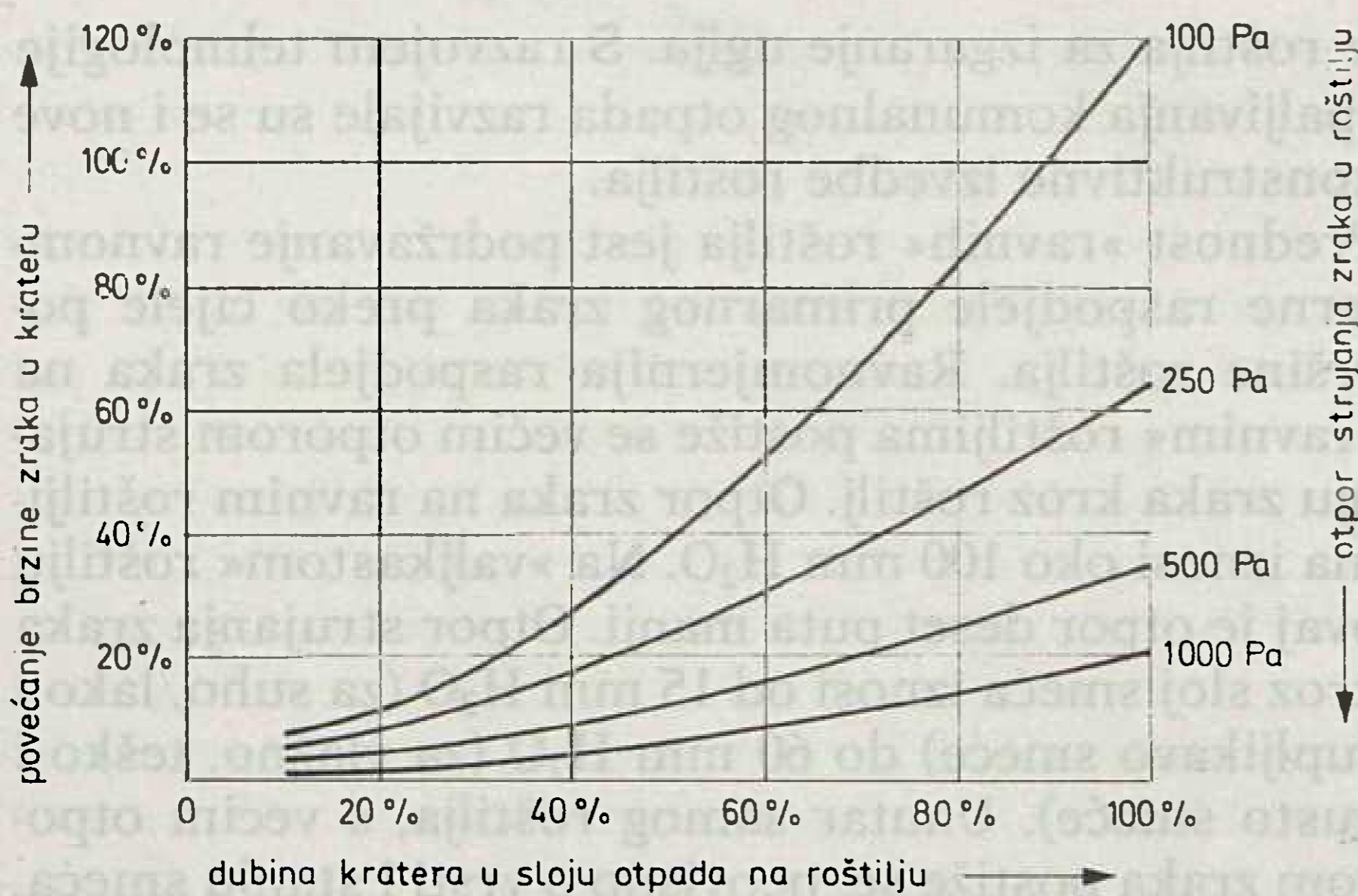
iz roštilja za izgaranje uglja. S razvojem tehnologije spaljivanja komunalnog otpada razvijale su se i nove konstruktivne izvedbe roštilja.

Prednost »ravnih« roštilja jest održavanje ravnomjerne raspodjele primarnog zraka preko cijele površine roštilja. Ravnomjernija raspodjela zraka na »ravnim« roštiljima postiže se većim otporom strujanja zraka kroz roštilj. Otpor zraka na ravnim roštiljima iznosi oko 100 mm H<sub>2</sub>O. Na »valjkastom« roštilju ovaj je otpor deset puta manji. Otpor strujanja zraka kroz sloj smeća iznosi od 15 mm H<sub>2</sub>O (za suho, lako i šupljikavo smeće) do 60 mm H<sub>2</sub>O (za vlažno, teško i gusto smeće). Unutar samog roštilja, s većim otporom zraka postiže se, neovisno o vrsti i stanju smeća, mnogo ravnomjernija raspodjela primarnog zraka, a time i kvalitetnije izgaranje. Na slici 8. pokazana je ovisnost promjene brzine strujanja zraka kroz sloj smeća o visini unutrašnjeg otpora roštilja. Vidljivo je da su promjene brzine strujanja zraka u smeću (krateru) mnogostruko manje na roštilju s velikim otporom.

Osim toga, »ravni« su roštilji termički i mehanički veoma opterećeni. Zato se roštiljnice »ravnih« roštilja izrađuju od legiranih čelika, iako time nije izbjegnuto njihovo veoma brzo trošenje (10 do 20% godišnje). »Valjkasti« je roštilj bitno manje termički i me-



Slika 7. Shema osnovnih vrsta roštilja za spaljivanje komunalnog otpada



Slika 8. Ovisnost promjene brzine strujanja zraka kroz smeće o otporu strujanja zraka kroz roštilj

hanički opterećen, pa je njegova izvedba jeftinija, a rad robusniji.

Posebna karakteristika roštilja za sagorijevanje otpada jest njegova referentna veličina, tj. snaga. Najveću snagu dosada je postigao roštilj sistema Martin — 50 t/h komunalnog otpada. Taj tip roštilja pogodan je za izvedbu velikih jediničnih snaga zbog principa rada i konstrukcije. Istovremeno to može biti i nedostatak pri izvedbi roštilja manje instalirane snage. Posebno treba analizirati garantirane odnosno ostvarene vrijednosti roštilja pri različitim opterećenjima (od minimalnoga do nazvinoga, tj. maksimalnoga). U tablici 4. dan je primjer analize rada različitih sistema roštilja za spaljivanje komunalnog smeća. Tu analizu treba razmatrati s oprezom jer se odnosi na samo jednu zemlju (SR Njemačku), koja ujedno i proizvodi neke sisteme roštilja. Podaci iz tablica pokazuju da se najčešće upotrebljava valjkasti roštilj (Babcock — VKW), osobito u području snage (15 t/h) predviđene za spaljivaonicu komunalnog smeća grada Zagreba. U području velikih snaga (većih od 20 t/h) pretežno se upotrebljava roštilj s povratnim hodom (Martin), a u području malih snaga (manjih od 8 t/h) prevladavaju različiti sistemi roštilja s hodom prema naprijed.

Tablica 4. Primjena raznih sistema roštilja za spaljivanje komunalnoga (kućnog) smeća u SR Njemačkoj (stanje 1984. godine)

Sistemi roštilja	Instalirana snaga		Jedinična snaga		
	(t/h)	(%)	(do 8 t/h)	(do 20 t/h)	(više od 20 t/h)
valjkasti roštilj	683	39,4	7	36	7
ravni roštilj s hodom natrag	380	21,9	2	9	9
ravni roštilj s hodom naprijed	509	29,4	29	21	5
ostali sistemi	161	9,3	3	8	/
<b>Ukupno</b>	<b>1733</b>	<b>100</b>	<b>41</b>	<b>74</b>	<b>21</b>

Detaljniji pregled iskustava i primjene pojedinih sistema roštilja dobiva se analizom primjene određene

nog sistema roštilja izvan domicilnog područja. Također treba analizirati višegodišnju upotrebu nekog roštilja u određenoj spaljivaonici te uzroke eventualne zamjene drugim sistemom roštilja.

Odnosi svjetskih cijena raznih sistema roštilja također pokazuje određene kvalitativne odnose. Najskuplji je ravni roštilj s hodom prema natrag te ravni roštilj s dodatkom rotacione peći. Investicijski je vrlo povoljan valjkasti roštilj, i to stoga što je konstrukcijski veoma jednostavan.

## b) Izvedbe ložišta

Pri izgaranju otpada na roštilju razlikujemo četiri faze:

- I. faza — sušenje smeća,
- II. faza — paljenje smeća,
- III. faza — izgaranje smeća,
- IV. faza — dogaranje odnosno progaranje smeća.

Emisije štetnih spojeva, naročito termički stabilnih kloriranih ugljikovodika, najkritičnije su I. i II. fazi. Jedna od bitnih karakteristika svakoga dobrog kotla odnosno roštilja jest i potpuno progaranje svih količina smeća. Stoga je postotak progorljivosti važna garantirana veličina.

Paljenje smeća počinje postepeno, na nekoliko mjesta. U tom trenutku na ostalim mjestima temperatura paljenja još nije postignuta. Tako se stvaraju neugodna prijelazna područja relativno niskih temperatura i povećane koncentracije ugljičnog monoksida i organskih tvari (isplinjavanje otrovnih plinova). Zato se pri izgaranju otpada prije svega mora skratiti vrijeme trajanja I. i II. faze. U praksi se to postiže:

- predgrijavanjem primarnog zraka koji se dovodi ispod roštilja,
- dodatnim izgaranjem tj. dovodenjem sekundarnog zraka iznad roštilja,
- pogodnom izvedbom roštilja,
- pogodnom izvedbom ložišta.

Po pravilu pri gradnji spaljivaonice otpada treba zahtijevati izvedbu »toplog« ložišta uz stroge garancije brzine stvaranja taloga na stijenakama ložišta. Zbog smanjivanja brzine stvaranja i količine taloga početkom osamdesetih godina prije nekoliko godina, razvijena su takozvana hladna ložišta. Njihove su bočne stijene ložišta u području izgaranja prekrivene čeličnim pločama. Te se ploče dobro hlade takozvanim terciarnim zrakom. Hlađenjem bočnih stijena bitno su smanjena taloženja u ložištu. Međutim, u »hladnim« su ložištima ostali negativni efekti povećani. Zato se danas uglavnom ne grade »hladna« ložišta. Određenim patentnim rješenjem s dovodenjem »slobodnog« zraka (Essen-Karnap, SR Njemačka) i u toplom se ložištu može izbjeći veće taloženje.

Već je rečeno (sl. 5) da se sa smanjivanjem pretička zraka povisuje temperatura izgaranja. Mnoge spaljivaonice danas rade s velikim pretičkom zrakom (2,0 i više). Uzrok povećanog pretička zraka u ložištu kotla za spaljivanje komunalnog otpada jest dovodenje zraka u više nivoa — zona. Za to ima više razloga

(hlađenje ložišta, hlađenje roštilja, sekundarno izgaranje, sušenje smeća, sprečavanje taloženja na bočnim stijenama, manjkavost vođenja dimnih plinova i sl.). Niže vrijednosti pretička zraka, tj. više vrijednosti CO u ložištu spaljivaonice najčešće se mogu postići:

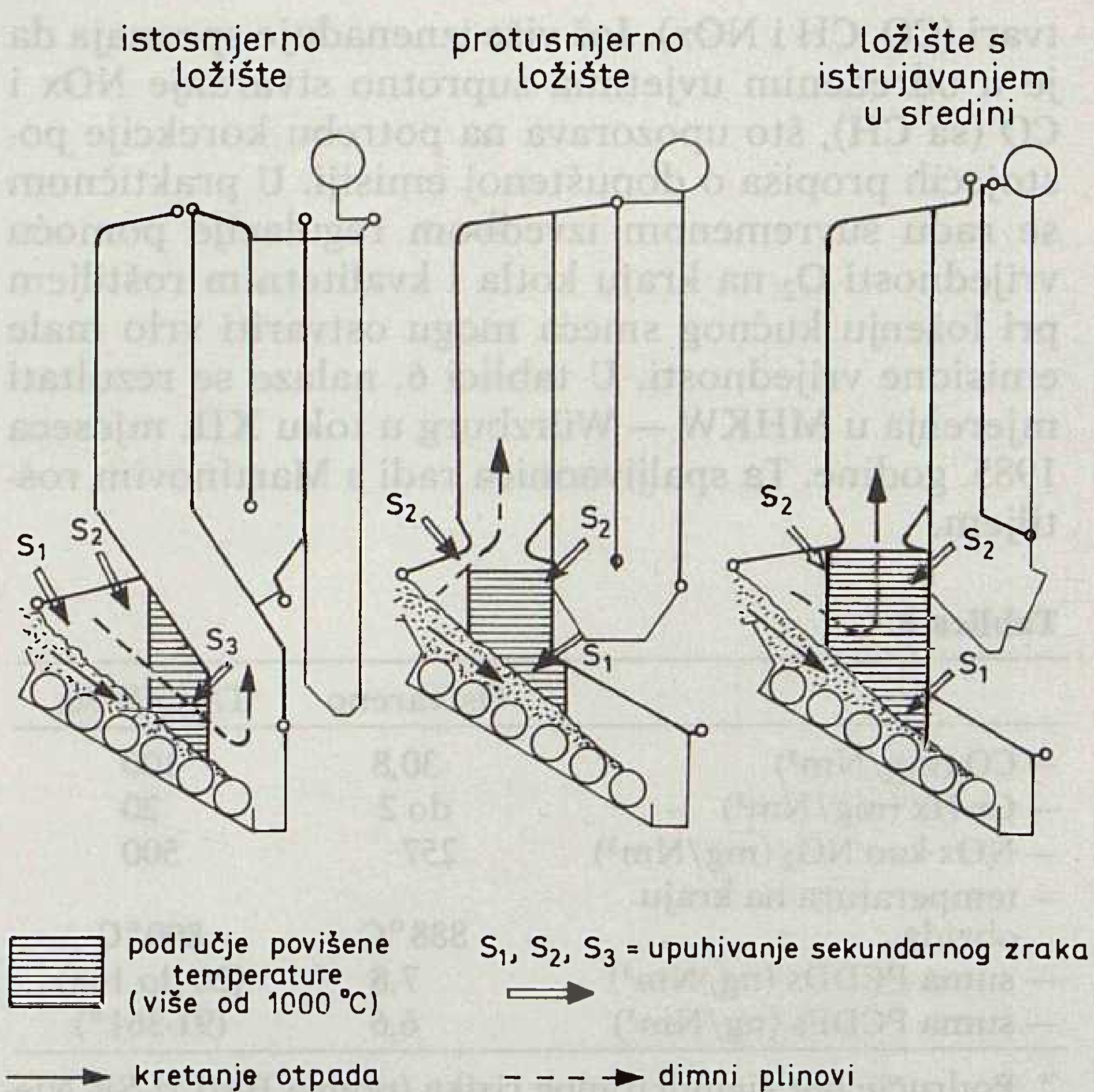
- kvalitetnom regulacijom dovoda zraka uzduž roštilja (posebno je kritičan rad ravnih roštilja pri manjim opterećenjima),
- maksimalnim smanjivanjem nekontroliranog usisavanja nepotrebnog zraka (npr. preko uređaja za odšljakivanje, hlađenje isključenih potpornih goraca, kroz dio roštilja na kojemu nema smeća).

Prema konstrukcijskoj izvedbi, razlikujemo tri osnovne vrste ložišta za spaljivanje komunalnog otpada (sl. 9):

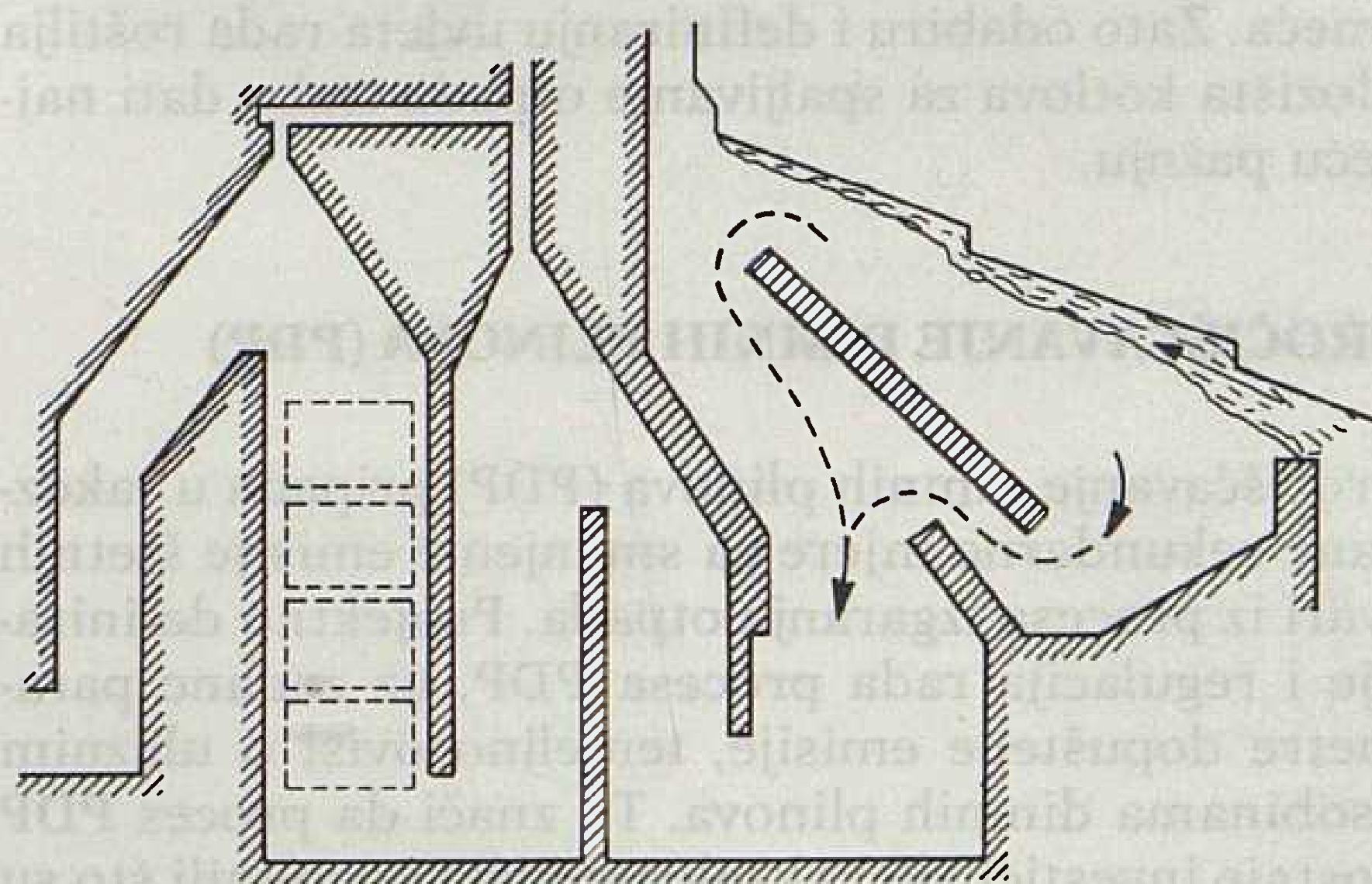
- istosmjerno ložište,
- protusmjerno ložište,
- ložište s istrujavanjem u sredini.

Izvedba ložišta pri projektiranju zaslužuje posebnu pažnju jer bitno utječe na proces izgaranja smeća. Različitim izvedbama ložišta mijenja se raspored — struktura temperaturnih nivoa u ložištu, brzina i smjer strujanja dimnih plinova, raspored i veličina turbulencije i raspodjela sekundarnog zraka. Posljednjih nekoliko godina proizvođači kotlova odnosno roštilja za izgaranje kućnog otpada intenzivno proučavaju utjecaj izvedbe ložišta na emisiju štetnih tvari. Kao osobito interesantno rješenje ističe se ložište s mješovitim strujanjem, kojim se danas najviše, koristi firma Vollund iz Danske (sl. 10). Tim se ložištem nastoje povezati pozitivne osobine protusmjernoga i istosmjernog ložišta.

Zbirni pregled utjecaja svih osnovnih primarnih mjera na emisiju štetnih tvari dan je u tablici 5. Podaci iz tablice sažetak su dosadašnjih praktičnih i teorijskih iskustava s izgaranjem komunalnoga (kućnog) smeća. Pokazuje se da je izvedba ložišta (i roštilja) presudna za reduciranje štetne emisije. Uočava se da ne postoji direktna međusobna ovisnost između temperature loženja i emisije o loženju ovisnih štetnih



Slika 9. Izvedbe ložišta za izgaranje smeća



Slika 10. Ložište s mješovitim strujanjem (Vollund)

Tablica 5. Utjecaj primarnih mjera na smanjenje štetne emisije komunalnog otpada lit. [8]

Primarne mjere	Djelovanje				Opazanje
	temp. loženja	sadržaj O <sub>2</sub>	CO/CH	dušični oksidi	
<b>1. utjecaj pogona</b>					
— manji pretičak zraka	raste (+)	pada (-)	raste (+)	raste (+)	smanjeno progaranje poboljšano progaranje i manje štetna emisija smanjen stupanj djelovanja maks 35%-tni udio sek. zraka
— jače zagrijavanje zraka	raste (+)	0	pada (-)	raste (+)	
— smanjeni protok smeća	pada (-)	0	0	pada (-)	
— smanjeni postotak sekundarnog zraka	0	0	pada (-)	raste (+)	
<b>2. izvedbe ložišta</b>					
— manje brzine u ložištu	0	0	pada (-)	pada (-)	manje taloženje pepela u kotlu smanjenje vršnih temperatura veće taloženje pepela u kotlu
— bolja raspodjela sekundarnog zraka	raste (+)	0	pada (-)	pada (-)	
— veća kvaliteta nabojne mase	raste (+)	0	pada (-)	raste (+)	

tvari (CO, CH i NO<sub>x</sub>). Još više iznenađuje spoznaja da je u određenim uvjetima suprotno stvaranje NO<sub>x</sub> i CO (sa CH), što upozorava na potrebu korekcije postojećih propisa o dopuštenoj emisiji. U praktičnom se radu suvremenom izvedbom regulacije pomoću vrijednosti O<sub>2</sub> na kraju kotla i kvalitetnim roštiljem pri loženju kućnog smeća mogu ostvariti vrlo male emisije vrijednosti. U tablici 6. nalaze se rezultati mjerenja u MHKW – Würzburg u toku XII. mjeseca 1985. godine. Ta spaljivaonica radi s Martinovim roštiljem.

Tablica 6.

	Ostvareno	TA-Luft 86.
– CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	30,8	100
– Cx Hx (mg/Nm <sup>3</sup> )	do 2	20
– NO <sub>x</sub> kao NO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	257	500
– temperatura na kraju obzida	888 °C	800 °C
– suma PCDDs (ng/Nm <sup>3</sup> )	7,8	(20 do 145)
– suma PCDFs (ng/Nm <sup>3</sup> )	6,6	(91-361*)

\* Područje bez significiranog rizika (prema BMI iz SR Njemačke).

Slične emisije vrijednosti postižu se u svim suvremenim postrojenjima za spaljivanje komunalnog smeća. Zato odabiru i definiranju uvjeta rada roštilja i ložišta kotlova za spaljivanje otpada treba dati najveću pažnju.

## PROČIŠĆAVANJE DIMNIH PLINOVA (PDP)

Pročišćavanje dimnih plinova (PDP) pripada u takozvane sekundarne mjere za smanjenje emisije štetnih tvari iz procesa izgaranja otpada. Projektno definiranje i regulacija rada procesa PDP, uz zadane parametre dopuštene emisije, temeljno ovisi o ulaznim osobinama dimnih plinova. To znači da proces PDP postaje investicijski i eksploatacijski povoljniji što su primarne mjere za smanjenje štetne emisije efikasnije. Zato se osobito pažljivo moraju razmotriti primarne mjere.

Već je istaknuto da utvrđivanju dopuštenih vrijednosti emisije štetnih tvari u našoj zemlji trebamo prići maksimalno stručno i generacijski odgovorno. Neprihvatljivo je slijepo preslikavanje bilo kojega inozemnog propisa. U tablici 7. je pregled međudržavne emisije SO<sub>2</sub> između Jugoslavije i nekih susjednih razvijenih država. U razvijenim državama važe vrlo strogi propisi dopuštene emisije, što istovremeno znači velike investicijske i eksploatacijske troškove. Usprkos tome, gotovo sve susjedne zemlje više onečišćuju Jugoslaviju nego ona njih. Pritome razvi-

jene zemlje imaju mnogo viši životni standard. Osim toga, neprihvatljivo je u ovom trenutku u gradu Zagrebu planirati gradnju spaljivaonice otpada bez procesa PDP.

Na osnovi takvih razmišljanja u tablici 3. predložene su vrijednosti dopuštene emisije za buduću Zagrebačku TE-TO na otpad. Predložene su vrijednosti strože od dopuštene emisije prema usvojenoj »Konačnoj studiji utjecaja na okolinu za TE-TO na otpad grada Zagreba.« Prijedlog nižih vrijednosti dopuštene emisije valja shvatiti kao veličine preporučive za današnje uvjete u Zagrebu i Jugoslaviji.

U literaturi [5] detaljno su opisani mogući postupci PDP, koji se mogu primijeniti u budućoj TE-TO na otpad grada Zagreba. Takozvani »polusuhi« postupci PDP uz određene dopune mogu postići poostrene vrijednosti dopuštene emisije. »Polusuhi« su postupci PDP investicijski i eksploatacijski neznatno skuplji od »suhih« postupaka, ali najmanje dvostruko jeftiniji od »mokrih«. »Polusuhi« su postupci u radu gotovo jednako efikasni kao »mokri«, a neusporedivo efikasniji od »suhih« postupaka. Zato je primjena »polusuhog« postupka PDP u spaljivaonici otpada grada Zagreba realna i prihvatljiva alternativa.

U projektiranju »polusuhog« postupka PDP valja predvidjeti razne mogućnosti proširenja. Prije svega treba predvidjeti dovoljno velik tlocrni prostor, koji može biti ozbiljan limitirajući faktor.

## ZAKLJUČAK

Spaljivanje komunalnoga i organskoga tehnološkog otpada danas je praktički jedina alternativa za uklanjanje sve većih količina otpada iz urbanih sredina. U tablici 8. danje pregled stanja i prognoza razvoja tehnologije spaljivanja u SR Njemačkoj. Do 1995. godine ukupni broj spaljivaonica u SR Njemačkoj mora se povećati za 50%, iako već danas gotovo svi gradovi i regije imaju takva postrojenja. Povećanje broja spaljivaonica planira se u svim pokrajinama SR Njemačke osim u Berlinu. Slične planove razvoja tehnologije spaljivanja otpada danas imaju sve razvijene zemlje (SAD, SSSR, Japan, Engleska, ČSSR itd.).

Međutim, spaljivanjem otpada ne može se pokriti cjelokupni sistem i organizacija oslobađanja urbanih sredina od otpada. Zato je i planirana izgradnja TE-TO na otpad grada Zagreba samo dio cjelovitog sistema likvidiranja otpada. Sistem zbrinjavanja otpada predviđen za realizaciju u Zagrebu prije odnosno paralelno sa spaljivanjem osigurava izdvajanje svih korisnih i štetnih tvari. Takvim se pristupom prema svjetskim iskustvima postiže, ekonomski prihvatljivo

Tablica 7. Bilanca »razmjene« SO<sub>2</sub> između Jugoslavije i nekih susjednih zemalja 1980. godine (10<sup>3</sup> t/god)

	Austrija	ČSSR	SR Njemačka	Mađarska	Italija	Rumunjska	Jugoslavija
Jugoslavija – predaje	19	29	8	42	36	64	/
Jugoslavija – prima	41	99	46	166	224	74	/
Ukupna emisija zemlje	151	1255	1160	448	1357	82	308

recikliranje korisnih sirovina. Istodobno se izdvajanjem štetnih tvari smanjuje opasnost štetnog djelovanja otpada pri spaljivanju i deponiranju. Stoga osobito pažnju treba dati takozvanim primarnim mjerama (za smanjenje emisije štetnih tvari).

Osim primarne reciklaže korisnih sirovina i izdvajanja raznih štetnih tvari, u primarne ekološke mjere ubrajamo i sam proces izgaranja otpada. Izgaranje otpada zapravo je reciklaža energije otpada. Međutim, pri definiranju procesa spaljivanja smeća prednost treba dati ekološkim mjerama, a energetska je iskoristivost pri tome sekundarna.

**Tablica 8. Stanje i planiranje spaljivaonica otpada u SR Njemačkoj; lit. [17]**

Pokrajina	Broj spaljivaonica	
	1983. godine	1995. godine
Baden — Württemberg	4	8
Bayern	13	20
Berlin	1	1
Bremen	2	2
Hamburg	2	2
Hessen	4	8
Niedersachsen	1 (+1)	1 (+1)
Nordheim — Westfalen	12	14
Rheinland — Pfalz	1	2
Saarland	1	3
Schleswing — Holstein	3	5
	44	67

Pri evaluaciji ponuda odnosno propisivanju uvjeta Natječajne dokumentacije za TE-TO na otpad grada Zagreba radi maksimalnog vrednovanja primarnih ekoloških mjera trebalo bi:

- propisati prethodno preporučene vrijednosti emisije štetnih tvari na izlazu iz kotla i na izlazu iz postrojenja za PDP,
- odrediti minimalnu garantiranu temperaturu sekundarnog izgaranja u ložištu (900°C), bez dodatnog loženja (posebno vrednovati visinu donje ogrjevne vrijednosti),
- odrediti minimalno garantirano vrijeme (3 sekunde) trajanja garantirane temperature sekundarnog izgaranja,
- propisati maksimalni postotak progorljivosti otpada (5%),
- zahtijevati strogo definiranje mogućnosti i načina regulacije rada roštilja (minimalno i maksimalno opterećenje snage, termičko opterećenje, brzinu protoka smeća, duljinu hoda i broj roštiljnica),
- definirati mogućnost regulacije omjera i količina primarnoga i sekundarnog zraka, uz različite stupnjeve predgrijanja,
- zahtijevati točne garancije raspoloživosti i iskoristivosti postrojenja za spaljivanje otpada (minimalna raspoloživost treba biti 7 500 sati, a energetska iskoristivost 75%),
- posebno vrednovati garantiranu raspoloživost, bez prekida rada, s promjenom postotka energetske iskoristivosti,

- zahtijevati garantirane veličine zatvaranja otvora za dovod primarnog zraka na roštilju te maksimalni postotak istrošenosti roštiljnica (nakon 7 500 — 8 000 sati rada),
- zahtijevati maksimalno garantiranu brzinu trošenja kotlovskih cijevi, s načinom godišnje kontrole.

Osim iznesenoga, u suradnji s nadležnim gradskim organima treba definirati i pratiti realizaciju projekata procesa prije spaljivanja (primarne reciklaže korisnih sirovina i izdvajanja štetnih tvari) odnosno nakon njega (deponiranje). Takvim organiziranim pristupom može se osigurati potpuno uklanjanje svih količina komunalnoga, tehnološkog i bolničkog otpada grada Zagreba, uz maksimalne korisne efekte (reciklažu sirovina i energije). Praktično, istim projektom rješavamo ekološke i energetske probleme urbane sredine.

#### LITERATURA

- [1] H. BAUER: »Wohin mit dem Müll?«, Energie, Jahrg. 38, Nr. 6, Juni 1986.
- [2] »Umweltverträgliche Abfallbeseitigung«, Energie, Jahrg. 38, Nr. 6, Juni 1986.
- [3] SCHÜSSLER H.: »Konzept gefordert — Bilanz des 6. abfallwirtschaftlichen Fachkolloquiums des Kommunalen Abfallbeseitigungsverband 1986«, Energie, Jahrg. 38, Nr. 6, Juni 1986.
- [4] MOSCH H.: »Entscheidungskriterief für die Auswahl eines Rauchgasreinigungssystems für Müllverbrennungsanlagen«, VGB Kraftwerksteshnik 65, Heft 12, 1985.
- [5] MILANOVIĆ Z.: »Mogućnosti pročišćavanja dimnih plinova u budućoj palionici otpada u Zagrebu«, Energija, godina 35 (1986) 6
- [6] »Schach dem Dioxin«, Wirtschafts Woche, Nr. 30, 17.7.87.
- [7] K. HORCH: »Konzepte zur umweltneutralen Haushaltsabfallverbrennung«, Recycling von Haushaltabfällen 1 — EF Verlag für Energie — Umwelttechnik G m b H 1987. K. J. Thomè — Kozmiensky
- [8] J. MARTIN — G. SCHETTER: »Feuerungstechnische Massnahme zur Schadstoffreduzierung in Abfallverbrennungsanlagen«, Recycling von Haushaltabfällen 1 — EF Verlag für Energie — und Umwelttechnik G m b H 1987. K. J. Thomè — Kozmiensky
- [9] G. SCHETTER — E. LEITMEIR: »Umweltverträglichkeit der thermischen Abfallverwertung«, VGB — Kongress 1987.
- [10] P. H. BRUNNER, J. ZABRIST: »Die Müllverbrennung als Quelle von Metallen in der Umwelt«, Müll und Abfall 9/83.
- [11] G. P. BRACKER, H. SONNENSCHNEIN: »Das ECO-COMB System der integrierten Hausmüll — sovtisierung und-verbrennung«, Recycling International, EF Verlag, 1984.
- [12] H. SCHLIERF: »Einfluss von Wasserdampf auf Emissionen bei Abfall-Verbrennungsanlagen«, Müll und Abfall 10/83.
- [13] Grupa autora: »Raspodjela troškova između toplinske i elektroenergetske djelatnosti pri NE »Prevlaka«, Institut za elektroprivredu Zagreb, 1986.



- [14] Grupa autora: »Program organiziranog sakupljanja i tretmana otpadnog stakla za područje grada Zagreba«, UNIJA i IPZ, OOUR Uniprojekt, Zagreb, 1980.
- [15] Grupa autora: »Studija sistemskog rješenja organiziranog sakupljanja korisnih otpadaka na području grada Zagreba«, »Unija« Zagreb i IPZ - OOUR »Uniprojekt«, Zagreb, 1984.
- [16] »Geteiltes Leid - hables Leid?«, »Unsere Umwelt 1: Wald« - Energiewirtschaft und Technik Werlys G m b H, Gräfelfing (SR Njemačka), 1985.
- [17] F. HEINRICH: »Versuche zur Müllverbrennung in der Wirbelschicht«, VGB - Fachtagung Müllverbrennung 1987, Essen 11.12.1987.
- [18] J. ČURKOVIĆ, Z. VARAŽDINAC: »Pregled i usporedba postojećih standarne emisije i imisije SO<sub>2</sub> u svijetu i kod nas s posebnim osvrtom na TE Plomin«, Energija, godina 36, br. 2, Zagreb, 1987.
- [19] B. KASSEBOHM, P. ASMUTH, P. ASMUTH, G. WOLFERING: »Möglichkeiten weitergehender Rauchgasreinigung nach Müllverbrennungsanlagen«, VGB - Fachtagung »Müllverbrennung 1987«, Dezember 1987.

**ECOLOGICAL ASPECTS OF WASTE FIRED TPP CONSTRUCTION IN ZAGREB**

In the article are analysed base problems of burning communal and industry wastes (base ecological characteristics, firing problems, characteristics of fire places and cleaning of flue gases). It is analysed a world experience (mainly German) as well as ecological criteria for operation of TPP in Zagreb.

**ÖKOLOGISCHE ASPEKTE BEZÜGLICH EINES TE - TO WERKES FÜR MÜLLVERBRENNUNG**

Es werden Grundprobleme der Verbrennung des kommunalen und industriellen Mülls analysiert.

(Grundmerkmale des Umweltschutzes, Problematik der Verbrennung, Grillarten und Ausführungen der Heizstellen sowie das Filtern der Rauchgase). Man bespricht die weltweiten Erfahrungen (hauptsächlich deutsche) und ökologische Kriterien die für eine Verbrennungsanlage in Zagreb in Betracht gekommen sind.

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СООРУЖЕНИЯ ТЭС-ТЭЦ НА ОТХОДАХ В г. ЗАГРЕБЕ**

Анализируются основные проблемы сжигания коммунальных и промышленных отходов (основные экологические характеристики, проблематика сооружения, виды колосниковых решеток и исполнение топок, а также очистка дымовых газов). Анализируется мировой опыт (главным образом немецкий) и экологические критерии, усвоенные для работы заводов сжигания в г. Загребе.

1987 godine		1988 godine	
8	1	14	1
20	2	2	2
1	2	8	1
2	2	1	1
2	2	1	1
8	2	1	1
1 (+1)	2	1	1
14	2	1	1
2	2	1	1
3	2	1	1
2	2	1	1
67	24		

Naslov pisca:

**Mr. Zlatko Milanović, dipl. inž.**  
**Skupština općine Trešnjevka,**  
**41 000 Zagreb, Park Veljka**  
**Vlahovića 2, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-03-29

# DOPRINOS POZNAVANJU GEOTERMIJSKE ENERGIJE U JUGOSLAVIJI

Zvonimir Krulc, Zagreb

UDK 620.91:550.36

PREGLEDNI RAD

U radu je upozoreno na potrebu odnosno opravdanost veće pažnje pri procjeni mogućnosti iskorištenja geotermijskih potencijala u Jugoslaviji — naročito pažnje naših energetičara. Da je osvrt na prikaze dosadašnjih istraživanja i mogućnosti iskorištenja geotermijske energije u Jugoslaviji općenito i po republikama. Posebno naglašeni najnoviji podaci o geotermijskim potencijalima u našoj zemlji, objavljeni na savjetovanju 1987. god. Upozoreno je na mogućnosti primjene geofizičkih metoda u geotermijskim istraživanjima.

**Ključne riječi:** geotermijska energija, geotermijski potencijali, geofizičke metode ispitivanja.

## 1. UVOD

U posljednje se vrijeme u javnim sredstvima informiranja mnogo raspravlja o stanju i razvoju energetike u Jugoslaviji. Prikazi u dnevnim listovima, a naročito na televiziji, usmjereni su uglavnom na nedoumice u programu razvoja energetike (odnosno elektroprivrede) te na pitanje gradnje nuklearke. Prema tim prikazima, u mnogim se raspravama utvrđuje potreba realnog vrednovanja svih energetske izvora — uz prigovore da se ne ulaže dovoljno u istraživanje alternativnih izvora energije. Među tim izvorima u cijelom se svijetu spominje **geotermijska energija** kao vrlo vrijedan, cijenjen i obnovljivi izvor energije u nekim područjima Zemlje. U nekim se zemljama geotermijska energija koristi i za proizvodnju električne struje, ali mnogo češće za zagrijavanje stanova i drugih objekata.

U današnjim prilikama i prema nacrtima razvoja energetike u Jugoslaviji trebalo bi procjeni mogućnosti iskorištenja alternativnih (ili bolje: nekonvencionalnih) izvora energije svakako obratiti više pažnje. Zašto ne iskoristiti i male izvore energije — za druge svrhe, ne samo za proizvodnju električne struje — ako je to ekonomski i energetski prihvatljivo? U takvoj bi procjeni svakako trebalo uzeti u obzir i mogućnosti korištenja **geotermijske energije** u našoj zemlji. Ne bi li na području SR Hrvatske trebalo iskoristiti već poznate odnosno istražene mogućnosti geotermijske energije — bar za lokalne potrebe zagrijavanja stanova i drugih objekata u povoljnim područjima? Time bi bio podržan i poticaj za daljnja istraživanja naše naftne industrije, koja je jedina dosad više ili manje sistematski proučavala geotermijsku energiju u nas. Ne bi li pitanja S. ČUBRIĆA (1986) o zagrebačkim geotermijskim ležištima (»Što dalje s njima« i »gdje su dovoljno veliki i podobni potrošači?«) zaslužila odgovor i konkretan interes?

S tih je polaznih stanovišta napisan ovaj prikaz o poznavanju geotermijske energije u Jugoslaviji.

## 2. OSVRT NA GEOTERMIJSKE POTENCIJALE U JUGOSLAVIJI

Proučavanjima geotermijskih potencijala Jugoslavije i mogućnostima njihova otkrivanja i korištenja u geološkim se krugovima pridaje znatnija pažnja tek posljednjih nekoliko godina.

Za opću i usmjerenu informiranost valja najprije upozoriti na vrlo preglednu studiju M. MILIVOJEVIĆA i J. PERIĆA (1982) u zborniku »Rudarstvo Jugoslavije«, s prikazom općih geotermijskih karakteristika teritorija Jugoslavije, s opisom geotermijskih provincija i osvrtom na mogućnost eksploatacije geotermijske energije iz geotermijskih resursa Jugoslavije.

Za pojedine naše republike i pokrajine ima već i zasebnih prikaza mogućnosti istraživanja i korištenja geotermijskih potencijala. Tako za područje SR Hrvatske u radovima R. FILJAK i dr. (1978; 1981), posebno za područje Savske i Dravske potoline u radovima K. JELIĆA (1982, 1987) i S. ČUBRIĆA (1986) te, zasebno, za područje zagrebačkoga geotermijskog ležišta u radovima S. ČUBRIĆA (1984) te K. JELIĆA (1984). Za područje SR Srbije u radu Lj. PARADANIĆA (1981) spominju se i geofizička ispitivanja. U radu o istraživanju geotermijske energije u Vojvodini Z. MILOVANOVIĆA i dr. (1981) spominju se multidisciplinarna i sistematska ispitivanja. U radovima S. ČIČIĆA i dr. (1982) te S. ČIČIĆA i N. MIOŠIĆA (1986) o području SR Bosne i Hercegovine ističe se potreba stjecanja znanja o geološko-tektonskoj građi područja; spominju se i geofizička istraživanja. Za SR Sloveniju obavljen je pregled geotermijskih potencijala tek nedavno (Lj. ŽLEBNIK, 1987).

Najnoviji podaci o geotermijskim potencijalima Jugoslavije i nekih dijelova (po republikama i zasebno) objavljeni su na savjetovanju »Problematika istraživanja resursa geotermalne energije sa posebnim osvrtom na mesto i ulogu geofizičkih metoda ispitivanja« 1987. u Niškoj Banji (Zbornik radova, 1987). O tome će još biti riječi u zasebnom poglavlju.

Iz navedenih se radova može zaključiti da je za eksploataciju geotermijske energije u Jugoslaviji najperspektivnije područje tzv. panonske geotermijske provincije te neki manji dijelovi drugih područja (naročito Kočani u Makedoniji). Općenito to, međutim, stupanj istraženosti geotermijske energije u nas vrlo nizak; nisu obavljene detaljnije procjene njezinih potencijala s energetskeg stanovišta. Na najveću perspektivnost panonske geotermijske provincije u Jugoslaviji zorno upućuje i karta toplinskog toka Evrope V. ČERMAKA i E. HURTIGA u radu: V. ČERMAK, L. RYBACH, 1979.

U razmatranja o geotermijskim potencijalima u nas i mogućnostima njihova korištenja premalo se uključuju — koliko je u krugovima geoznanosti poznato — energetske stručnjaci ne-geoloških i ne-geotehničkih usmjerenja. Jedan od razloga za pisanje ovog doprinosa jest i to da se s tom problematikom geološko-geotermijsko-geofizikalnog aspekta upoznaju energetičari.

Svakako treba spomenuti činjenicu da je geotermijskoj energiji posvećeno poglavlje u radu V. BOINOVIĆ i S. TRBOJEVIĆ (1984) o ulozi nekonvencionalnih izvora energije u energetici Jugoslavije — dakle, problem je obrađen s energetskeg aspekta. U tom je radu naglašen deficit u energetskeg bilancima Jugoslavije, pojačana potražnja za ugljikovodicima, stalan porast potrošnje energije i potreba mobilizacije svih nekonvencionalnih izvora energije.

Za usporedbu ćemo reći da na Savjetovanju o energetici u SR Hrvatskoj 1978. god. u Zagrebu energetičari u bronim referatima o energetskeg problematici uopće nisu spominjali geotermijsku energiju; o njoj pak govore već predstavnici geo-struka odnosno geoznanosti, i to o geotermijskim potencijalima u SR Hrvatskoj, posebno o stanju i perspektivama te njihovu istraživanju.

Za daljnju usporedbu: u cijelom se svijetu posljednjih nekoliko godina znatna pažnja pridaje istraživanjima i mogućnostima korištenja geotermijske energije. Odgovarajući radovi i studije usmjeravaju se na korištenje geotermijskih potencijala za proizvodnju električne struje, za zagrijavanje stambenih zgrada i drugih objekata te za poljoprivredu. Evo samo nekoliko izvora: G. V. KELLER, 1981; B. WILLIAMS, 1982 — posebno za SAD; P. ERNST, 1981 — posebno za SRNj.; R. FERRANDES, 1983 — posebno za Francusku. Pritom se naročito upozorava na nužnost kompleksnih istražnih radova, uključivši geofizička istraživanja.

Na kraju ovog razmatranja treba spomenuti da neke javne rasprave i osvrti u našim geološkim sredinama (u širem smislu) također upozoravaju na potrebu pojačanja interdisciplinarnoga znanstvenog rada u ocjeni uloge geotermijske energije u razvoju naše energetike (ZSN JAZU, 1983; M. VUKOVIĆ, 1983). Pritom, nažalost, također nema energetičara — ni u nastupu, ni u diskusijama, stoga te rasprave ostanu jednostrane i otvorene.

### 3. PRIMJENA GEOFIZIKE U GEOTERMIJSKIM ISTRAŽIVANJIMA

Na neke osnovne i posebne mogućnosti primjene geofizičkih metoda u geotermijskim istraživanjima — u svijetu i u nas — već je upozoreno na savjetovanju »Doprinos naučnih i naučno-tehnoloških dostignuća geofizike na istraživanju energetskeg i mineralnih sirovina« 1980. god. (u Stubičkim Toplicama).

Godine 1987. ponovo je održano savjetovanje s istom osnovnom temom »Problematika istraživanja resursa geotermalne energije sa posebnim osvrtom na mesto i ulogu geofizičkih metoda ispitivanja«.

Na oba savjetovanja geo-termijskog usmjerenja, nažalost, opet nije bilo naših energetičara, pa nijedno savjetovanje, možda, nije postiglo pravi cilj. Još je jedan razlog za pisanje ovog doprinosa — kratki osvrt na savjetovanje 1987. godine zbog obilja novih podataka o geotermijskim potencijalima u Jugoslaviji. Ti podaci svakako zaslužuju pažnju naših energetičara. Na tom je savjetovanju bio posebno zanimljiv odnosno u energetskeg smislu informativan uvodni referat skupine autorâ iz cijele Jugoslavije s naslovom »Energetski potencijal značajnih termalnih i termomineralnih voda Jugoslavije«.

Rezultati istraživanja geotermijske energije posljednjih godina u Zagrebu, kod Kočana u Makedoniji i u Bogatiću u Srbiji prelaze granice korištenja termalnih voda u balneološke svrhe. U Zagrebu je, naime, s dubine 1060 m samoizlijevanjem vode iz dvije bušotine dobiveno 160 l/s vode temperature od 80°C. Kod Kočana je iz bunara dubinskog 350 m dobiveno 300 l/s vode približne temperature 75°C, a u Bogatiću je iz dubine 450 m samoizlijevanjem iz jedne istražne bušotine malog promjera dobiveno 40 l/s vode temperature 75°C.

Valja naglasiti da referati prikazni na savjetovanju 1987. god. više opisuju rezultate istraživanja geotermijskih potencijala dobivene u pojedinim područjima ili lokalitetima, nego primjenu geofizičkih i drugih metoda u tim istraživanjima. To pak treba da pobudi interes energetičara — naročito za upoznavanje novih podataka o geotermijskim potencijalima u nekim područjima Jugoslavije.

Za primjenu geofizike odnosno njezinih metoda u istraživanju geotermijskih potencijala treba ukratko spomenuti još neke podatke.

Osnovna geofizička metoda direktnog mjerenja anomalnih temperatura tla ostaje, dakako, i dalje geotermijska metoda. Od drugih geofizičkih metoda najviše se i najčešće primjenjuje skup geoelektričnih metoda. Standardnim postupcima geoelektričnog sondiranja i profiliranja sve se više i sve češće pridružuje i metoda spontanoga i u novije vrijeme pobuđenog potencijala te elektromagnetske varijante i magnetotelurijsko sondiranje. Osim geoelektričnih metoda, sve se češće primjenjuju druge geofizičke metode, naročito gravimetrijska, magnetometrijska, seizmička, i to za utvrđivanje geološko-strukturnih odnosa temperaturno anomalnih područja, za ograničavanje i fizikalno vrednovanje utvrđenih anomalija i za procjenu mogućnosti onečišćenja termalnih voda. U

kompleks površinskih metoda sve se više i sve šire uključuju i metode bušotinske geofizike (tzv. karo-tažna geofizika).

Posebno treba upozoriti na posljednji osvrt na današnje stanje geofizičkih istraživanja geotermijskih resursa u najpoznatijem svjetskom geofizičkom časopisu »Geophysics«: P. M. WRIGHT et al., 1985, Vol. 50, No. 12, 2666-2699. U radu je najprije opisana priroda geotermijskih potencijala (resursa) i dana klasifikacija geotermijskih sistema; razmotreni su i visokotemperaturni modeli hidrotermalnih sistema. Detaljno su prikazane mogućnosti osnovnih geofizičkih metoda u geotermijskim istraživanjima. Dan je i osvrt na primjenu geofizike u svijetu. Zaključno je naveden vrlo dug popis literature.

Konačno, treba navesti i najvažnije zaključke i sugestije savjetovanja 1987. godine, predložene i razmatrane na temelju prikazanih referata i vođenih diskusija, s ciljem da buduća istraživanja ležišta geotermijske energije i njezina korištenja u našoj zemlji budu sistematičnija i intenzivnija. Evo tih zaključaka!

- Pokrenuta je inicijativa za formiranje Jugoslaven-skog udruženja za geotermijsku energiju.
- Potrebno je pokrenuti postupak za uključivanje tog udruženja u Savjet za nove i obnovljive izvore energije u sastavu Saveznog komiteta za energetiku i industriju, u sklopu kojega bi se usklađivali stavovi u provođenju politike istraživanja i eksploatacije geotermijske energije.
- U postojeći zakon o jedinstvenom načinu utvrđivanja, evidentiranja i prikupljanja podataka o rezervama mineralnih sirovina i podzemnih voda te o bilanci tih rezervi treba uključiti i geotermijsku energiju kao sastavni dio ukupnih geo-energetskih potencijala. U tom smislu treba pokrenuti postupak za dopunu tog zakona i donošenje odgovarajućih podzakonskih propisa o klasifikaciji i kategorizaciji geotermijske energije i vođenju evidencije o tom resursu.
- Usporedno s tim treba poduzeti aktivnosti da se u geološkim institutima republika i pokrajina te u Saveznom geološkom zavodu formira fond podataka o geotermijskim istraživanjima i korištenju geotermijske energije.
- Treba pokrenuti postupak za proširenje suglasnosti iz Dogovora o izradi kompleksne geološke karte Jugoslavije i potaknuti izradu Geotermijske karte Jugoslavije u mjerilu 1 : 500 000 te, u vezi s tim, donijeti stručne i tehničke upute za izradu te karte.
- Preko nadležnih organa i tijela inicirati poduzimanje poticajnih ekonomskih mjera za početak upotrebe toplinskih crpki za grijanje prostorija. Takav je poticaj beneficirana cijena električne energije koja se plaća za toplinske crpke, i dr.

#### 4. ZAKLJUČAK

Potencijalima geotermijske energije u Jugoslaviji valjalo bi ubuduće obratiti više pažnje.

Za pojedine republike i pokrajine u našoj zemlji ima već dosta prikaza i analiza (geološko-geotermijskih) mogućnosti tih potencijala. Posebno je zanimljiv i informativan osobito s energetskeg stajališta, uvodni referat na savjetovanju iz 1987. s naslovom »Problematika istraživanja resursa geotermalne energije sa posebnim osvrtom na mesto i ulogu geofizičkih metoda ispitivanja«. Referat donosi obilje novih podataka o geotermijskim potencijalima u Jugoslaviji. Ti podaci svakako zaslužuju pažnju naših energetičara. Njih, nažalost, na tom savjetovanju nije bilo. Velik doprinos istraživanju geotermijskih potencijala mogu dati geofizičke metode ispitivanja. U cijelom se svijetu u posljednje vrijeme toj problematici pridaje velika pažnja. Tematika primjene tih metoda u nas razmatrana je već na dva savjetovanja u posljednjih nekoliko godina.

#### LITERATURA

- [1] S. ČUBRIĆ., »Doprinos naše naftne industrije razvoju iskorištavanja geotermičke energije«, »Nafta«, 37, 4-5, Zagreb, 1986, str. 167-170.
- [2] M. MILIVOJEVIĆ., J. PERIĆ., »Potencijalnosti geotermalnih resursa Jugoslavije i mogućnosti njihovog korišćenja«, »Rudarstvo Jugoslavije« (11. svetski rudarski kongres), 1982. Beograd.
- [3] R. FILJAK., V. ANTONIĆ., »Geotermalna energija«, »Zbornik radova — Savjetovanje o energetici u SR Hrvatskoj«, Zagreb 1978, str. 441-454.
- [4] R. FILJAK, i dr., »Razvitak istraživanja geotermalne energije«, »Nafta«, 32, 1981, 5, 233-236, Zagreb.
- [5] K. JELIĆ., »Geotermalna energija u Panonskom bazenu SR Hrvatske«, »Zbornik radova simpozija 'Energija u proizvodnji hrane«, 1982, Zagreb
- [6] K. JELIĆ., »Stacionarna geotermijska energija u Savskoj i Dravskoj potolini Panonskog bazena SR Hrvatske«, »Nafta«, 38, 6, 333-340, Zagreb, 1987.
- [7] S. ČUBRIĆ., »Procjena rezervi geotermalne energije u dijelu zagrebačkog geotermalnog ležišta«, »Energija«, 33, 2, 131-135, Zagreb, 1984.
- [8] K. JELIĆ., »Geotermijska anomalija na području grada Zagreba«, »Zbornik radova simpozija 'Energija u proizvodnji hrane«, Zagreb, 1982.
- [9] Lj. PARADANIN, i dr., »Mogući potencijali geotermalne energije u SR Srbiji«, »Nafta«, 32, 5, 237-242, Zagreb, 1981.
- [10] Z. MILOVANOVIĆ, i dr., »Istraživanje geotermijske energije u Vojvodini«, »Nafta«, 32, 5, 243-246, Zagreb, 1981.
- [11] S. ČIČIĆ, N. MIOŠIĆ, »Mogućnosti istraživanja i korištenja geotermijskih potencijala u Bosni i Hercegovini«, »Rud., geol. i metal.«, 33, 3, 383-388, Beograd, 1982.
- [12] S. ČIČIĆ, i N. MIOŠIĆ, »Geotermalna energija Bosne i Hercegovine«, »Geonženjering«, Sarajevo, 1986.
- [13] Lj. ŽLEBNIK, »Pregled geoloških struktura, ki so potencialni nosilci geotermalne energije v Sloveniji«, »Zbornik radova« savjetovanja 'Problematika istraživanja resursa geotermalne energije sa posebnim osvrtom na mesto i ulogu geofizičkih metoda ispitivanja', Komitet za geofiziku SIT RGMJ, Beograd, 1987.
- [14] V. ČERMAK, L. RYBACH, »Terrestrial Heat Flow in Europe«, »Springer-Verlag«, Berlin, 1979.

- [15] V. BOINOVIĆ, S. TRBOJEVIĆ, »Uloga nekonvencionalnih izvora energije u energetici Jugoslavije«, »Energija«, 33, 3, 227-239, Zagreb, 1984.
- [16] G. V. KELLER, »Exploration for geothermal energy«, »Developm. Geophys. Explor. Methods« 2, London, 1981 str. 107-149.
- [17] B. WILLIAMS, »Action in geothermal energy picking up speed in U. S.«, »Oil and Gas J.«, 1982, 80, 18, 91-95.
- [18] P. ERNST, »Stand der Entwicklung der geothermischen Energie in der Bundesrepublik Deutschland«, »Bull. Vers. Schweiz. Petr.-Geol. und Ing.«, 1981, 48, 113, 21-27.
- [19] R. FERRANDES, »Des choix décisifs pour l'avenir de la géothermie basse température en France«, »Géotherm. actual«, 1983, Num. hors. sér., 19-27.
- [20] ZSN JAZU, Radni sastanak 'Geološke, hidrodinamičke i termodinamičke karakteristike nalazišta geotermičke energije u jugoslavenskom dijelu Panonskog bazena' Zagreb, 1983.
- [21] M. VUKOVIĆ, »Geotermalni potencijali Jugoslavije«, »it novine«, br. 953, Beograd, 1983.
- [22] P. M. WRIGHT, et al., »State-of-the-art geophysical exploration for geothermal resources«, »Geophysics«, 50, 1985, 12, 2666-2699, Tulsa.

#### A CONTRIBUTION TO KNOWLEDGE OF GEOTHERMAL POWER IN YUGOSLAVIA

In the article is discussed a necessity for particular estimation of possibilities for geothermal power usage in Yugoslavia. It is presented a review of up-to-date explorations and resources in Yugoslavia and Republics. Especially are highlighted the newest data about geothermal potentials in country that are presented on symposium in 1987 year. Presented are possibilities of geophysical methods in geothermal explorations.

#### BEITRAG ZUR UNTERSUCHUNG DER GEOTHERMISCHEN ENERGIE IN JUGOSLAWIEN

Im Artikel wird auf die Notwendigkeit der Ausnutzungen — bewertung der geothermischen Energie in Jugoslawien hingewiesen — insbesondere die der Energetiker. Aus diesem Grund wird ein Rückblick auf die bisherigen Forschungsarbeiten und Ausnutzungsmöglichkeiten dieser Energiequelle gegeben. Ausführlicher wird auf die neuesten Ergebnisse der geothermischen Untersuchungen in Jugoslawien hingewiesen, über die auf der Tagung 1987 berichtet wurde. Es wird auch auf die Möglichkeiten der Anwendung geophysikalischer Methoden bei geothermischen Untersuchungen aufmerksam gemacht.

#### ВКЛАД ПОЗНАНИЮ ГЕОТЕРМИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЮГОСЛАВИИ

В работе обращается внимание на необходимость, точнее целесообразность, с большим вниманием оценивать возможности использования геотермического потенциала в Югославии — особое внимание отечественных энергетиков. Приводится беглый обзор рецензий предыдущих исследований и возможности использования геотермической энергии в Югославии вообще и по республикам. Особенно подчеркиваются новейшие данные о геотермических потенциалах в нашей стране, объявленные на совещании в 1987. году. Обращается внимание на возможности применения геофизических методов в геотермических исследованиях.

Naslov pisca:

**Dr. Zvonimir Krulc, dipl. inž.**  
**Viši znanstveni suradnik,**  
**41 000 Zagreb, Klaićeva 60**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-03-29

# PREGLED RAZVOJA TEHNIKA I MOGUĆNOSTI PRIMENE PROCESA IMOBILIZACIJE RADIOAKTIVNIH OTPADNIH MATERIJALA BITUMENSKIM POSTUPKOM

Aleksandar Perić — Ilija Plećaš — Andreja Kostadinović, Beograd

UDK 621.039.583  
PREGLEDNI RAD

U članku je dan pregled metoda vezanja radioaktivnih otpadaka niske i srednje aktivnosti u bitumenskoj masi. Prezentira se pilot-postrojenje izrađeno u Institutu »Boris Kidrič« u Vinči.

**Ključne reči:** bitumen, solidifikacija, imobilizacija, RAO, šaržni i kontinualni proces, inkorporacija, matriksni medij.

## UVOD

Solidifikacija i imobilizacija radioaktivnog otpadnog (RAO) materijala niskoga i srednjeg nivoa aktivnosti (IAEA kategorije 2-4), u nuklearnoj tehnologiji vrši se jednim od ovih postupaka: cementacijom, bitumenizacijom, polimernim procesima.

U zavisnosti od porekla i osobina RAO-materijala za inkorporaciju, odabire se i matriksno procesno sredstvo. RAO-materijali, koji potiču iz različitih faza primene radionuklida, mogu se, u sklopu IAEA kategorije 2-4, definisati sledećim grupama RAO:

- jonoizmenjivačke smole (J. I.-smole),
- hemijski muljevi,
- organski rastvori,
- plastični otpadi,
- regenerisani i koncentrisani slani rastvori.

Matrice sa inkorporisanim materijalima, u zavisnosti od zahteva koji se postavljaju prema matriksnim medijima sa stanovišta sigurnosti impakta sa životnom sredinom, mogu se skladištiti u različite kategorije trajnih odlagališta RAO-materijala:

- odlagališta sa plitkim ukapanjem,
- odlagališta tranšejskog tipa,
- tunnelska odlagališta,
- odlagališta tipa podzemnih galerija.

Solidifikacione matrice moraju zadovoljiti i prag-normi i podvesti se u granice tolerance određenih fiziko-hemijskih osobina, koje dominiraju pri izboru matriksnog sredstva. Tabela 1. daje pregled odnosa relevantnih fiziko-hemijskih osobina matriksnih medija i pogodnosti materijala kao matriksa za inkorporaciju RAO.

**Tabela 1. Pregled značajnih fiziko-hemijskih osobina matriksnih materijala sa stanovišta pogodnosti primene matriksnog medija za inkorporaciju RAO-materijala**

Fiziko-hemijska osobina	Pogodnosti materijala za inkorporaciju RAO			
nivo leachinga	beton	polimeri	bitumen	staklo
radijaciona otpornost	polimeri	bitumen	staklo	beton
mehanička otpornost	bitumen	polimeri	staklo	beton
vatrostalnost	bitumen	polimeri	beton	staklo

## BITUMEN KAO MATRIKSNI MEDIJ RAO-MATERIJALA

Na osnovu ovog pregleda, uočavaju se osnovni kriteriji za izbor bitumena kao matriksnog medija: niska vrednost nivoa leachinga i relativno visoka radijaciona otpornost,  $10^7$ - $10^8$  Gy. Loša osobina bitumena je mala mehanička otpornost (za red veličine manja od betona) i laka zapaljivost, koja proističe iz hemijske strukture bitumena. Ti se nedostaci mogu ublažiti određenim sredstvima koja se dodaju bitumenskoj masi.

Relevantne fizičke osobine bitumena kao matriksa jesu:

- odnos: bitumen/RAO-materijal
- homogenost-heterogenost
- gustina
- poroznost i permeabilnost
- mehaničke osobine
- termička provodnost
- bubrenje/skupljanje i mržnjenje/topljenje.

Odnos: bitumen/RAO pri imobilizaciji suvih i vlažnih materijala kreće se do 25 do 80 težinskih procenata ili 13-60 zapreminskih procenata ugrađenoga otpadnog materijala po jedinici imobilizirane otpadne

forme. Gustina tako bituminiziranog RAO-materijala iznosi od 1060 do 1500 kg/m<sup>3</sup>. Poroznost bituminiziranih formi tesno je vezana sa stepenom izluživanja radionuklida kroz porozni sloj (leakage rate) i opisuje se kao otvorena — međuvezana i zatvorena. Telo može imati jedan ili oba vida poroznosti, Permeabilnost nije obavezno funkcija poroznosti, pa materijali kao bitumen (i neki polimeri), kojima su pore značajno otvorene dozvolit će prolaz vodi i njome nošenim radionuklidima. Reprezentativna permeabilnost bitumenskih proizvoda koji sadrže 25-80 tež.% (13-60 vol%) inkorporisanog RAO nalazit će se u granicama od  $(1,4-2,9) \times 10^{-10}$  (kg/s,m), za vodenu paru, i  $(2,0-2,9) \times 10^{-10}$  (kg/s,m), za vodu.

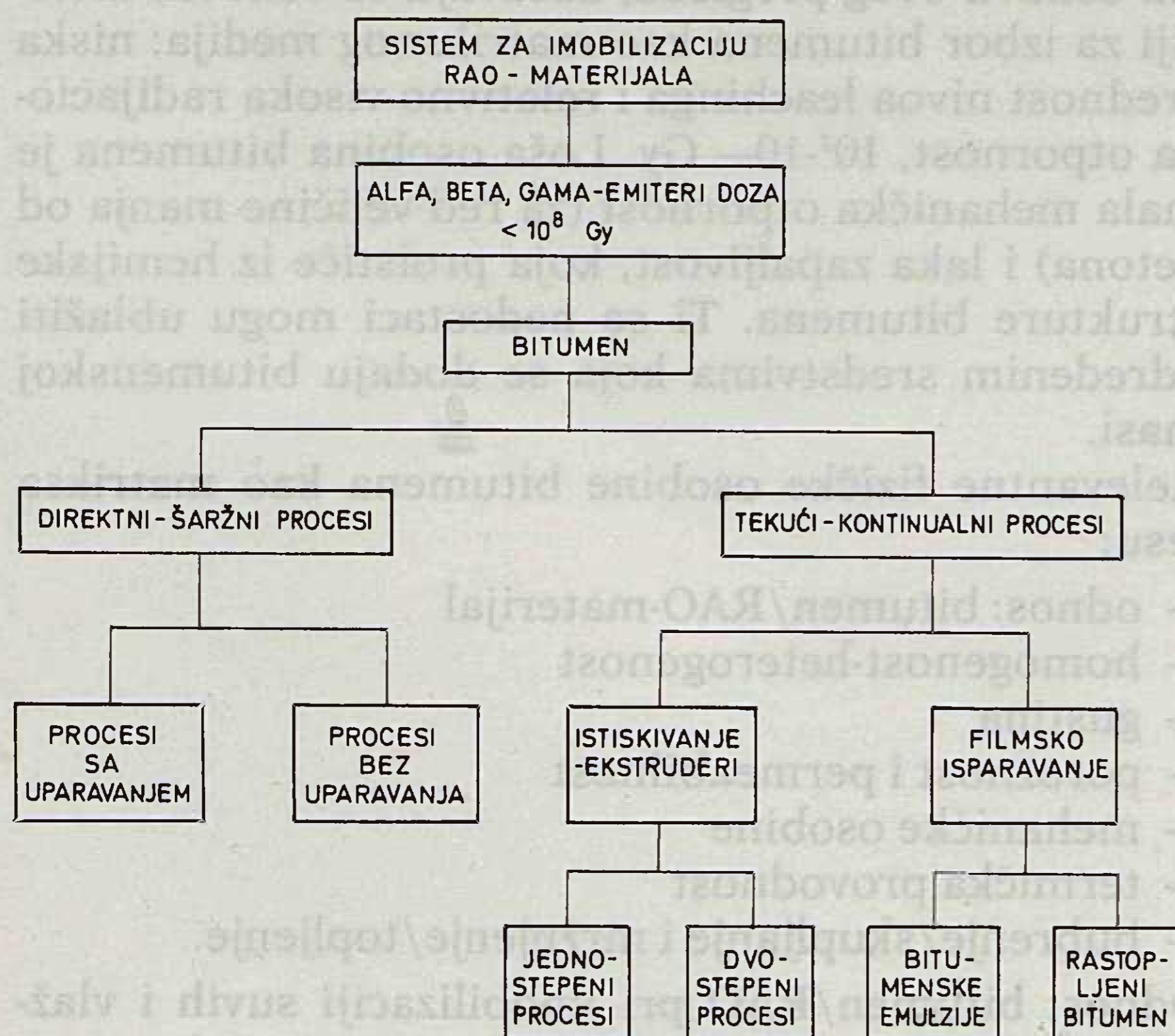
Termička provodljivost bitumeniziranih otpadnih formi je malena, a količina generisane toplote pri solidifikaciji RAO-materijala niske i srednje aktivnosti dovoljno je malena da bi uzrokovala veće zagrevanje matriksa. Koeficijent termičke provodljivosti i za ozračeno i za neozračeni bitumen nije veća od 0,25 (W/m, °C). Koeficijent termičke provodljivosti raste sa porastom udela čvrstih materijala u bitumenu. Bitumenskom bloku specifične aktivnosti 10<sup>13</sup> (Bq/m<sup>3</sup>) odgovara 3 (W/m<sup>3</sup>) oslobođene toplote.

## VRSTE PROCESA BITUMENIZACIJE

Proces bitumenizacije u osnovi, se sastoji od dugotrajnog mešanja rastvora, muljeva ili čvrstih otpadnih materijala sa bitumenom pri povišenoj temperaturi. Voda sadržana u otpadu se otparava, a preostale se čestice uniformno prevlaže tankim slojem bitumena. Različiti procesi bitumenizacije mogu se klasifikovati na:

- direktne ili šaržne i
- tekuće ili kontinualne procese.

Slika 1. daje pregled procesa imobilizacije RAO-materijala u bitumenu. Žaržni su procesi prva faza u

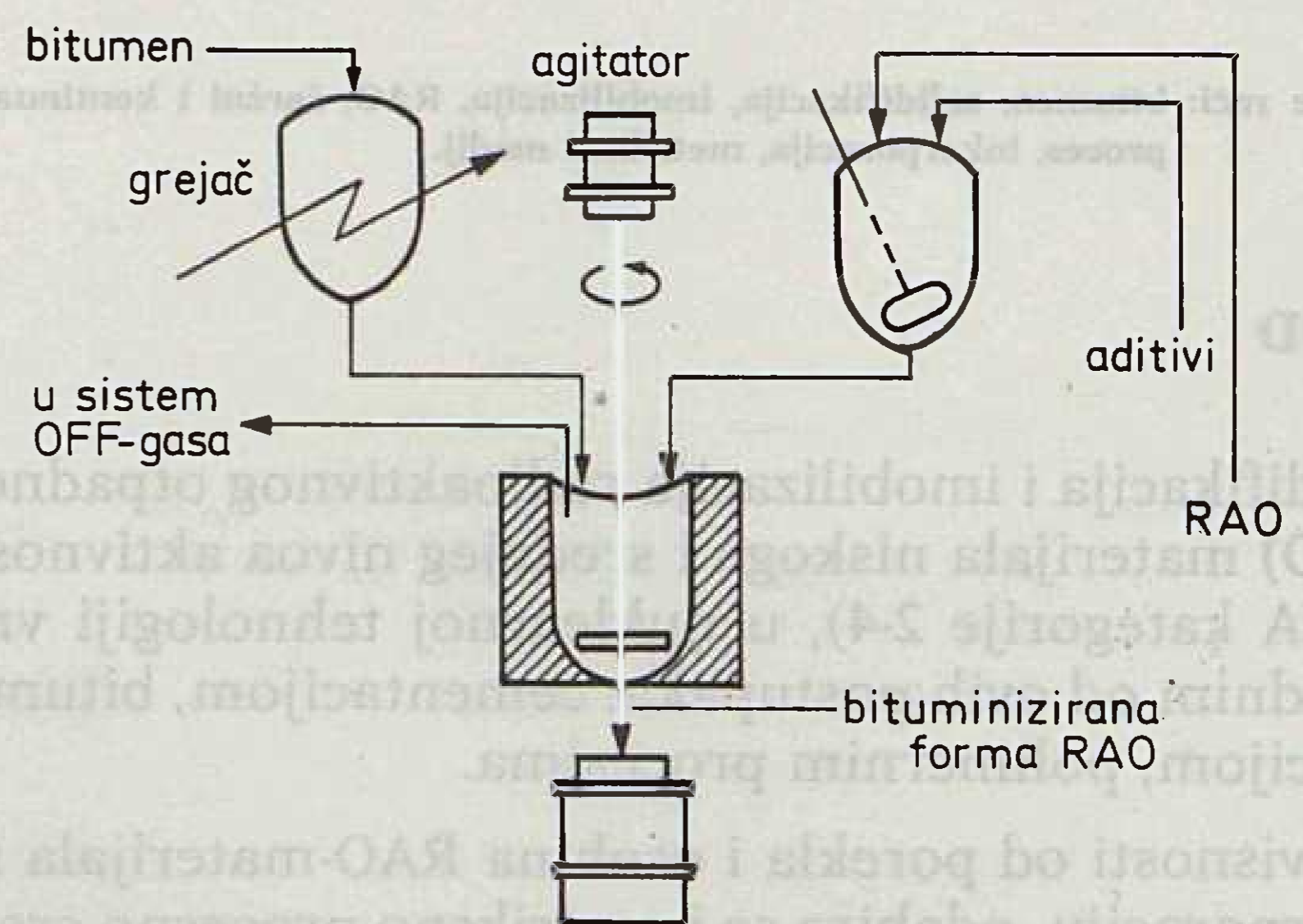


Slika 1. Pregled vrsta procesa imobilizacije RAO-materijala u bitumenu

razvoju procesa imobilizacije RAO na osnovu kojih su se sticala razvojna saznanja ranih 60-tih godina. Kontinualni procesi, nastali kao optimizacija postojećih šaržnih, proširili su dijapazon RAO-materijala za imobilizaciju i solidifikaciju u bitumenu. Tretirani su RAO-materijali različitih priroda i doza zračenja.

## DIREKTNI PROCES BITUMENIZACIJE SA UPARAVANJEM

Taj se proces primenjuje za imobilizaciju različitih vrsta RAO-tečnosti i muljeva. U tom se procesu RAO-materijal kontinualno uvodi u određenu zapreminu rastopljenog bitumena. Proces se odvija na promenljivim temperaturama. Šarža ima spoljašnje zagrevanje ili se zagreva putem grejnih tela zaronjenih u bitumensku masu.

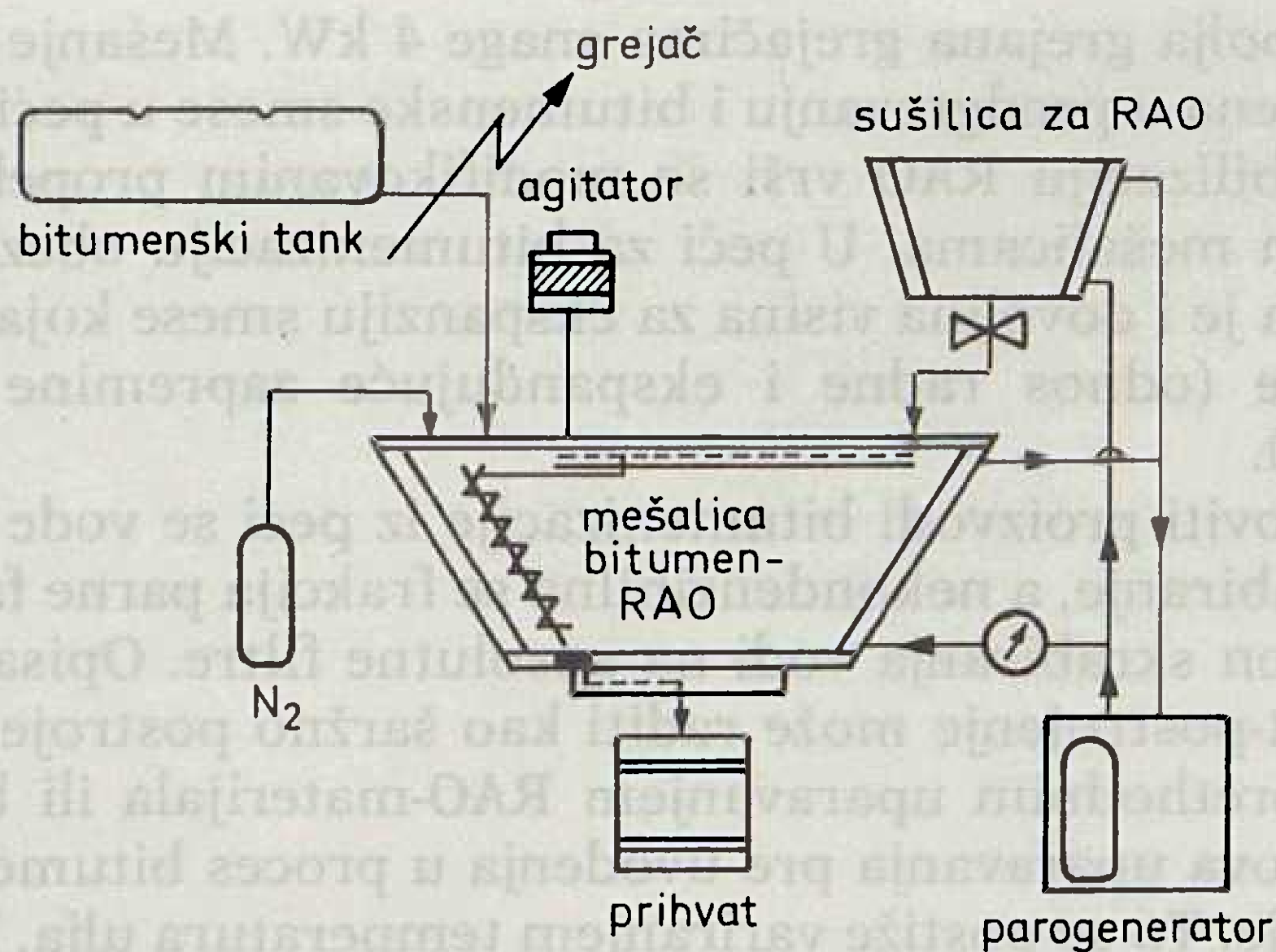


Slika 2. Shema šaržnog procesa bitumenizacije sa uparavanjem

Shema šaržnog procesa bitumenizacije sa uparavanjem data je na slici 2, a nedostaci tako vođenog procesa jesu smanjena operativna sigurnost za teža jedinjenja i uzak radni temperaturni opseg korišten radi izbegavanja pregrevanja, što uzrokuje formiranje obloga na posudama koje se greju.

## DIREKTNI PROCES BITUMENIZACIJE BEZ UPARAVANJA

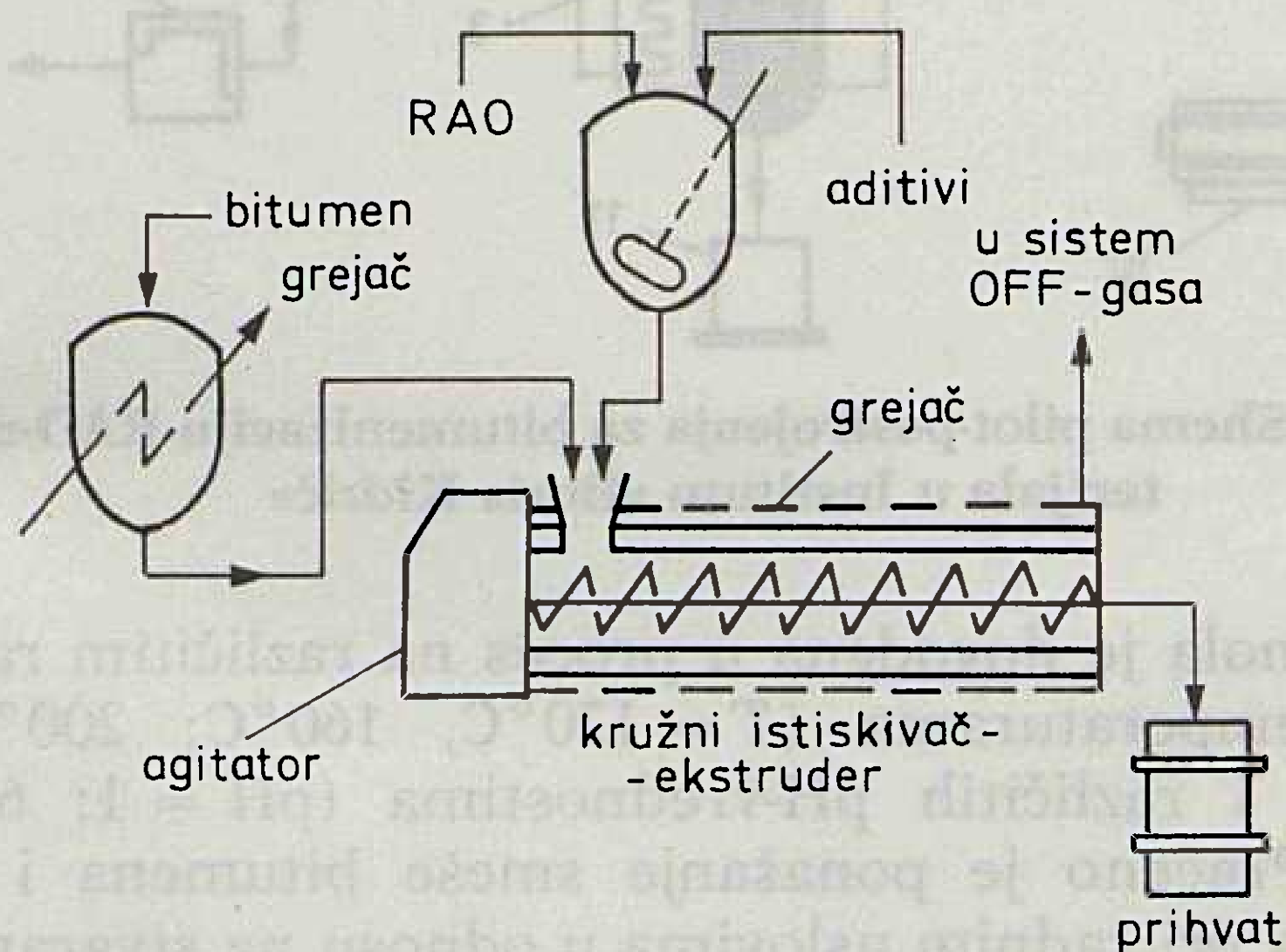
Ta se vrsta procesa primenjuje pri imobilizaciji suvih RAO-materijala: granulastih, puderastih J. I-smola. Primenljiv je i za ostale granulaste otpade. Pri solidifikaciji RAO-materijal tom vrstom procesa, otpadni se materijal pre uvođenja u bitumensku šaržu suši. Radna temperatura zavisi od prirode materijala koji se solidifikuje. Grejanje šarže je spoljašnje: električnim grejačima ili parom. Proces i tehnička instalacija jednostavniji su negoli u procesu sa uparavanjem, jer je korak uparavanja RAO razdvojen od mešanja RAO sa bitumenom. Time je izbegnuto pregrevanje smeše i stvaranje obloga po zidovima grejnih sudova. Slika 3. daje shematski prikaz tog procesa bitumenizacije.



Slika 3. Shema šaržnog procesa bitumenizacije bez uparavanja

### KONTINUALNI JEDNOSTEPENI PROCES BITUMENIZACIJE ISTISKIVANJEM

Korišćenjem procesa bitumenizacije istiskivanjem omogućena je imobilizacija velikog broja RAO-materijala: vodenih RAO-rastvora, istrošenih J. I.-smola, koncentrisanih i regenerisanih slanah rastvora, insineratorskog pepela i drugoga. Kao što se vidi na slici 4, RAO-materijali se kontinualno uvode u proces na

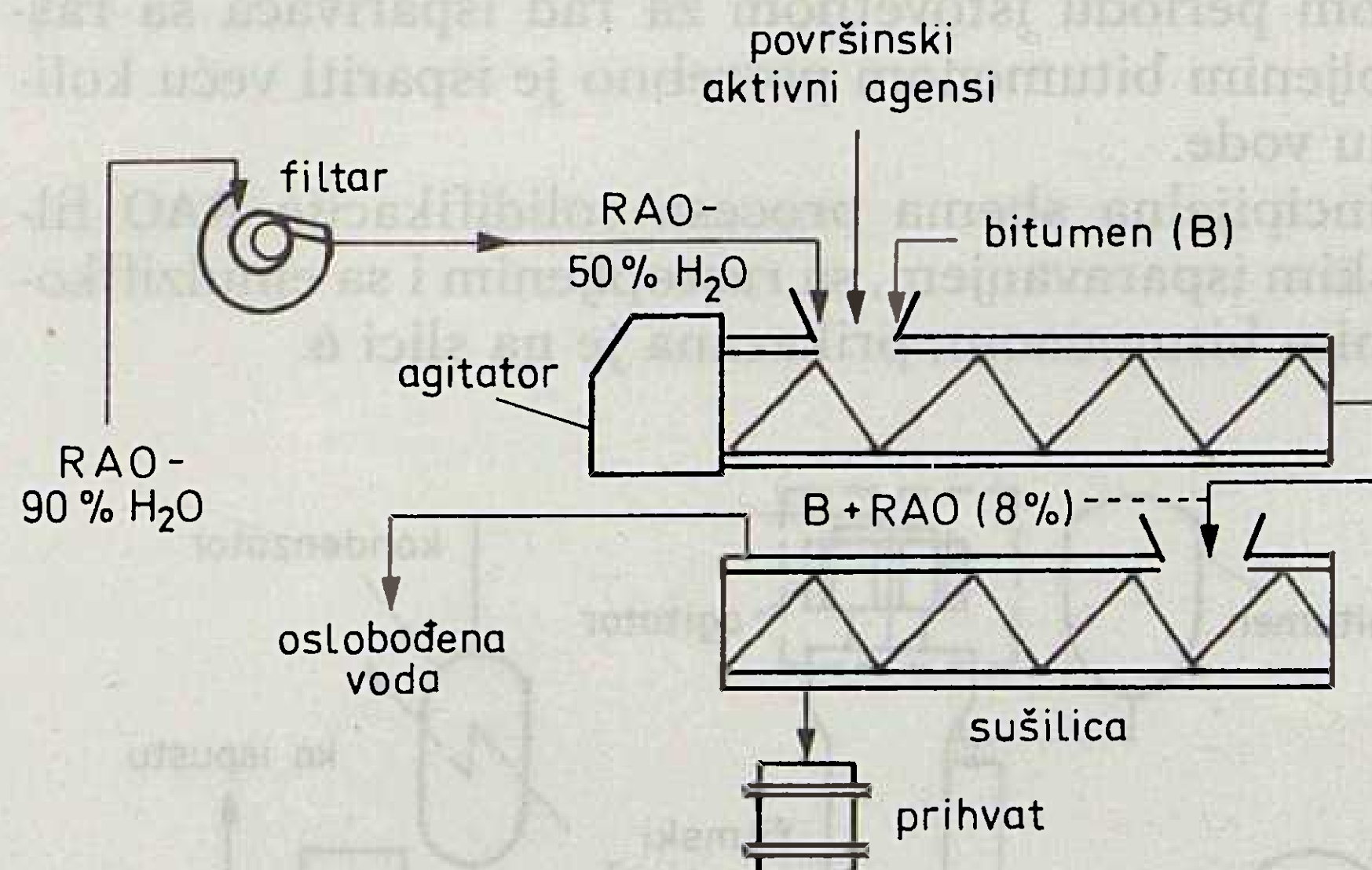


Slika 4. Shema kontinualnoga jednostepenog procesa bitumenizacije istiskivanjem

ulazu istiskivača-ekstrudera sa jednostrukim ili dvostrukim helksom, zajedno sa zagrejanom bitumenom. Prolazeći kroz istiskivač, voda isparava u parne kupole. Teže čestice i bitumen simultano, se gnječe i mešaju. Toplota potrebna za vođenje procesa dovodi se spolja. Efikasnost tako vodenog procesa imobilizacije RAO-materijala može se povećati različitim tehničkim i tehnološkim dodacima procesu: tretiranjem istiskivača kao sistema uparivača, sa zonama promenljivih vrednosti pritiska i temperatura, pomoću aditiva za proces fiksacije radionuklida u bitumen i slično.

### KONTINUALNI DVOSTEPENI PROCES BITUMENIZACIJE ISTISKIVANJEM

Proces je razvijen na inkorporaciju RAO-muljeva i suspenzija u rastopljeni bitumen. Na slici 5. prikazana je shema tog procesa.



Slika 5. Shema kontinualnog dvostepenog procesa bitumenizacije istiskivanjem

U prvoj, pripremnoj fazi, iz smeše RAO-materijala i bitumena intenzivnim se uparavanjem izdvaja voda. U sledećoj fazi težinski se udeo vode u bitumenskoj smeši RAO snižava do 0,5 težinskih procenata. Istiskivači su jednostruki ili dvostruki heliksi. U poređenju sa procesom jednostepenog istiskivanja, ova kategorija procesa ima veći kapacitet. Modifikovana verzija dvostepenog istiskivača ima rotacionu sušilicu RAO-materijala namesto ekstrudera u prvom stepenu procesa.

### PROCESI FILMSKOG ISPARAVANJA

#### Procesi filmskog isparavanja sa rastopljenim bitumenom kao matriksnim medijem

Taj se proces primenjuje za imobilizaciju otparenih koncentrata, muljeva i istrošenih J. I.-smola. Efluenti procesa uvode se na vrhu rotacionog distributera, a mešanje RAO-materijala sa matriksom vrši se duž zidova suda. Grejanje sistema vrši se spolja, a grejni su medij mineralna ulja. Saržaj vode u sistemu progresivno se smanjuje po visini isparivača. Proces se može voditi i semikontinualno. Stepenu mešanja efluenta procesa sa matriksom povećava se korišćenjem turbulentnoga filmskog isparivača (LUWA tip).

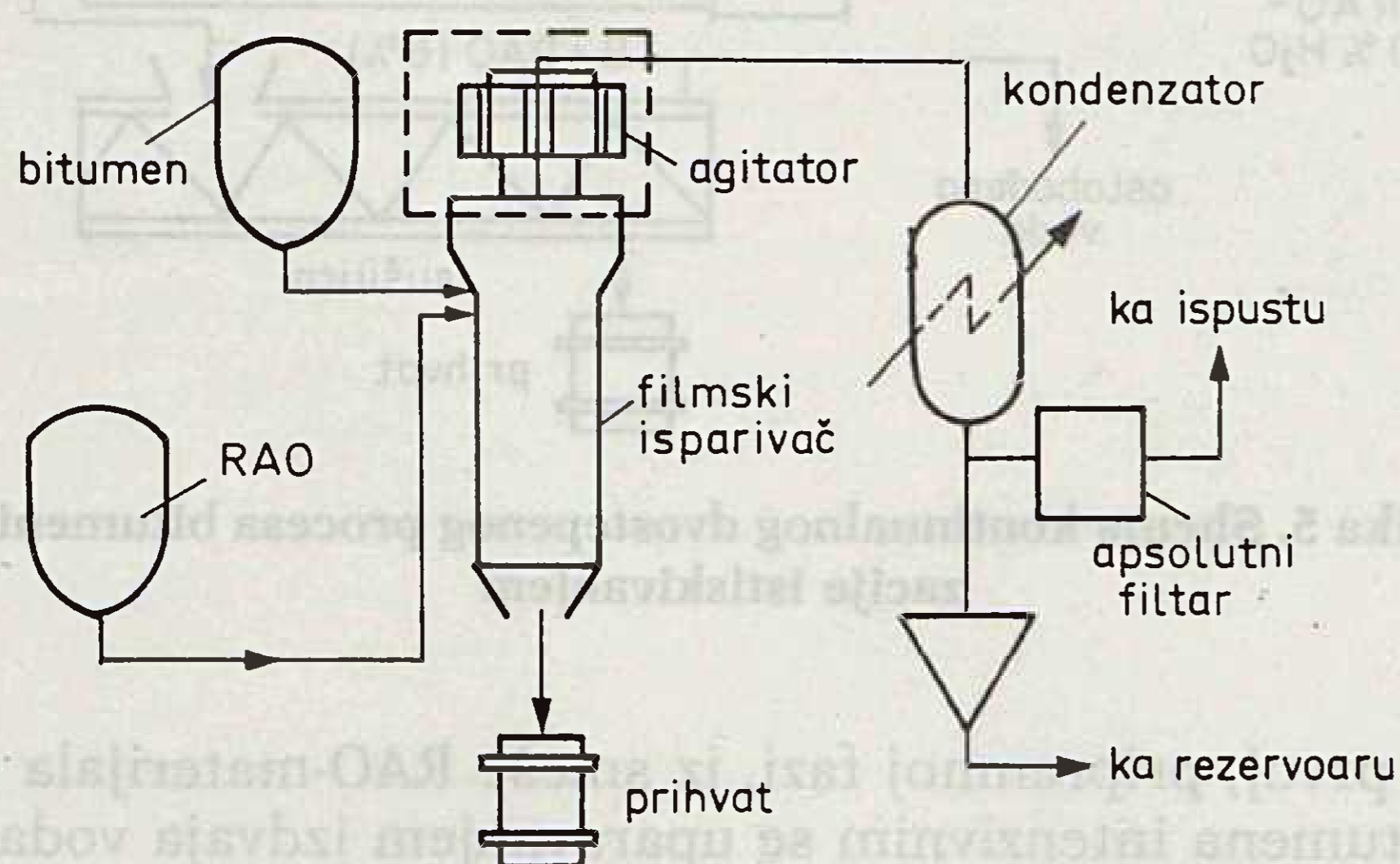
#### Procesi filmskog isparavanja sa bitumenskim emulzijama kao matriksnim medijem

Emulzifikovani bitumeni koriste se za imobilizaciju J. I.-smola, evaporatorskih koncentrata i muljeva. Princip imobilizacije RAO istovetan je kao kod isparivača sa rastopljenim bitumenom, samo pri radu sa emulzijama pri mešanju ne mora postojati spoljašna



agitacija. Emulzifikovani se bitumeni koriste i u isparivačima sa turbulentnom filmskom strujom, za imobilizaciju PWR-tečnih otpadnih materijala, bez prethodnog evaporisanja. Grejni medij sistema je para. Korišćenje emulzifikovanog bitumena olakšava transport i upotrebu matriksa, a nedostatak tako vođenog procesa imobilizacije RAO jest umanjeni kapacitet jedinice za bitumenizaciju. Naime, u vremenskom periodu istovetnom za rad isparivača sa rastopljenim bitumenom potrebno je ispariti veću količinu vode.

Principijelna shema procesa solidifikacije RAO filmskim isparavanjem, sa rastopljenim i sa emulzifikovanim bitumenom, prikazana je na slici 6.



Slika 6. Shema procesa imobilizacije RAO procesom filmskog isparavanja (matriksni medij: rastopljeni ili emulzifikovani bitumen)

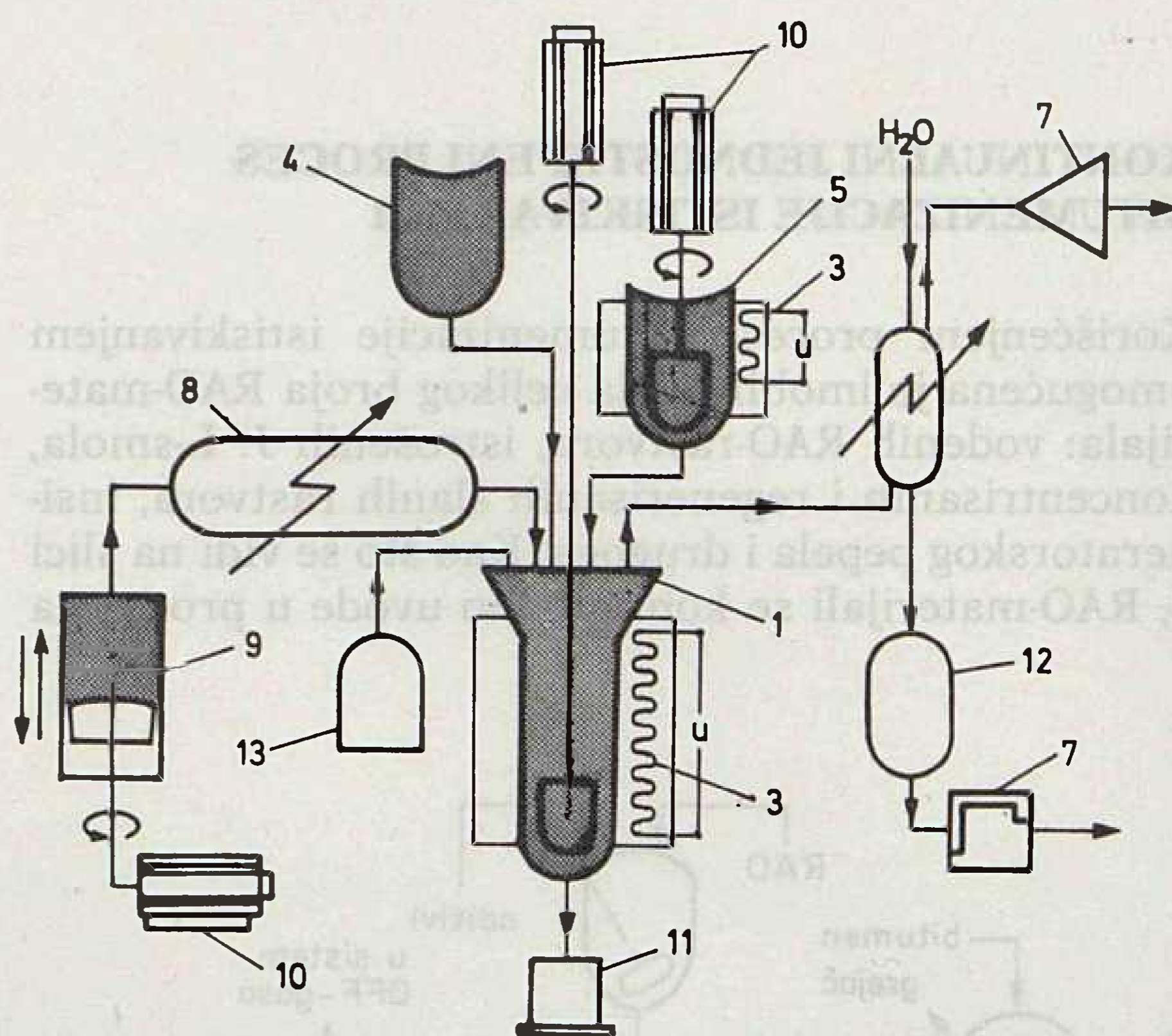
#### RAZVOJ I PRELIMINARNA ISPITIVANJA NA PILOT-POSTROJENJU ZA BITUMENIZACIJU RAO U IBK VINČA

Na osnovu dosad izloženih procesa i iskustava pri bitumenizaciji RAO-materijala, u IBK Vinča konstruisano je pilot-postrojenje šaržnog tipa, sa kontinualnim doziranjem materijala za imobilizaciju. Primljeni otpadni materijali su J. I.-smole, kationsko-anionskog tipa (LEWATIT SM. 600 KR. CL), koje se upotrebljavaju u NE Krško. Matriksni mediji u procesu su standardizovani, domaći bitumeni BIT 200, BIT 90 i BIT 60.

Vršena su preliminarna ispitivanja mogućnosti imobilizacije i solidifikacije istrošenih J. I.-smola u tim bitumenima u različitim radnim uslovima temperature ( $T$ ) i kiselosti ( $ph$ ) materijala koji se imobilizira. Radi sprečavanja stvaranja obloga po zidovima sudova koji se greju i onemogućavanja pojave pregrevanja efluenta procesa u šarži, efluenti se pre uvođenja u proces predgrevaju (J. I.-smole do  $80^{\circ}\text{C}$ , bitumeni do temperatura tečenja po celokupnoj masi). J. I.-smole greju se u suprotnostrujnom razmenjivaču toplote, u kojemu je ulje grejni medij. Doziranje J. I.-smola u proces vrši se klipno, a različite su brzine doziranja obezbeđene vezom osovine klipa sa sistemom reduktora elektromotora. Bitumen se predgrevava u sudu sa spoljašnjim grejanjem, grejačima snage  $1,5\text{ kW}$ . Peć za bitumenizaciju RAO-materijala takođe

je spolja grejana grejačima snage  $4\text{ kW}$ . Mešanje bitumena u predgrevanju i bitumenske smese u peći za imobilizaciju RAO vrši se modifikovanim propellerskim mešalicama. U peći za bitumenizaciju obezbeđena je i dovoljna visina za ekspanziju smese koja se greje (odnos radne i ekspandujuće zapremine je  $1:6$ ).

Gasoviti proizvodi bitumenizacije iz peći se vode na skrabiranje, a nekondenzibilna se frakcija parne faze nakon skrabiranja vodi na apsolutne filtre. Opisano pilot-postrojenje može raditi kao šaržno postrojenje sa prethodnim uparavanjem RAO-materijala ili bez njihova uparavanja pre uvođenja u proces bitumenizacije. To se postiže variranjem temperatura ulja, koje je grejni medij. Aditivi u procesu jesu različite površinski aktivne materije koje služe za sprečavanje pene koja se stvara u procesu, a ujedno su i fiksatori radionuklida u bitumenu.



Slika 7. Shema pilot-postrojenja za bitumenizaciju RAO-materijala u Institutu »Boris Kidrič«

J. I.- smola je dovođena u proces na različitim radnim temperaturama ( $T = 120^{\circ}\text{C}$ ,  $160^{\circ}\text{C}$ ;  $200^{\circ}\text{C}$ ;  $220^{\circ}\text{C}$ ) i različitim pH-vrednostima ( $\text{pH} = 1$ ;  $6$ ;  $9$ ;  $5$ ;  $11$ ). Praćeno je ponašanje smeše bitumena i J. I.-smola pri radnim uslovima u odnosu na stvaranje pene i gasova. Praćen je izgled i konzistencija bitumenskih proizvoda u odnosu na zastupljene težinske udele materijala koji se imobiliziraju. Ta će preliminarna istraživanja poslužiti kao osnova za optimizaciju procesa bitumenizacije RAO-materijala, kao i pri određivanju značajnih fiziko-hemijskih parametara bitumenskih produkata: nivoa leachinga i leakagea, mehaničke otpornosti, zapaljivosti i drugoga. Na slici 7. dat je shematski prikaz pilot-postrojenja u IBK Vinča.

#### ZAKLJUČAK

Proces imobilizacije i solidifikacije RAO-materijala bitumenizacijom jedan je od alternativnih procesa u nuklearnoj tehnologiji pri radu sa RAO niskoga i

srednjeg nivoa aktivnosti. Različitost i razvijenost procesa bitumenizacije obezbeđuje primenu bitumena kao matriksnog medija za veliki broj RAO-materijala. Sledeći trendove razvijenih zemalja, i u našoj se zemlji nakon izgradnje NE Krško javio problem imobilizacije RAO-materijala. Nadamo se da će proces bitumenizacije, koji je u razvojnoj fazi, uz razvijen proces cementacije RAO u IBK, obezbediti sigurnu imobilizaciju, solidifikaciju i skladištenje RAO na jugoslovenskim prostorima.

#### LITERATURA

- [1] »Radwaste volume reduction & solidification system«, Report No. WPC-VRS-001, Nuclear Regulatory Commission, Nov. 1976.
- [2] »Conditioning of Low-and Intermediate-level Radiactive wastes«, Technical Reports Series No. 222, May 1981.
- [3] I. A. SOBOLEV, L. M. HOMČIK: »Obezvreživanje radioaktivnih Othodov na centralizovanih punktah«, Moskva energoatomizdat, 1983.
- [4] »Radioactive waste Disposal into the Ground«, Safety series No. 15, IAEA Vienna, 1965.
- [5] »Management of Low-and Intermediate-level Radiactive Wastes«, IAEA Proceedings of a Symposium, Aix-en-Provence, 7-11 Sept. 1970.
- [6] »Management of Radiactive Wastes from Nuclear Fuel Cycle«, Vol. I, IAEA Proceedings of a Symposium, Vienna, 22-26, March 1976.
- [7] »Bituminization of Radioactive Wastes«, Technical Reports Series No. 116, IAEA, Vienna, 1970.

#### A REVIEW OF DEVELOPMENT TECHNICS AND IMOBILISATION OF RADIOACTIVE WASTE APPLICATION BY BITUMEN PROCESS

In the article is presented a method for bounding of low and medium active wastes in bitumen mass. It is presented a pilot assembly in Institut »Boris Kidrič« Vinča.

#### ÜBERSICHT DER ENTWICKLUNGEN DER TECHNIKEN OI, MÖGLICHKEITEN DER ANWENDUNG DES IMMOBILISATIONSPROZESSES DER RADIOAKTIVEN ABFÄLLE DURCH DAS BITUMEN — VERFAHREN

Im Artikel wird eine Übersicht der Bindungsmethoden der radioaktiven Abfälle geringer und mittlerer Aktivität in der Bitumen — Masse gegeben. Man präsentiert eine Pilotanlage die im Institut »Boris Kidrič« in Vinča hergestellt wurde.

#### ОБЗОР РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССА ИММОБИЛИЗАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ БИТУМЕННЫМ МЕТОДОМ

В статье дано обозрение метода соединения радиоактивных отходов низкой и средней активности в битумной массе. Представлена свая установки, выполненной в Институте »Борис Кидрич« в г. Винче.

Naslov pisaca:

**Aleksandar Perić,  
Ilija Plećaš,  
Andreja Kostadinović,  
Institut za nuklearne nauke  
»Boris Kidrič«, Vinča,  
11000 Beograd, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1988-02-23



## „MONTER“

Radna organizacija za projektiranje,  
inženjering poslove, proizvodnju, montažu  
u industriji i postavljanje svih vrsta  
instalacija u građevinarstvu,  
s neograničenom solidarnom odgovornošću  
OOUR-a

41000 Zagreb N. Demonje 4  
Telefon 041/571-866  
Telegram Monter  
Telex 21433 Yu Monter

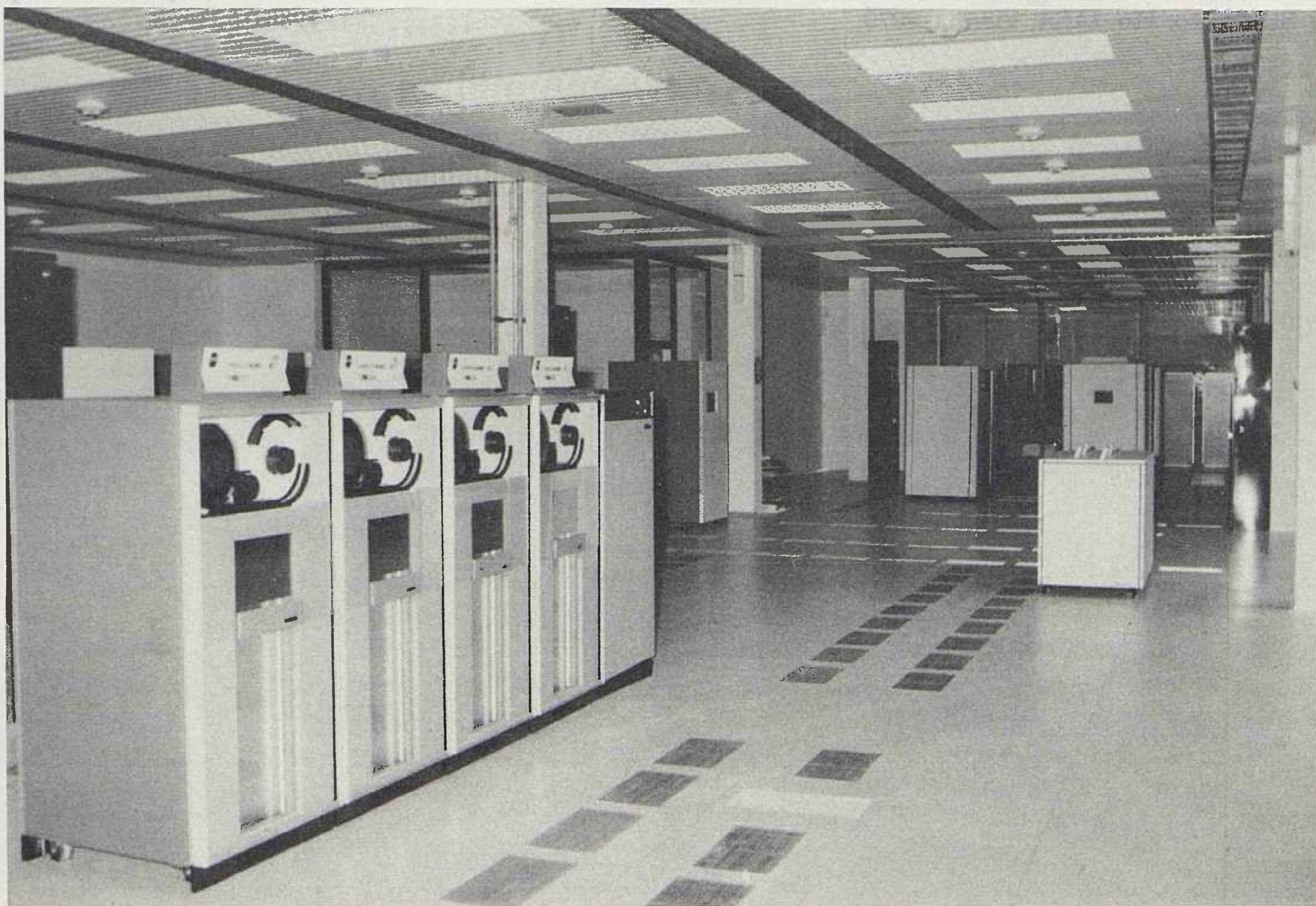
SPONZOR-SUORGANIZATOR  
**UNIVERZIJADE'87**

ZAGREB  
JUGOSLAVIJA



RO »Monter« izvodi sve montažne radove i projektiranja na području hidromontaže, električke, automatike, grijanja i hlađenja, montaže opreme i cijelih procesa u industriji, cjevovode, čelične konstrukcije, rezervoare i slično.

Iz godine u godinu RO »Monter« Zagreb sa 4.500 zaposlenih radnika bilježi sve zapaženije rezultate i danas je jedan od najvećih montažerskih kolektiva u Jugoslaviji, a poznat je i cijenjen u Alžiru, Austriji, Čehoslovačkoj, DDR, Libiji, Mađarskoj, SR Njemačkoj, Poljskoj, Sudanu i SSSR-u — zemljama u kojima već 20 godina s puno uspjeha izvodi sve vrste radova.



CAOP Zagreb — instalaterske radove izvodili radnici Montera

# ULOGA UZEMLJIVAČA STUPOVA U ZAŠTITI DISTRIBUTIVNIH VODOVA OD ATMOSFERSKIH PRENAPONA

Mr. Srđan Žutobradić — mr. Milan Puharić, Zagreb

UDK 621.316.992:621.316.91

PREGLEDNI RAD

Izložena je metoda proračuna atmosferskih prenapona na nadzemnim distributivnim vodovima. Na temelju matematičkog modela provedeni su proračuni očekivanog broja preskoka na izolaciji distributivnih vodova 35, 20 i 10 kV, s posebnim osvrtom na utjecaj uzemljivača stupova.

**Ključne riječi:** distributivne mreže, uzemljivači stupova, atmosferski prenaponi.

## 1. UVOD

Nadzemni elektroenergetski vodovi po pravilu su ozbiljno ugroženi djelovanjem prenapona atmosferskog porijekla. To se naročito odnosi na distributivne vodove nazivnog napona 35, 20 i 10 kV.

Prevladava mišljenje da se zaštita takvih vodova od atmosferskih prenapona ostvaruje isključivo pomoću uzemljivača stupova koji moraju imati dovoljno niske otpore:

$$R \leq \frac{U_i}{I_m} \quad (1)$$

$U_i$  — podnosivi udarni napon izolatora (kV);

$I_m$  — tjemena vrijednost očekivane struje groma (kA).

Formula (1) preuzeta je iz važećih tehničkih propisa o gradnji nadzemnih vodova, a njome se uglavnom služe naši projektanti. Međutim u [L. 1] upozoreno je na činjenicu da uzemljivači stupova imaju mnogo skromniju ulogu u zaštiti vodova od povratnih preskoka, no što bi se zaključilo po formuli (1). Osim toga, povratni preskoci na distributivnim vodovima nisu jedina posljedica djelovanja atmosferskih prenapona. Veoma su česti ispadi zbog **induciranih prenapona**, zbog udara gromova u okolišu vodova. Na nadzemnim 10(20) kV-tnim vodovima bez zaštitnih vodiča mogući su i **direktni udari** groma u vodove.

Dodatna je nekorektnost kriterija (1) to da su pri odvođenju struja groma u zemlju mjerodavne impulsne impedancije uzemljivača ( $Z_i$ ), koje se više ili manje razlikuju od stacioniranih otpora ( $R$ ). Stoga će se u ovom radu detaljnije razmotriti uloga uzemljivača stupova u zaštiti nadzemnih vodova (posebno distributivnih) od atmosferskih prenapona.

## 2. MODEL ZA ANALIZU ATMOSFERSKIH PRENAPONA NA NADZEMNIM VODOVIMA

Prenaponi atmosferskog porijekla na nadzemnim vodovima mogu biti različite vrste (ovisno o izvedbi voda).

### Vodovi sa zaštitnim vodičem

- prenaponi zbog povratnih preskoka
- inducirani prenaponi
- prenaponi zbog direktnih udara groma u fazne vodiče (mimo zaštitnih vodiča)

### Vodovi bez zaštitnog vodiča

- inducirani prenaponi
- prenaponi zbog direktnih udara groma u fazne vodiče

U daljnjem tekstu ukratko ćemo razmotriti način proračuna vjerojatnosti kvarova nadzemnih vodova zbog navedenih prenapona.

#### a) Inducirani prenaponi

Veličina prenapona induciranog na vodu zbog udara grom u okolišu može se odrediti iz [L. 2] pomoću formule:

$$U = k \cdot \frac{60 \cdot I_m \cdot h}{b} \quad (2)$$

gdje su:

- $I_m$  — očekivana amplituda struje groma (kA);
- $h$  — visina najvišeg vodiča iznad zemlje (m);
- $b$  — udaljenost mjesta udara groma od voda (m);
- $k$  — koeficijent koji ovisi o brzini povratnog pražnjenja zbog udara groma i o tome je

li kraj ili početak voda bliži mjestu udara groma. Kreće se od 0,5 do 1, ali se najčešće uzima vrijednost 0,5.

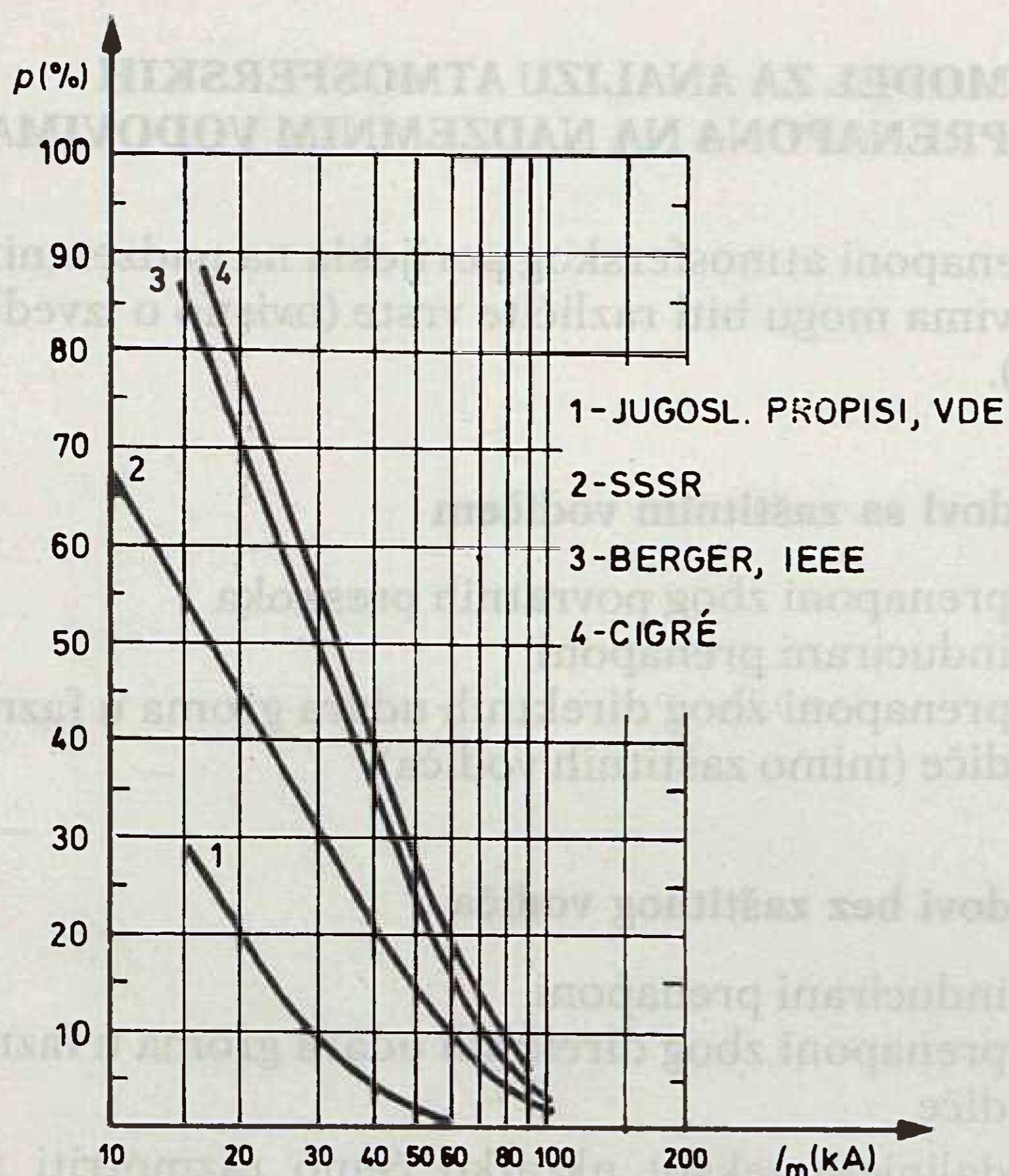
Vjerojatnost da će inducirani prenapon biti veći od podnosivog napona izolatora ( $U_i$ ) ovisi, između ostalog, o vjerojatnosti pojave određenih amplituda struja groma. Ta se vjerojatnost u jednostavnom obliku može prikazati kao:

$$p(I > I_m) = \text{EXP}(-I_m/\gamma) \quad (3)$$

Koeficijent  $\gamma$  uzima se iz sovjetske prakse (L. 2) kao:

$$\gamma = 26,1 \text{ (kA)}$$

S obzirom na to da u našoj literaturi još nema podataka o mjerenjima struja groma, u daljnjim ćemo se proračunima koristiti spomenutom vrijednosti. U prilog takvom stavu govori činjenica da se krivulja vjerojatnosti prema izrazu (3) nalazi između krivulje koju određuju naši tehnički propisi [L. 3] i koja se smatra previše optimističkom, te krivulje koju predlaže međunarodna organizacija CIGRE (sl. 1).



Slika 1. Amplitude struja groma

Na temelju formula (2) i (3) može se dobiti ukupni broj udara groma u okolišu voda koji rezultiraju induciranim naponima višim od podnosivog napona izolacije  $U_i$  [L. 2]:

$$N_i = \frac{23,5 \cdot T_d \cdot h}{U_i} \cdot \text{EXP}(-U_i/260) \quad (4)$$

$T_d$  — broj grmljavinskih dana u jednoj godini;

$h$  — visina voda (m);

$U_i$  — podnosivi napon izolacije (kV).

#### b) Prenaponi zbog povratnih preskoka

Na vodovima se zaštitnim vodičima, većina udara groma završava na zaštitnom vodiču — u rasponu ili u stupu. Ako je veličina napona koji se pri tome veća od izolacijske čvrstoće voda prema zemlji, nastaje

preskok s uzemljenog stupa na najbliži fazni vodič. Opisani se preskok naziva povratni preskok.

Korektna računaska analiza povratnog preskoka veoma je složen zadatak. U ovom ćemo se radu koristiti matematičkim modelom koji je detaljno opisan u [L. 1], pa se zato na njemu nećemo posebno zadržavati. No, zato je potrebno odrediti očekivani broj udara groma u nadzemne vodove. Za tu se svrhu moguće koristiti empirijskom formulom iz [L. 4]:

$$N_u = 0,0004 \cdot T_d^{1,35} \cdot (b + 4 \cdot h^{1,09}) \quad (5)$$

$h$  — efektivna visina voda;

$T_d$  — broj grmljavinskih dana u godini;

$b$  — razmak između zaštitnih vodiča (0 m za distributivne vodove s jednim zaštitnim vodičem).

#### c) Prenaponi zbog direktnih udara groma u fazne vodiče

Udari groma u fazne vodiče nadzemnih distributivnih vodova opremljenih zaštitnim vodičima izuzetno su rijetka pojava, pa ih nećemo posebno razmatrati. Ta je problematika mnogo naglašenija kod prijenosnih vodova napona 110 kV i više.

Broj udara gromova u nadzemne vodove koji nemaju zaštitne vodiče, procjenjuje se pomoću formule (5). Kritična struja koja uzrokuje preskok na izolaciji tada se određuje kao:

$$I_{kr} = \frac{2 \cdot U_i}{Z_0} \quad (6)$$

$U_i$  — podnosivi udarni napon izolacije (kV);

$Z_0$  — valna impedancija voda ( $\approx 350 - 450 \Omega$ ).

Iz formule (6) lako se zaključuje da će praktički svaki direktni udar groma u fazne vodiče izazvati preksoke na izolaciji. Kod vodova na drvenim stupovima česta je dodatna posljedica raspad stupova.

### 3. IMPULSNE IMPEDANCIJE UZEMLJIVAČA

Osnovna veličina koja opisuje uzemljivač pri odvođenju struje groma u zemlju jest njegova impulsna impedancija ( $Z$ ). To je veličina koja, suprotno stacionarnom otporu uzemljivača ( $f = 50 \text{ Hz}$ ), ovisi i o induktivitetu i kapacitetu elemenata uzemljivača, te o procesu ionizacije tla oko uzemljivača. Osim toga, impulsna impedancija uzemljivača je funkcija vremena.

Za potrebe projektantskih proračuna obično se definira tzv. konvencionalna impedancija uzemljenja:

$$Z_i = \frac{V_{\max}}{I_{\max}} \quad (7)$$

Odnos impulsne impedancije uzemljivača ( $Z_i$ ) i stacionarnog otpora ( $R$ ), koji je važan za odvođenje frekvencije struja 50 Hz definira se pomoću impulsnog koeficijenta:

$$\alpha = \frac{Z_i}{R} \quad (8)$$

Navedeni koeficijent može poprimiti vrlo različite vrijednosti (manje ili više od 1), ovisno o geometrijskim karakteristikama uzemljivača, vrsti tla te osobinama struje groma (strmini čela struje groma i amplitudi struje groma).

U Institutu za elektroprivredu razvijen je matematički model za proračun impulsnih impedancija uzemljivača. Model je zasnovan na primjeni Fourierova integralnog teorema, a detaljno je opisan u [L. 5].

Struja groma modelira se na uobičajeni način — kao dvostruka eksponencijalna funkcija. Pomoću Fourierova integralnog teorema ta se struja rastavlja na konačnu sumu sinusoida različitih frekvencija.

Analizirani uzemljivač rastavlja se na pravocrtne elemente koji se modeliraju pomoću  $\Pi$  — shema; parametri  $\Pi$  — shema određuju se za svaku frekvenciju posebno.

Proračuni tako modeliranog uzemljivača provode se pomoću metode čvorova, slično proračunima kratkog spoja u elektoenergetskim mrežama. Naponi pojedinih čvorova dobiju se zbrajanjem prethodno izračunatih napona za sve frekvencije.

Opisani postupak ne ograničava oblik uzemljivača i zato je pogodan za proračune impulsnih impedancija uzemljivača stupova nadzemnih vodova.

Pri odvođenju vrlo velikih struja groma s elemenata uzemljivača u zemlju može nastati ionizacija zemljišta u neposrednoj blizini uzemljivača. Taj će proces nastati kada gustoća struje odvođenja s uzemljivača prijeđe iznos koji stvara električno polje veće jakosti od kritične ( $E_k$ ). Navedeni se utjecaj uzima u obzir preko ekvivalentnog polumjera. [L. 5].

Impulsne impedancije uzemljivača stupova ovise o specifičnom otporu tla, dužini elemenata uzemljivača, probnoj čvrstoći tla, karakteristikama struja groma itd.

Sve navedene parametre teško je egzaktno odrediti, pogotovo zato što riječ o velikom broju stupova. Stoga je veoma pogodno početi od formule (7), koja se može napisati u obliku:

$$Z_i = \alpha \cdot R \quad (9)$$

$Z_i$  — impulsna impedancija uzemljivača stupa ( $\Omega$ );

$R$  — stacionarni otpor uzemljivača stupa ( $\Omega$ );

$\alpha$  — impulsni koeficijent.

Stacionarni otpor uzemljivača stupa može se relativno lako izmjeriti ili odrediti proračunom. Veličina impulsnog koeficijenta ovisi o mnogo više nepoznanica. Stoga ćemo u ovom poglavlju dati samo prosječne vrijednosti impulsnih koeficijenata ( $\alpha$ ) za različite uvjete. Proračuni su napravljeni programom UZIMP Instituta za elektroprivredu. S obzirom na mnoge prisutne nepoznanice, takav pristup sasvim zadovoljava projektantske potrebe.

Tipične vrijednosti koeficijenata dane su u tablici 1. Stacionarni otpori tipični uzemljivača stupova određeni su proračunom pomoću programa UZ1. Rezultati proračuna prikazani su na slici 2 i 3.

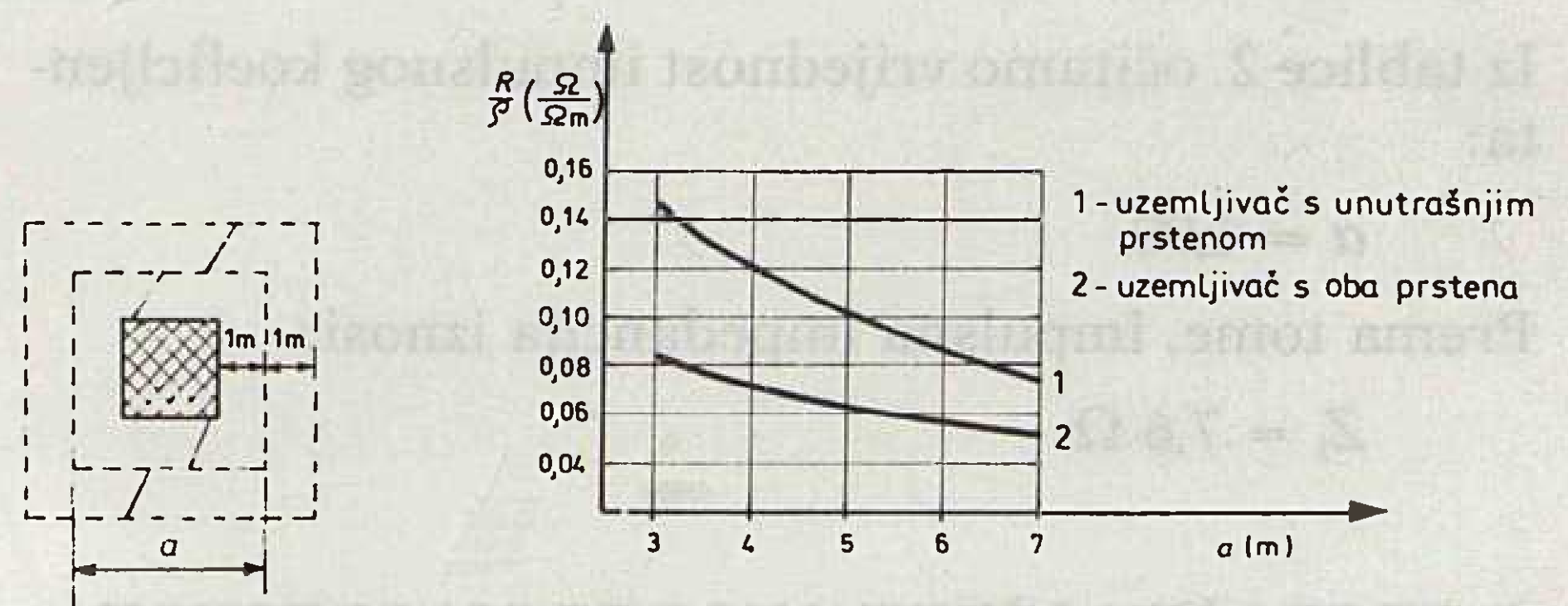
Pomoću dijagrama sa slike 2 i 3. lako se određuje stacionarni otpor uzemljivača kao:

**Tablica 1. Impulsni koeficijenti za jednokonturne i dvokonturne uzemljivače**

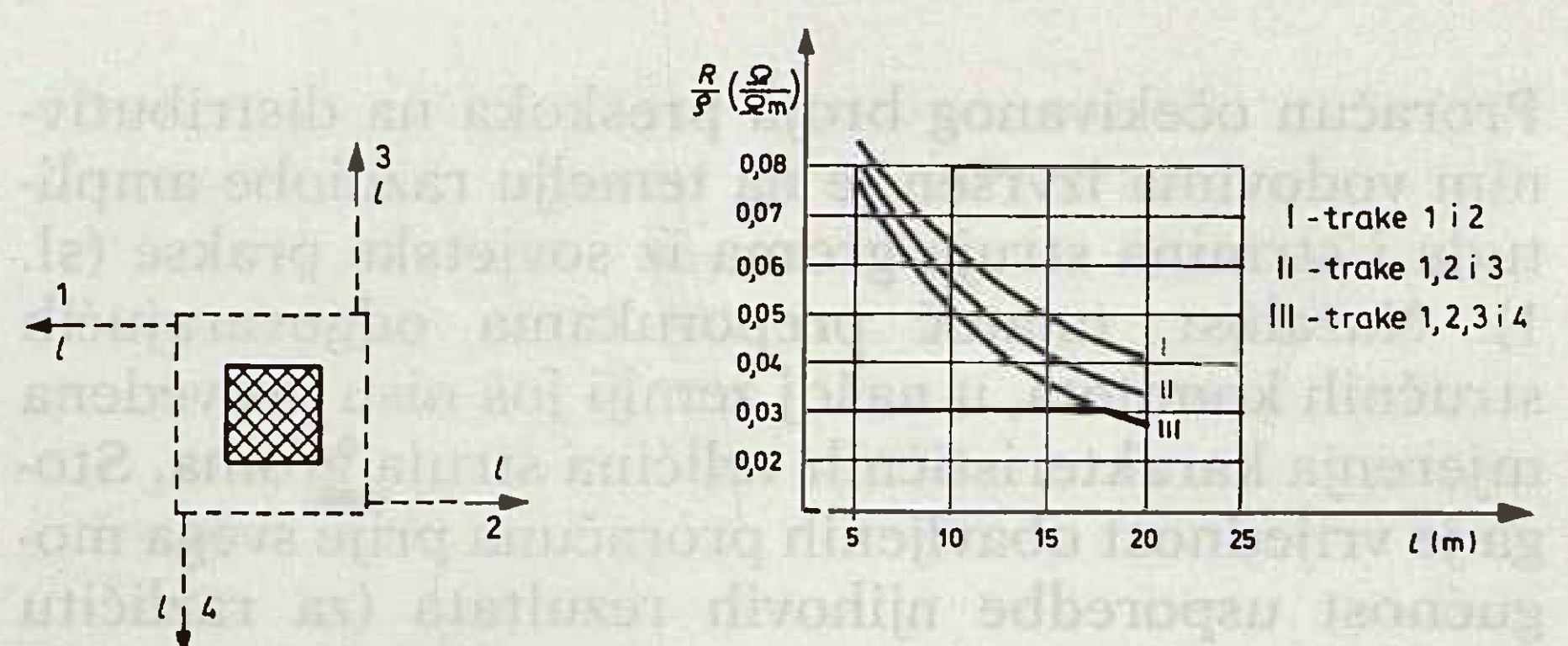
$\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )	$\alpha$ (jedna kont.)	$\alpha$ (dvije kont.)
50–100	1,00	1,00
100–200	0,92	0,98
200–500	0,85	0,95
500–1000	0,78	0,90
1000–2000	0,71	0,85

**Tablica 2. Impulsni koeficijenti za uzemljivače s dodatnim krakovima ( $l \approx 20$  m)**

$\rho$ ( $\Omega\text{m}$ )	$\alpha$
50–100	1,90
100–200	1,43
200–500	1,10
500–1000	0,94
1000–2000	0,88



**Slika 2. Uzemljivač stupa (bez dodatnih traka)**



**Slika 3. Uzemljivač stupa (s dodatnim trakama)**

$$R = \rho \cdot (R/\rho) \quad (10)$$

gdje je  $R/\rho$  jedinični otpor uzemljivača s priloženih dijagrama.

Nakon toga se pomoću vrijednosti impulsnih koeficijenata iz tablica 1 i 2. odredi impulsna impedancija uzemljivača.

Primjenu opisanog postupka pokazat ćemo na dva primjera.

**Primjer 1.**

Uzemljivač izveden u obliku jedne konture, stranice  $a = 4$  m, ukopan je u tlo specifičnog otpora  $\rho = 350$   $\Omega\text{m}$ . Valja odrediti impulsnu impedanciju  $Z_i$ .

Sa slike 2 (kriv. 1) očitamo jedinični stacionarni otpor:

$$R/\rho = 0,12 \text{ } (\Omega/\Omega\text{m}),$$

tj.

$$R = 0,12 \cdot 350 = 42 \text{ } \Omega.$$

Iz tablice 1 (1 kont.) uzimamo vrijednost impulsnog koeficijenta:

$$\alpha = 0,85.$$

Prema tome, impulsna impedancija iznosi:

$$Z_i = 0,85 \cdot 42 = 35,7 \Omega.$$

Primjer 2.

Za uzemljivač izveden u obliku jedne konture, s dva dodatna kraka dužine 15 m, svaki ukopan u tlo specifičnog otpora  $80 \Omega\text{m}$  potrebno je odrediti impulsnu impedanciju  $Z_i$ .

Sa slike 3 (kriv. I) očitamo jedinični stacionarni otpor:

$$R/\rho = 0,05 (\Omega/\Omega\text{m}),$$

tj.

$$R = 4 \Omega.$$

Iz tablice 2. očitamo vrijednost impulsnog koeficijenta:

$$\alpha = 1,90.$$

Prema tome, impulsna impedancija iznosi:

$$Z_i = 7,6 \Omega.$$

#### 4. PRORAČUN OČEKIVANOG BROJA PRESKOKA I ISPADA DISTRIBUTIVNIH NADZEMNIH VODOVA

Proračun očekivanog broja preskoka na distributivnim vodovima izvršen je na temelju razdiobe amplituda i strmina struja groma iz sovjetske prakse (sl. 1). Nažalost, unatoč preporukama odgovarajućih stručnih komiteta, u našoj zemlji još nisu provedena mjerenja karakterističnih veličina struja groma. Stoga je vrijednost obavljenih proračuna prije svega mogućnost usporedbe njihovih rezultata (za različitu izolacijsku čvrstoću, otpore uzemljivača stupova itd.). Osim toga, napominjemo da većina naših istraživača s tog područja statističke raspodjele amplituda i strmina struja groma smatra najprimjerenijim našim uvjetima.

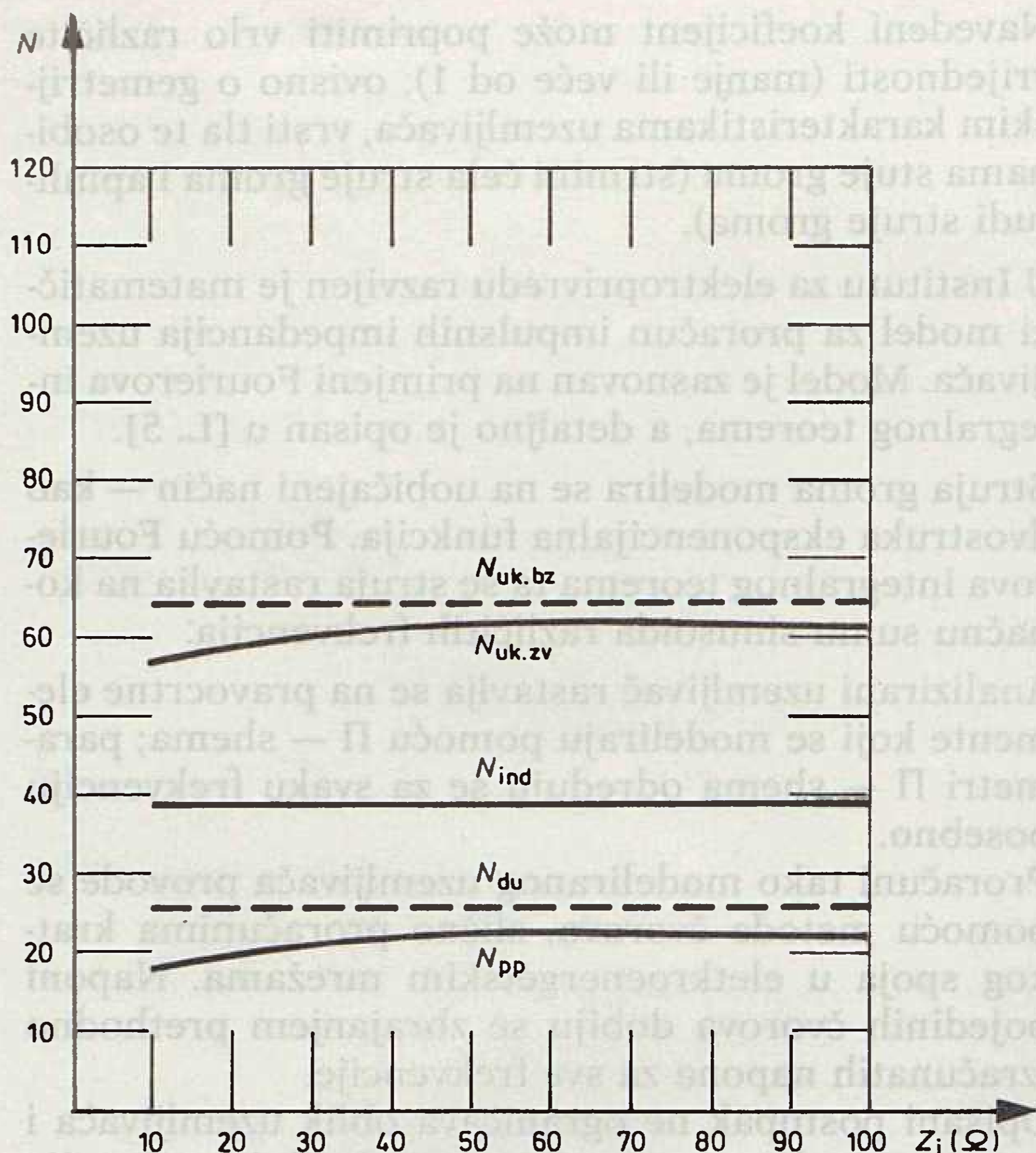
Proračun očekivanog broja preskoka na izolaciji nadzemnih vodova (zbog djelovanja atmosferskih prenapona) napravljen je za tipične distributivne 35 i 10 kV-tne vodove.

##### Vodovi 35 kV (čeličnorešetkasti ili betonski stupovi)

- visina stupa: 22 m
- prosječni raspon: 220 m
- otpor uzemljivača  $10 \dots 100 \Omega$
- izolacijska čvrstoća: 150 kV, 340 kV, 433 kV
- prosječan broj grmljavinskih dana: 20, 40 dana /god.

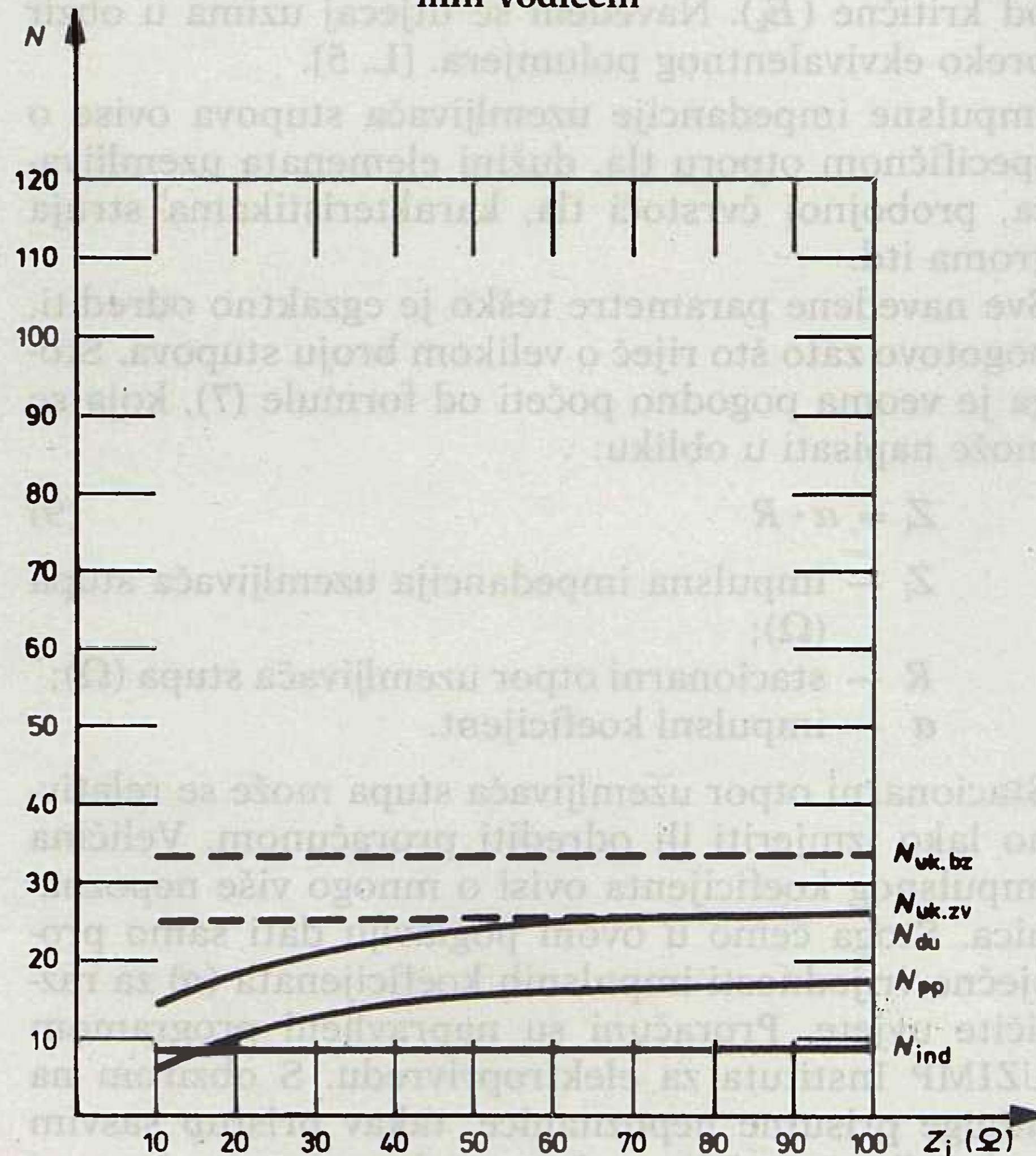
Izolacijska čvrstoća određena je na temelju podataka proizvođača izolatorskih lanaca.

Rezultati proračuna broja preskoka na izolatorima 35 kV-nih vodova (sa zaštitnim vodičem i bez njega) pokazani su na slikama 4–9.



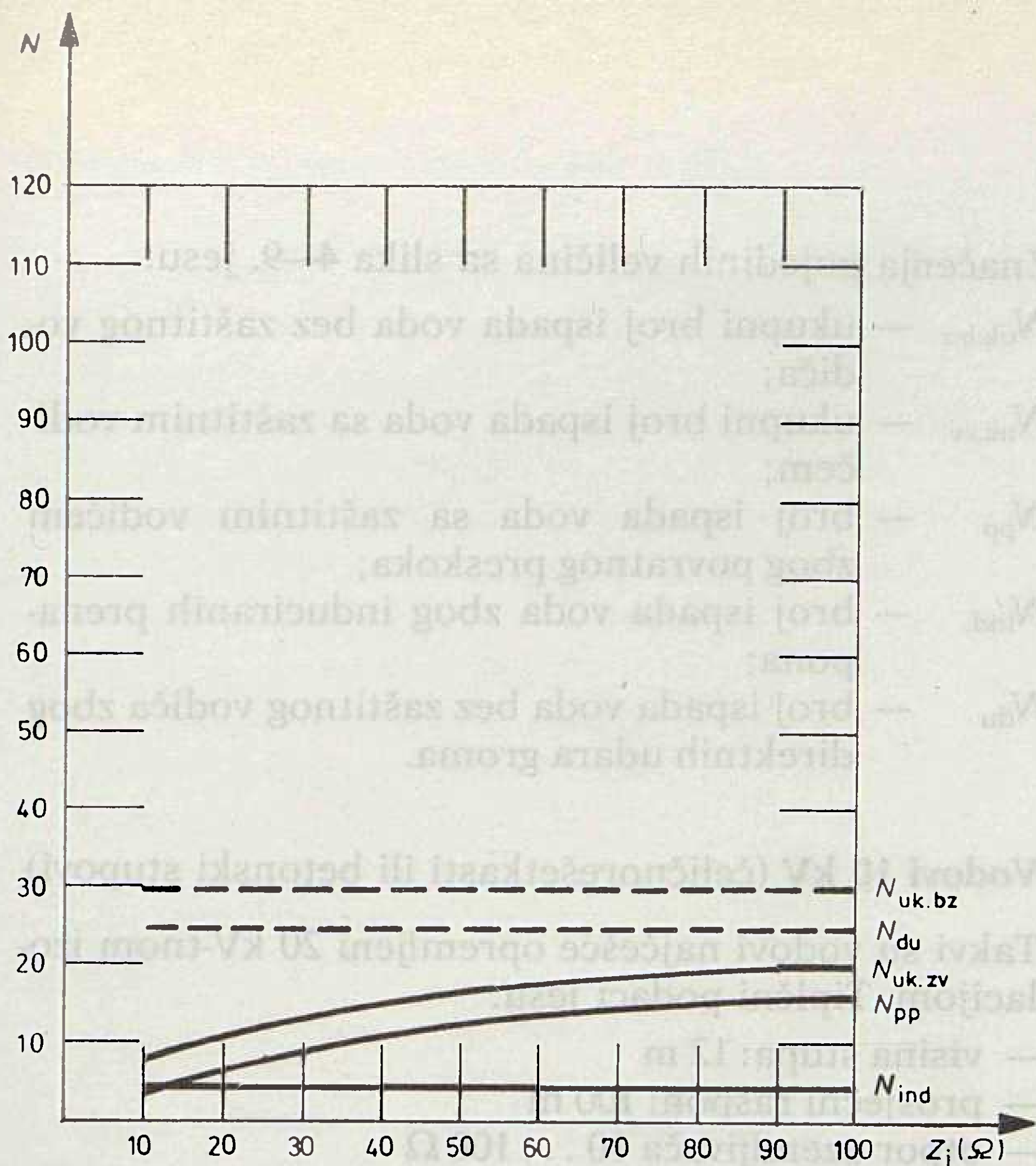
- $N_{uk.zv}$  — Ukupni broj preskoka na vodu sa zaštitnim vodičem (/100 km. god.)  
 $N_{uk.bz}$  — Ukupni broj preskoka na vodu bez zašt. vodiča (/100 km. god.)  
 $N_{ind}$  — Broj preskoka uslijed induciranih prenapona (/100 km. god.)  
 $N_{pp}$  — Broj preskoka uslijed povratnih preskoka (/100 km. god.)  
 $N_{du}$  — Broj preskoka uslijed direktnih udara (/km. go.)  
 $U_i = 150 \text{ kV}$   
 $T = 20 \text{ g.d./god}$

Slika 4. Broj preskoka 35 kV-tnog nadzemnog voda sa zaštitnim vodičem



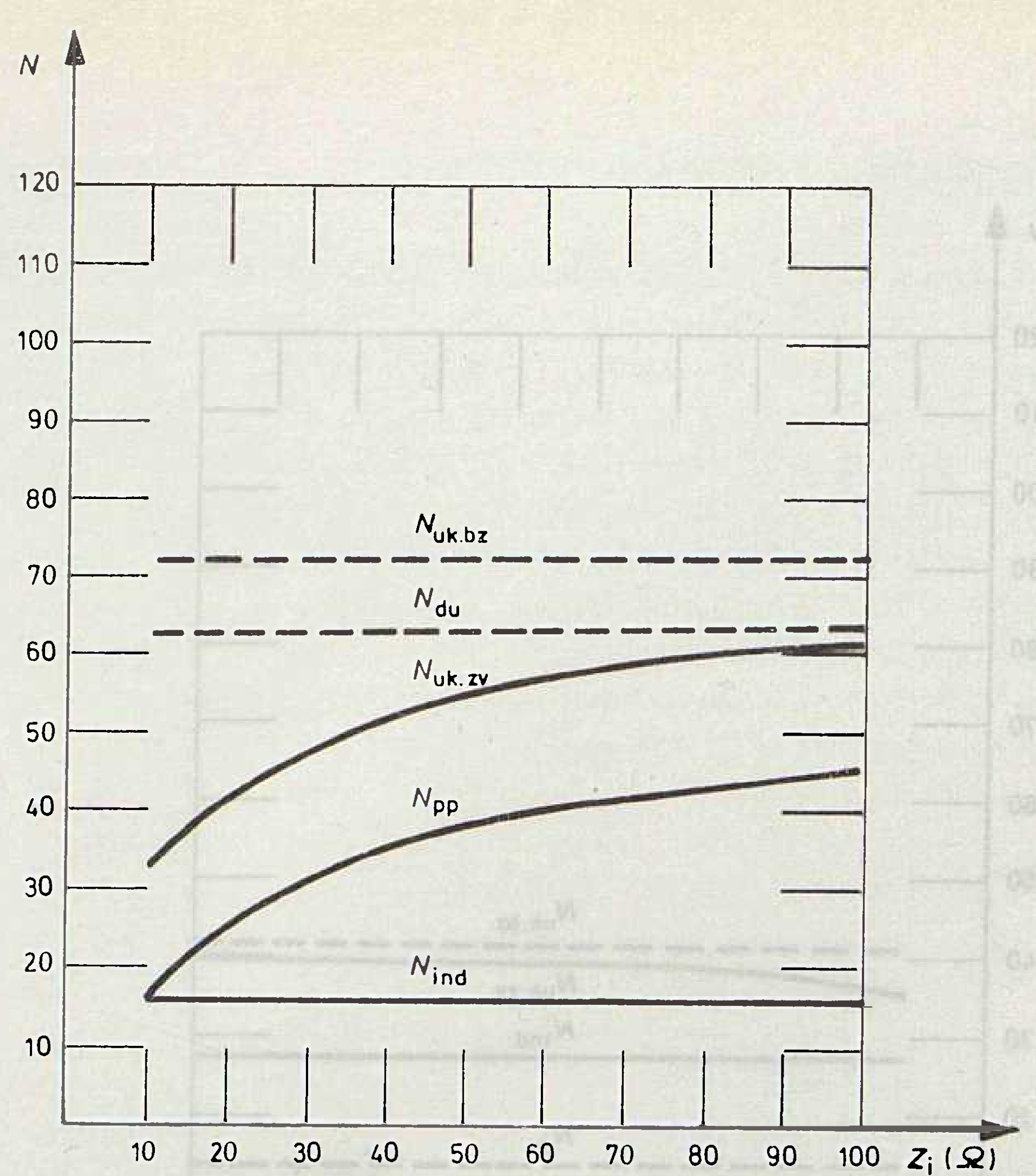
- $N_{uk.zv}$  — Ukupni broj preskoka na vodu sa zaštitnim vodičem (/100 km. god.)  
 $N_{uk.bz}$  — Ukupni broj preskoka na vodu bez zašt. vodiča (/100 km. god.)  
 $N_{ind}$  — Broj preskoka uslijed induciranih prenapona (/100 km. god.)  
 $N_{pp}$  — Broj preskoka uslijed povratnih preskoka (/100 km. god.)  
 $N_{du}$  — Broj preskoka uslijed direktnih udara (/km. go.)  
 $U_i = 340 \text{ kV}$   
 $T = 20 \text{ g.d./god}$

Slika 5. Broj preskoka 35 kV-tnog nadzemnog voda sa zaštitnim vodičem



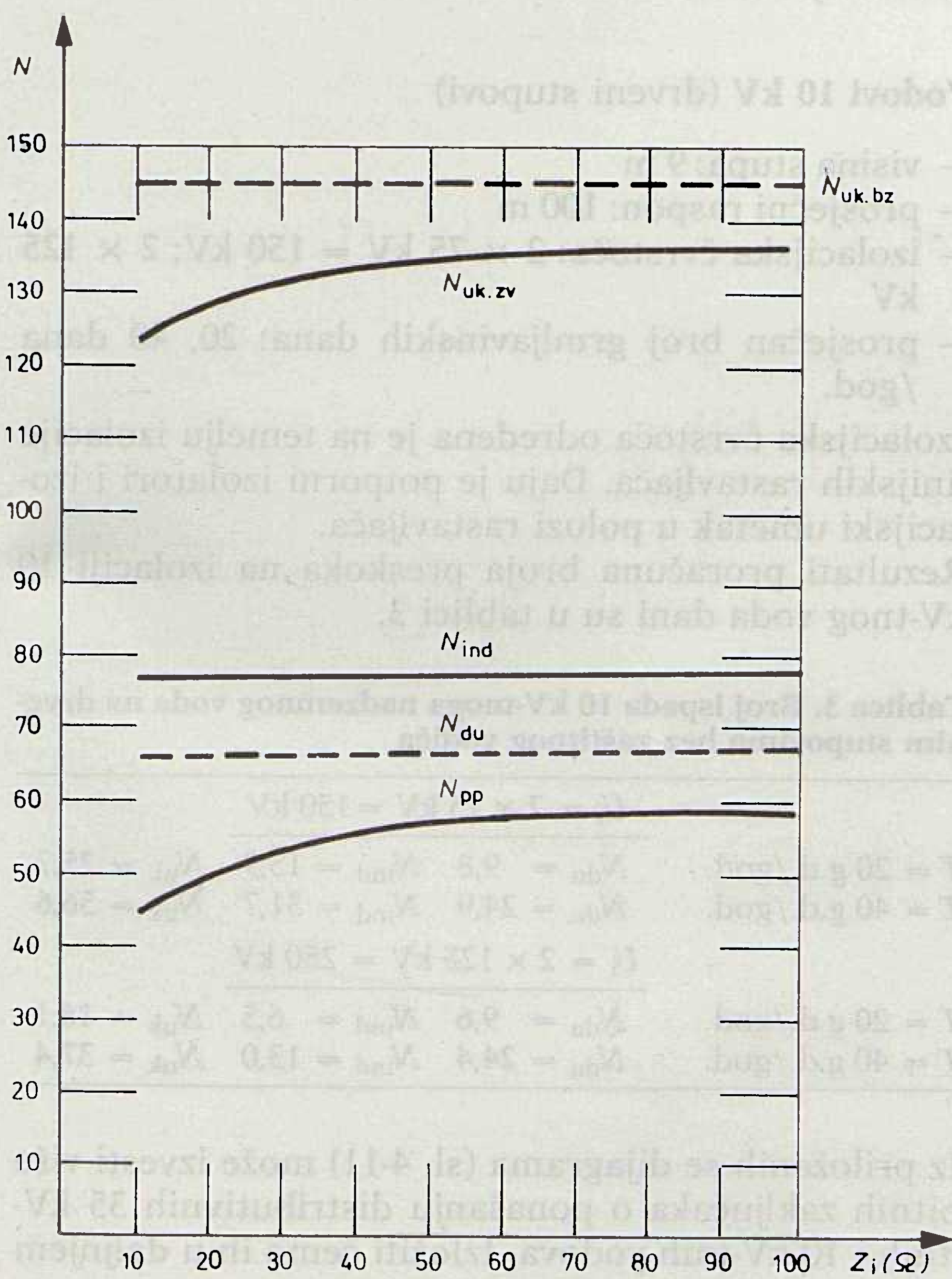
$N_{uk.zv}$  — Ukupni broj preskoka na vodu sa zaštitnim vodičem (/100 km. god.)  
 $N_{uk.bz}$  — Ukupni broj preskoka na vodu bez zašt. vodiča (/100 km. god.)  
 $N_{ind}$  — Broj preskoka uslijed induciranih prenapona (/100 km. god.)  
 $N_{pp}$  — Broj preskoka uslijed povratnih preskoka (/100 km. god.)  
 $N_{du}$  — Broj preskoka uslijed direktnih udara (/km. go.)  
 $U_i = 433 \text{ kV}$   
 $T = 20 \text{ g.d./god}$

Slika 6. Broj preskoka 35 kV-tnog nadzemnog voda sa zaštitnim vodičem



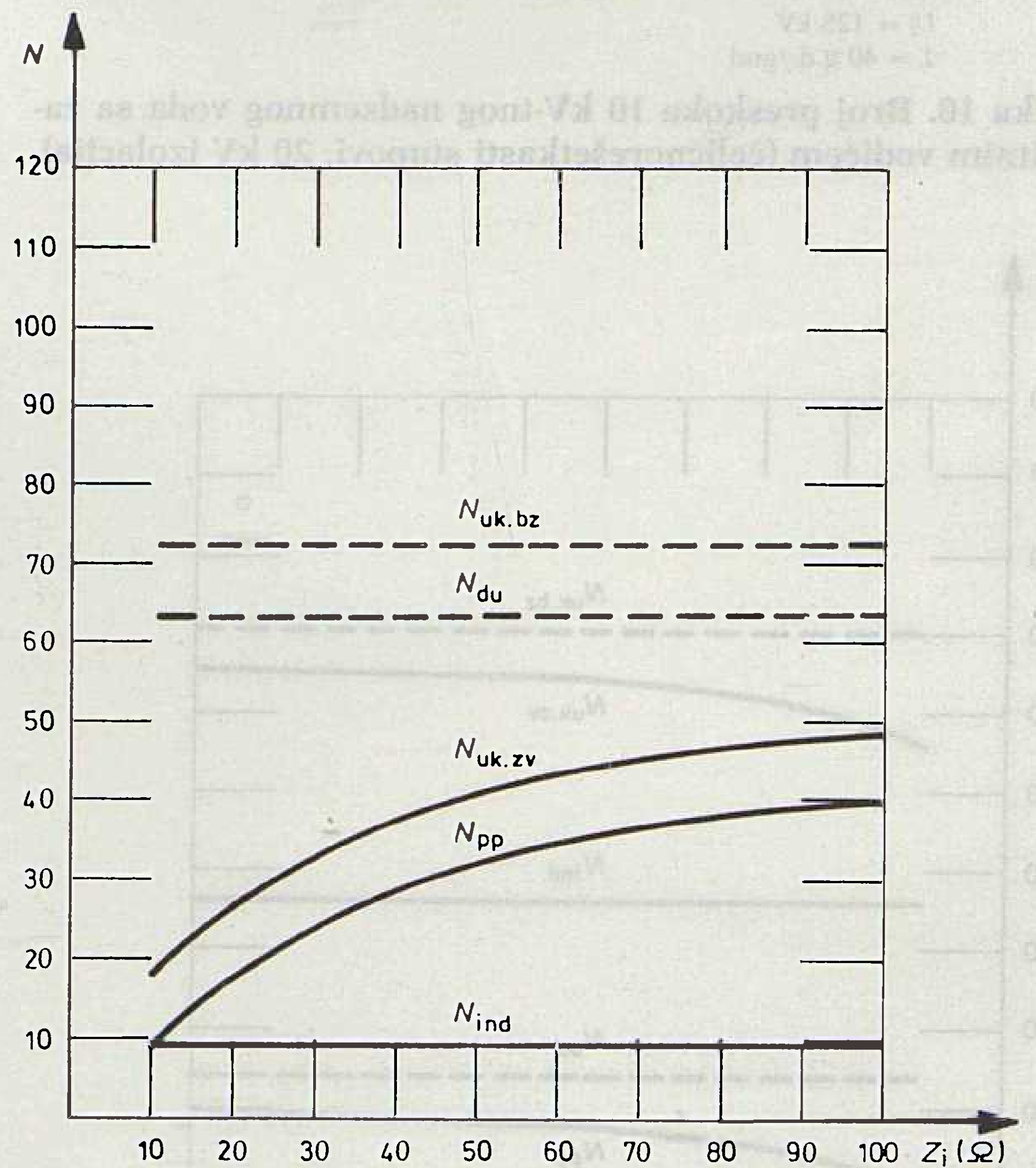
$N_{uk.zv}$  — Ukupni broj preskoka na vodu sa zaštitnim vodičem (/100 km. god.)  
 $N_{uk.bz}$  — Ukupni broj preskoka na vodu bez zašt. vodiča (/100 km. god.)  
 $N_{ind}$  — Broj preskoka uslijed induciranih prenapona (/100 km. god.)  
 $N_{pp}$  — Broj preskoka uslijed povratnih preskoka (/100 km. god.)  
 $N_{du}$  — Broj preskoka uslijed direktnih udara (/km. go.)  
 $U_i = 340 \text{ kV}$   
 $T = 40 \text{ g.d./god}$

Slika 8. Broj preskoka 35 kV-tnog nadzemnog voda sa zaštitnim vodičem



$N_{uk.zv}$  — Ukupni broj preskoka na vodu sa zaštitnim vodičem (/100 km. god.)  
 $N_{uk.bz}$  — Ukupni broj preskoka na vodu bez zašt. vodiča (/100 km. god.)  
 $N_{ind}$  — Broj preskoka uslijed induciranih prenapona (/100 km. god.)  
 $N_{du}$  — Broj preskoka uslijed direktnih udara (/km. god.)  
 $U_i = 150 \text{ kV}$   
 $T = 40 \text{ g.d./god}$

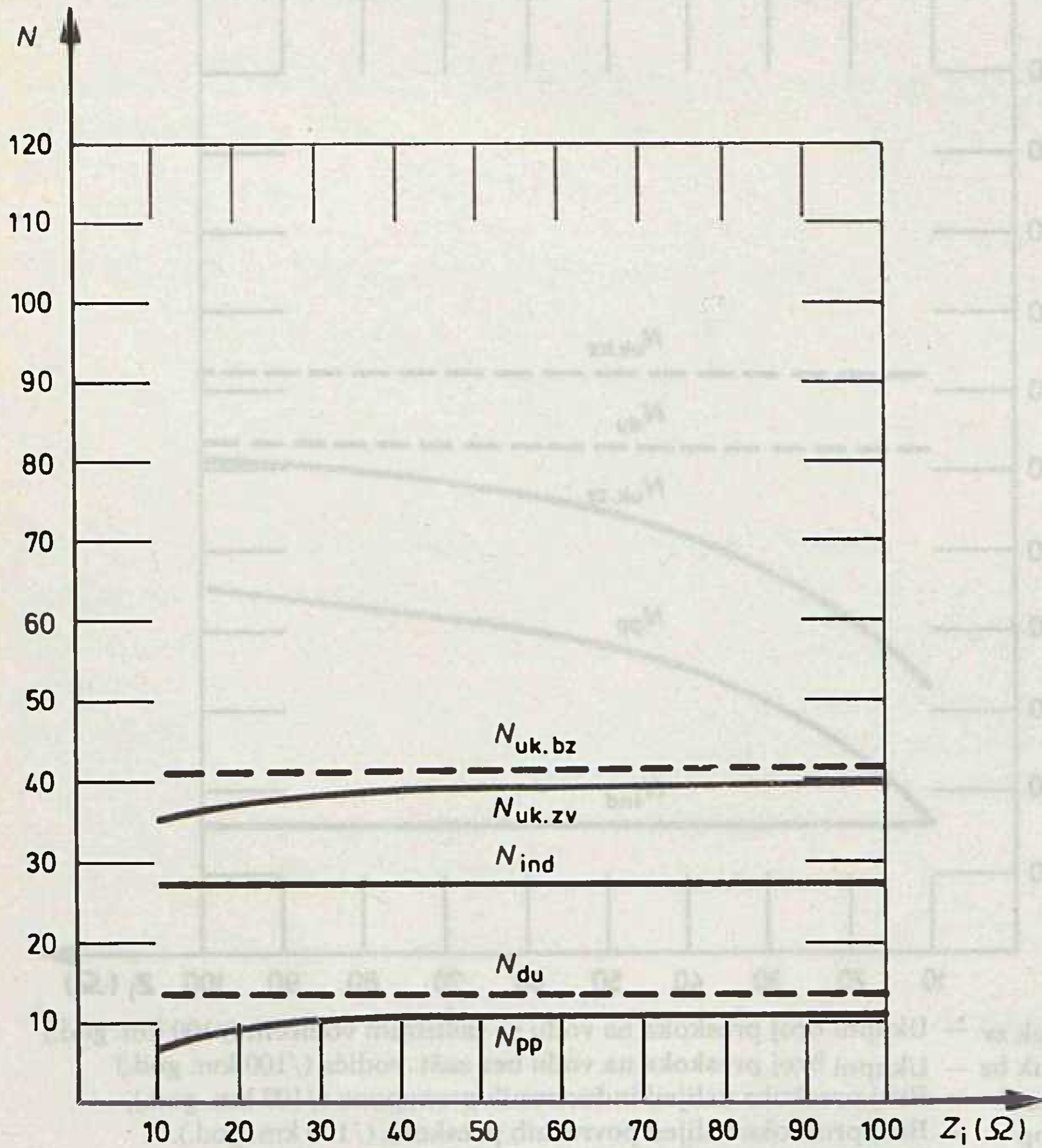
Slika 7. Broj preskoka 35 kV-tnog nadzemnog voda sa zaštitnim vodičem



$N_{uk.zv}$  — Ukupni broj preskoka na vodu sa zaštitnim vodičem (/100 km. god.)  
 $N_{uk.bz}$  — Ukupni broj preskoka na vodu bez zašt. vodiča (/100 km. god.)  
 $N_{ind}$  — Broj preskoka uslijed induciranih prenapona (/100 km. god.)  
 $N_{pp}$  — Broj preskoka uslijed povratnih preskoka (/100 km. god.)  
 $N_{du}$  — Broj preskoka uslijed direktnih udara (/km. go.)  
 $U_i = 433 \text{ kV}$   
 $T = 40 \text{ g.d./god}$

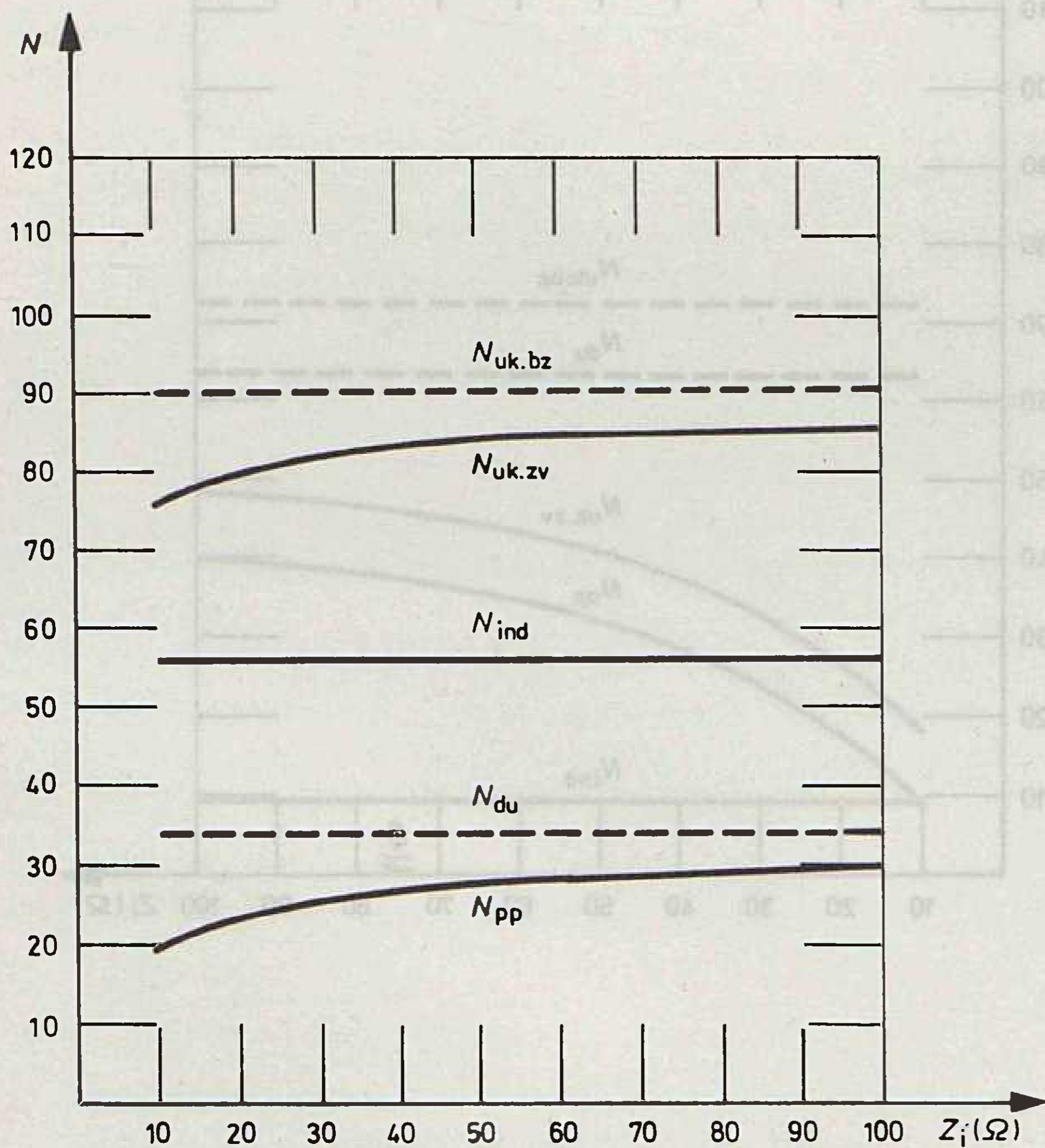
Slika 9. Broj preskoka 35 kV-tnog nadzemnog voda sa zaštitnim vodičem





$N_{uk.zv}$  — Ukupni broj preskoka na vodu sa zaštitnim vodičem (/100 km. god.)  
 $N_{uk.bz}$  — Ukupni broj preskoka na vodu bez zašt. vodiča (/100 km. god.)  
 $N_{ind}$  — Broj preskoka uslijed induciranih prenapona (/100 km. god.)  
 $N_{pp}$  — Broj preskoka uslijed povratnih preskoka (/100 km. god.)  
 $N_{du}$  — Broj preskoka uslijed direktnih udara (/km. go.)  
 $U_i = 125 \text{ kV}$   
 $T = 40 \text{ g.d./god}$

**Slika 10. Broj preskoka 10 kV-tnog nadzemnog voda sa zaštitnim vodičem (čeličnorešetkasti stupovi, 20 kV izolacija)**



$N_{uk.zv}$  — Ukupni broj preskoka na vodu sa zaštitnim vodičem (/100 km. god.)  
 $N_{uk.bz}$  — Ukupni broj preskoka na vodu bez zašt. vodiča (/100 km. god.)  
 $N_{ind}$  — Broj preskoka uslijed induciranih prenapona (/100 km. god.)  
 $N_{pp}$  — Broj preskoka uslijed povratnih preskoka (/100 km. god.)  
 $N_{du}$  — Broj preskoka uslijed direktnih udara (/km. go.)  
 $U_i = 125 \text{ kV}$   
 $T = 40 \text{ g.d./god}$

**Slika 11. Broj preskoka 10 kV-tnog nadzemnog voda sa zaštitnim vodičem (čeličnorešetkasti stupovi, 20 kV izolacija)**

Značenja pojedinih veličina sa slika 4—9. jesu:

- $N_{uk.bz}$  — ukupni broj ispada voda bez zaštitnog vodiča;
- $N_{uk.zv}$  — ukupni broj ispada voda sa zaštitnim vodičem;
- $N_{pp}$  — broj ispada voda sa zaštitnim vodičem zbog povratnog preskoka;
- $N_{ind}$  — broj ispada voda zbog induciranih prenapona;
- $N_{du}$  — broj ispada voda bez zaštitnog vodiča zbog direktnih udara groma.

### Vodovi 10 kV (čeličnorešetkasti ili betonski stupovi)

Takvi su vodovi najčešće opremljeni 20 kV-tnom izolacijom. Tipični podaci jesu:

- visina stupa: 12 m
- prosječni raspon: 100 m
- otpor uzemljivača 10 ... 100  $\Omega$
- izolacijska čvrstoća: 125 kV
- prosječan broj grmljavinskih dana: 20, 40 dana /god.

Rezultati proračuna broja preskoka na izolaciju 10(20) kV-tnih vodova (sa zaštitnim vodičem i bez njega) dani su na slikama 10—11. Značenje pojedinih veličina jednaka su onima sa slika 4—9.

### Vodovi 10 kV (drveni stupovi)

- visina stupa: 9 m
- prosječni raspon: 100 m
- izolacijska čvrstoća:  $2 \times 75 \text{ kV} = 150 \text{ kV}$ ;  $2 \times 125 \text{ kV}$
- prosječan broj grmljavinskih dana: 20, 40 dana /god.

Izolacijska čvrstoća određena je na temelju izolacije linijskih rastavljača. Daju je potporni izolatori i izolacijski umetak u poluzi rastavljača.

Rezultati proračuna broja preskoka na izolaciji 10 kV-tnog voda dani su u tablici 3.

**Tablica 3. Broj ispada 10 kV-tnoga nadzemnog voda na drvenim stupovima bez zaštitnog vodiča**

	$U_i = 2 \times 75 \text{ kV} = 150 \text{ kV}$		
$T = 20 \text{ g.d./god.}$	$N_{du} = 9,8$	$N_{ind} = 15,9$	$N_{uk} = 25,7$
$T = 40 \text{ g.d./god.}$	$N_{du} = 24,9$	$N_{ind} = 31,7$	$N_{uk} = 56,6$
	$U_i = 2 \times 125 \text{ kV} = 250 \text{ kV}$		
$T = 20 \text{ g.d./god.}$	$N_{du} = 9,6$	$N_{ind} = 6,5$	$N_{uk} = 16,1$
$T = 40 \text{ g.d./god.}$	$N_{du} = 24,4$	$N_{ind} = 13,0$	$N_{uk} = 37,4$

Iz priloženih se dijagrama (sl. 4-11) može izvesti više bitnih zaključaka o ponašanju distributivnih 35 kV-tnih i 10 kV-tnih vodova. Izložiti ćemo ih u daljnjem tekstu.

1. Povećavanjem izolacijske čvrstoće 35 kV-tnih vodova donekle se smanjuje broj preskoka na tim vodovima. To se naročito odnosi na broj preskoka na izolatorima zbog induciranih prenapona.
2. Na 35 kV-tnim vodovima sa zaštitnim vodičem očekivani broj povratnih preskoka ovisi o veličini

impulsne impedancije uzemljivača stupova. Taj je zaključak u skladu s očekivanjem. Međutim, smanjivanje impulsne impedancije uzemljivača stupova daje efekt samo u području manjih impedancija ( $Z_i < 40 \Omega$ ). U području većih impulsnih impedancija očekivani je broj povratnih preskoka praktički konstantan! Taj zaključak naročito vrijedi za niže izolacijske nivoe.

3. Postavljenjem zaštitnog vodiča na 35 kV-tne vodove reducira se očekivani broj preskoka u odnosu na isti vod bez zaštitnog vodiča. No, valja upozoriti da je ta redukcija bitna ponajprije za vodove s višom izolacijskom čvrstoćom te uz relativno niske impulsne impedancije uzemljivača stupova.
4. Očekivani broj preskoka na 35 kV-tnim vodovima zbog induciranih prenapona dominantan je na vodovima niže izolacijske čvrstoće. Na vodovima više izolacijske čvrstoće dominantan je broj povratnih preskoka.
5. S povećanjem kerauničkog nivoa područja bitno raste očekivani broj preskoka na izolatorima 35 kV-tnih vodova.
6. Na 10 kV-tnim vodovima na čeličnoretkastim ili betonskim stupovima (uz primjenjenu standardne izolacije od 125 kV) nema opravdanja za postavljanjem zaštitnog vodiča. Očekivano smanjenje broja preskoka u odnosu prema vodu bez zaštitnog vodiča vrlo je skromno.
7. Na 10 kV-tnim vodovima na drvenim stupovima može se smanjiti broj preskoka tako da se na »slabim« mjestima (linijski rastavljači) primijeni 20 kV-tna umjesto 10 kV-tne izolacije. Takvo pojačanje izolacije prije svega djeluje na smanjenje broja preskoka zbog induciranih prenapona. No, u slučaju primjene te mjere valja provesti koordinaciju izolacije, tj. povisiti izolacijski nivo pripadne TS 10/0,4 kV da transformator ne bi postao najslabije izolacijsko mjesto.

## 5. ZAKLJUČAK

U članku je ukratko izložen matematički model za analizu atmosferskih prenapona na nadzemnim distributivnim vodovima. S obzirom na nesigurnost ulaznih podataka koji opisuju struje groma, rezultati matematičkog modeliranja ponajprije mogu poslužiti za usporedbu utjecaja različitih ulaznih parametara na vjerojatnost nastanka preskoka na izolaciji.

Također je izložen pristup proračuna impulsnih impedancija uzemljivača i upozoreno na razlike između stacionarnih otpora i impulsnih impedancija.

U poglavlju 4. dani su rezultati proračuna očekivanog broja preskoka na distributivnim vodovima za različite uvjete. Osnovni zaključak važan za ovaj rad jest relativno slab utjecaj veličine impulsne impedancije na smanjivanje ukupnog broja preskoka na izolaciji nadzemnih vodova. To pogotovo vrijedi za vodove s nižom izolacijskom čvrstoćom. Međutim, i na vodovima s većim izolacijskim nivoom utjecaj

uzemljivača na broj preskoka nije osobito bitan na terenima višeg specifičnog otpora tla ( $\rho > 1000 \Omega\text{m}$ ). Naime, da bi uzemljivači reducirali broj preskoka, potrebno je da njihove impulsne impedancije budu što niže, svakako niže od  $40 \Omega$ . Na kraškim terenima to je praktički nemoguće postići, naročito uz umjerenе troškove. Zato smatramo da uzemljivače stupova treba veoma racionalno dimenzionirati, npr. u obliku jedne konture, uz minimalni iskop zemljišta. Predloženi pristup ima puno opravdanje u tehničkim propisima (L. 3), samo se dosada nije često primjenjivao u praksi. Racionalnim dimenzioniranjem uzemljivača postigle bi se velike uštede na terenima lošega specifičnog otpora tla. Uštede bi bile osobito velike na 10(20) kV-tnim nadzemnim vodovima na betonskim ili čeličnoretkastim stupovima. Uzemljivači stupova takvih vodova nemaju gotovo nikakva utjecaja na smanjivanje broja preskoka zbog atmosferskih prenapona. Osim toga, njihov postotni udio u cijeni 10(20) kV-tnog voda može biti veoma visok ako je riječ o kraškim terenima ili ako se oni predimenzioniraju (npr. s dugim dodatnim krakovima).

Očito je da poboljšanje prenaponske zaštite distributivnih nadzemnih vodova ne treba tražiti u neracionalnom dimenzioniranju uzemljivača nego u nečem drugom. To je prije svega opremanje izolatora zaštitnim iskrištima te upotreba sistema automatskoga ponovnog uklapanja (APU), kojim se efikasno uklanjaju posljedice većine preskoka.

## LITERATURA

- [1] S. ŽUTOBRADIĆ: »O vjerojatnosti nastanka povratnog preskoka na elektrodistributivnim vodovima«, »Energija« 2/1986.
- [2] Lj. MILANKOVIĆ: »Tehnika visokog napona«, ETF Beograd, 1981.
- [3] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova, Sl. list SFRJ, 51/1973.
- [4] J. GRANT: »A Simplified Method for Estimating Lighting Performance of Transmission Lines«, IEEE PAS, No. 4, 1985.
- [5] S. ŽUTOBRADIĆ: »Dimenzioniranje uzemljivača — impulsne karakteristike i program za proračun udarnog otpora, studija IE, Zagreb, 1985.
- [6] S. ŽUTOBRADIĆ: »Proračun impulsnih karakteristika složenih uzemljivača«, »Elektrotehnika«, 1-2/1986.

**ROLE OF COLUMN GROUNDINGS IN ATMOSPHERIC OVERVOLTAGE PROTECTION OF DISTRIBUTION NET**

In the article is presented a method for calculation of atmospheric overvoltages in overhead distribution lines. On the base of mathematical model it is calculated expected number of flashes on 35, 20, 10 kV isolators with a discussion of column groundings impacts.

**ROLLE DER MASTEN — ERDER BEZÜGLICH DES SCHUTZES DER DISTRIBUTIONSLEITUNGEN VOR ATMOSPHÄRISCHEN ÜBERSpanNUNGEN**

Hier spricht man über die Berechnungsmethode für atmosphärische Überspannungen an oberirdischen Distributionsleitungen. Aufgrund eines mathematischen Modells wurden Berechnungen der erwarteten Überspannungen bei der Isolation der Distributionsleitungen 35, 20 und 10 kV mit einem besonderen Rückblick auf den Einfluß der Masten — Erder durchgeführt.

**РОЛЬ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ ОПОР ПРИ ЗАЩИТЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ОТ АТМОСФЕРНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ**

Излагается метод расчета атмосферных перенапряжений на воздушных распределительных линиях. Основываясь на математической модели выполнены расчеты ожидаемого числа пробоев изоляции распределительных сетей 35, 20 и 10 кВ с особым вниманием на влияние заземлителей опор.

Naslov pisaca:

**Mr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.**

**Mr. Milan Puharić, dipl. inž.**

**Institut za elektroprivredu,**

**41000 Zagreb,**

**Proleterskih brigada 37,**

**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:

1988-02-25



**elektrolux-rijeka**

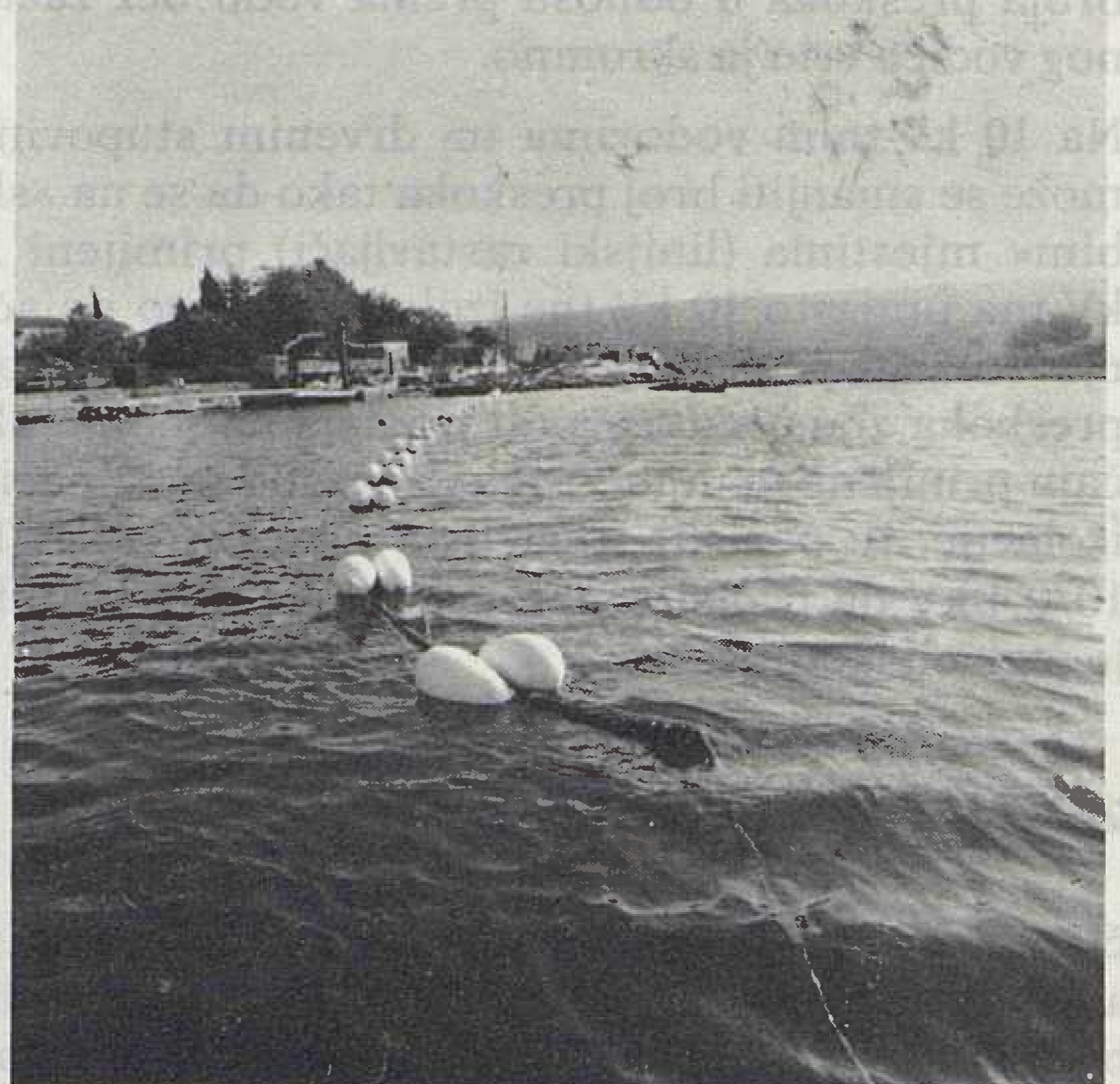
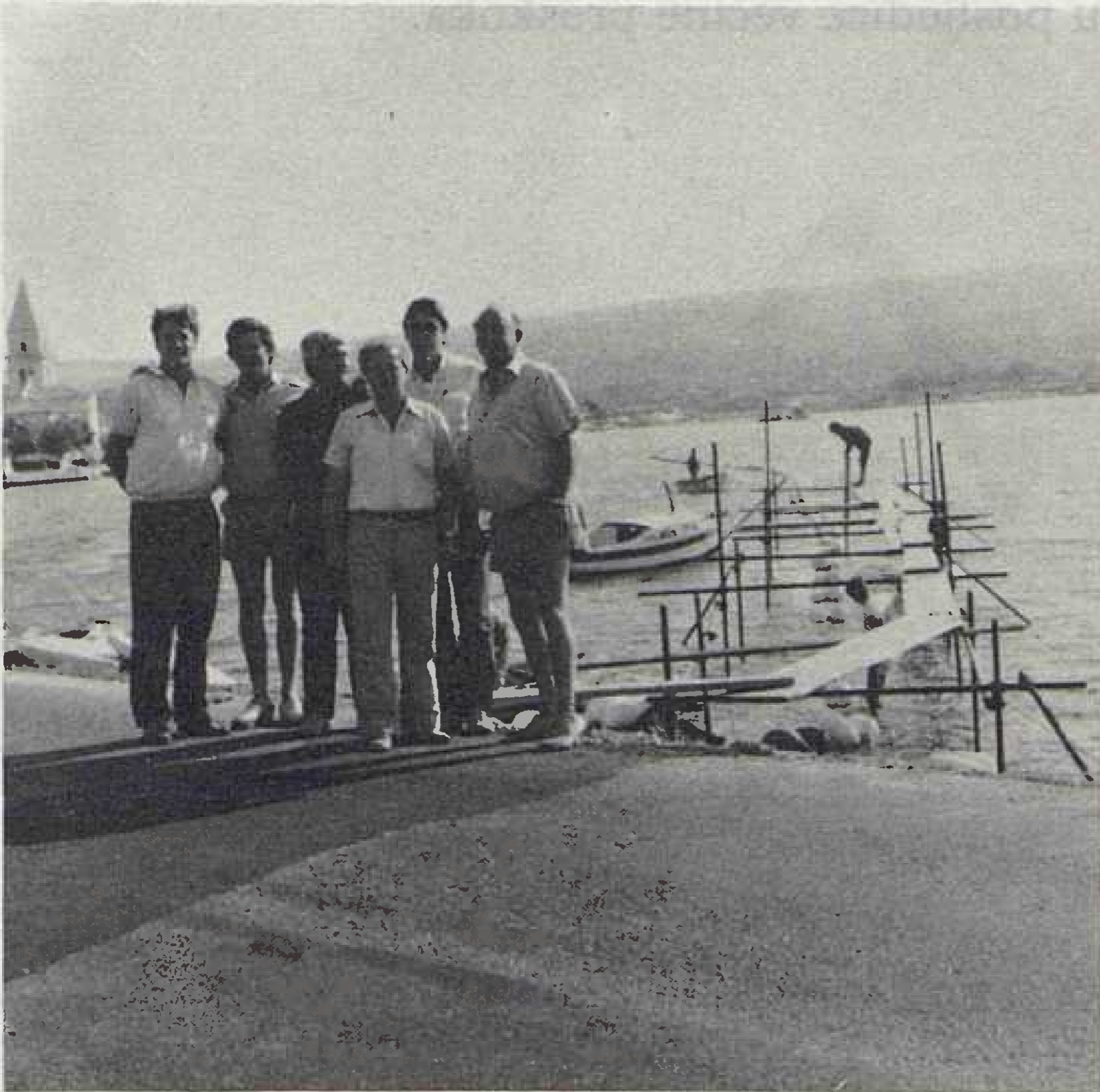
**ELEKTROTEHNIČKA RADNA ORGANIZACIJA**

RIJEKA — ULICA ĐURE STRUGARA b b

TELEGRAM: ELEKTROLUX — TELEFON: 516-333

TELEX: 24374 YU ELUX

SVOJE POSLOVNE PARTNERE OBAVJEŠTAVAMO DA SMO SA »ELEKTROPRI-VREDOM« RIJEKA SKLOPILI UGOVOR NA MONTAŽI I POLAGANJU PODMORSKOG KABELA 110 kV NA LOKACIJI OSOR, POVEZIVANJE OTOKA CRES—LOŠINJ.



U ZAJEDNIČKOM PAKET-ARANŽMANU SUDJELUJU

— **I. K. S.** — SVETUZAREVO KAO PROIZVOĐAČ KABELA I KABELSKOG Pribora

— **ELEKTROPROMET** — ZAGREB KAO VELETRGOVINA — ISPORUČILAC

— **ELEKTROLUX RIJEKA** KAO IZVOĐAČ RADOVA NA MONTAŽI I POLAGANJU KABELA

**RO ELEKTROLUX**

# IZDACI ZA ENERGIJU U OSOBNOJ POTROŠNJI STANOVNIŠTVA

Mr. Luka Staničić, Zagreb

UDK 64.032  
STRUČNI RAD

Na osnovi statističkih podataka razmotrena je struktura izdataka stanovništva za osobnu potrošnju u Jugoslaviji i Hrvatskoj u razdoblju 1965-1984. godine, s posebnim osvrtom na izdatke za energiju.

**Ključne riječi:** stanovništvo, energije, izdaci.

## 1. OPSEG OSOBNE POTROŠNJE U RASPODJELI DRUŠTVENOG PROIZVODA

Krajnji cilj privredne aktivnosti društva jest nastojanje da se ljudske potrebe što bolje zadovolje. Razumljivo je da stupanj i način podmirivanja tih potreba ovisi o stupnju razvoja društva. Kako su se mijenjala materijalne mogućnosti društva, a time i njegov ukupni razvoj, istodobno su se mijenjale i kvantitativne i kvalitativne potrebe.

Opseg ukupne potrošnje u osnovi je određen finalnom proizvodnjom odnosno društvenim proizvodom, a izvoz, uvoz i materijalne rezerve, kao korektivi, utječu na to da ukupna potrošnja bude manja ili veća od finalne proizvodnje.

U procesu društvene reprodukcije društveni se proizvod, kao vrijednosni rezultat ukupne proizvodne djelatnosti društva u određenom razdoblju, iskorištava za osobnu potrošnju, opću i zajedničku potrošnju te za investicijsku potrošnju.

Odnos između pojedinih kategorija potrošnje u Jugoslaviji pokazuje sljedeća tablica.

denciju da se osobna potrošnja sporije povećava u odnosu prema društvenom proizvodu. Početkom 70-tih godina osjetno je povećan udio osobne potrošnje u društvenom proizvodu. Taj porast, međutim, nije bio ravnomjeran ni dugotrajan, pa je već početkom 80-tih godina došlo do smanjenja relativnog nivoa osobne potrošnje u raspodjeli finalne proizvodnje društva. Posljedica takve tendencije je pad udjela osobne potrošnje u 1984. godini na nivo niži od onog iz 1965. godine.

Polazeći od spoznaje da je u periodu stvaranja materijalnih pretpostavki za dinamičan privredni razvoj bilo nužno, s obzirom na prihvaćenu politiku visokih stopa investicija, osobnu potrošnju održavati na niskom nivou, sadašnje tendencije u raspodjeli finalne proizvodnje društva (smanjenje udjela osobne potrošnje, relativno niske stope investicija u osnovne fondove, uz istodobni bitni porast investicija u obrtne fondove) ograničavaju rast proizvodnje, a time i opći društveni razvoj. Međutim, bez odgovarajućih istraživanja nije moguće reći je li relativni nivo osobne potrošnje u nas, gledajući strukturu raspodjele

Struktura raspodjele društvenog proizvoda u razdoblju od 1965. do 1984. godine

Godina	Osobna potrošnja	Opća i zajednička potrošnja	Bruto investicije		Saldo izvoza i uvoza roba i usluga	Razlika
			u osnovne fondove	u obrtne fondove		
1965.	50,5	7,6	27,4		-0,7	
1970.	54,9	9,3	32,9	8,7	-6,2	0,4
1975.	54,7	9,9	32,4	8,9	-8,7	2,8
1980.	52,7	9,2	35,1	11,9	-9,9	1,0
1981.	51,8	9,0	31,0	13,5	-5,6	0,3
1982.	51,6	8,9	29,2	13,7	-4,9	2,5
1983.	51,4	8,5	25,3	15,5	-2,4	1,7
1984.	50,2	8,3	23,1	19,5	-2,5	1,4

Izvor podataka: Bilanca proizvodnih djelatnosti, Statistički godišnjaci SFRJ 1975, 1980. i 1986.

Iz te tablice ponajprije proizlazi konstatacija da je u strukturi raspodjele finalne proizvodnje društva najzastupljenija osobna potrošnja. Drugo, društveno-ekonomska reforma iz 1965. godine zaustavila je ten-

denciju društvenog proizvoda u cjelini, optimalan odnosno koliko odstupa od optimuma u određenom vremenu i nivou društveno-ekonomskog razvoja. Stoga donosimo samo usporedni pregled udjela (u%) osobne po-

trošnje u raspodjeli finalne proizvodnje u 1978. godini u nekim evropskim zemljama: Austrija 55, Francuska 61, Zapadna Njemačka 55, Grčka 65, Nizozemska 59, Španjolska 68, Švedska 53, ČSSR 58, DDR 67, Mađarska 57, Poljska 59, Jugoslavija 54<sup>1</sup>.

Relativni nivo osobne potrošnje u raspodjeli finalne proizvodnje društva prije svega ovisi o strukturi društvenog proizvoda, stupnju privredne razvijenosti, ciljevima i zadacima ekonomske politike, relativnom nivou cijena proizvoda i usluga osobne potrošnje.

## 2. OPSEG OSOBNE POTROŠNJE U STRUKTURI IZDATAKA STANOVNIŠTVA

Osobna potrošnja označava dio ukupne potrošnje materijalnih dobara i proizvodnih usluga kojim stanovništvo individualno zadovoljava svoje potrebe. Ona obuhvaća potrošnju vlastitih proizvoda individualnih proizvođača i potrošnju koja se ostvaruje razmjenom.

Osobna potrošnja kao najveći dio ukupne potrošnje ima određenu funkciju u cjelokupnom procesu druš-

tvene reprodukcije. Tako visok ponder osobne potrošnje u raspodjeli finalne proizvodnje društva bitno utječe na ukupni tok proizvodnje, neposredno na opseg i strukturu proizvodnje materijalnih dobara i usluga kojima se zadovoljavaju individualne potrebe stanovništva te, posredno, na opseg i strukturu proizvodnje ostalih sektora privrede. Na taj način, potrošnja određuje uvjete i cilj proizvodnje. Osim toga, proizvodnja opskrbljuje stanovništvo proizvodima i uslugama raznovrsne namjene, određuje način zadovoljavanja individualnih potreba i stvara nove upotrebne vrijednosti.

Potražnja za predmetima osobne potrošnje odnosno proizvodima i uslugama raznovrsne namjene ovisi o brojnim činiocima. Tako se među faktore s pretežno ekonomskim sadržajem prije svega ubrajaju kretanja dohotka stanovništva i cijena odgovarajućih grupa proizvoda i usluga.

Najvećim dijelom svojih primanja stanovnici se koriste za osobnu potrošnju, a ostali je dio namijenjen štednji, investicijama, izdacima za neproizvodne usluge te plaćanju poreza, doprinosa i taksa. Određene tendencije u mijenjanju strukture izdataka stanovništva mogu se uočiti u sljedećem pregledu.

Struktura izdataka stanovništva u Jugoslaviji u razdoblju od 1970. do 1984. godine

Godina	Plaćeni porezi, doprinosi, takse	Sredstva utrošena za osobnu potrošnju	Izdaci za osobne i druge neproizv. usluge	Sredstva utrošena za investicije	Štednja	Ukupna primanja
1970.	2,0	79,4	5,7		12,9	100,0
1975.	1,9	80,2	5,7	7,0	5,2	100,0
1980.	2,4	77,8	5,4	6,8	7,6	100,0
1981.	2,4	78,2	4,9	6,9	7,6	100,0
1982.	2,5	75,6	4,6	6,8	10,5	100,0
1983.	2,2	70,5	4,2	5,6	17,5	100,0
1984.	2,3	73,1	4,2	5,3	15,1	100,0

Izvor podataka: Bilanca primanja i izdavanja stanovništva, Statistički godišnjaci SFRJ 1975, 1980, 1986.

Apsolutno najvažniji izvor sredstava za osobnu potrošnju u ukupnim primanjima stanovništva, jesu osobni dohoci i ostala osobna primanja u proizvodnim djelatnostima. Strukturu sredstava kojima se stanovništvo koristi za individualne oblike zadovoljavanja svojih ukupnih potreba čine još osobni dohoci i druga osobna primanja u neproizvodnim djelatnostima, primanja na osnovi socijalnog osiguranja i socijalne zaštite, primanja iz inozemstva, kamate i primanja zaposlenih iz sredstva zajedničke potrošnje u organizacijama udruženog rada.

Kada je riječ o primanjima i izdacima stanovništva u Jugoslaviji, karakteristika analiziranog razdoblja jest da su se početkom 80-tih godina javile strukturne promjene u iskorištenju sredstva za individualne oblike zadovoljavanja ukupnih potreba stanovništva. Naime, postoji trend smanjivanja sredstva utrošenih za osobnu potrošnju u ukupnim primanjima stanovništva (sl. 1), što je prije svega rezultat porasta sredstava namijenjenih štednji (1984. godine 15% ukup-

nih primanja stanovništva bilo je namijenjeno štednji, čiji je relativni nivo bio čak triputa veći nego 1975. godine).

## 3. STRUKTURA OSOBNE POTROŠNJE

Materijalna dobra i proizvodne usluge kojima stanovnici individualno zadovoljavaju svoje potrebe raščlanjena su u nekoliko grupa potrošnih dobara i usluga različitih namjena, koje u osobnoj potrošnji nemaju isti ponder, smjer ni intenzitet promjena. Zbog utjecaja velikog broja faktora kao što su kretanje ukupnih prihoda stanovništva, promjene relativnog nivoa cijena proizvoda i usluga osobne potrošnje, mijenjanje socijalno-ekonomske strukture stanovništva, diferencijacija dohotka u sklopu potrošačkih jedinica (razumljivo, sve ovisno o strukturi društvenog proizvoda i stupnju privredne razvijenosti) mijenjala se i struktura osobne potrošnje.

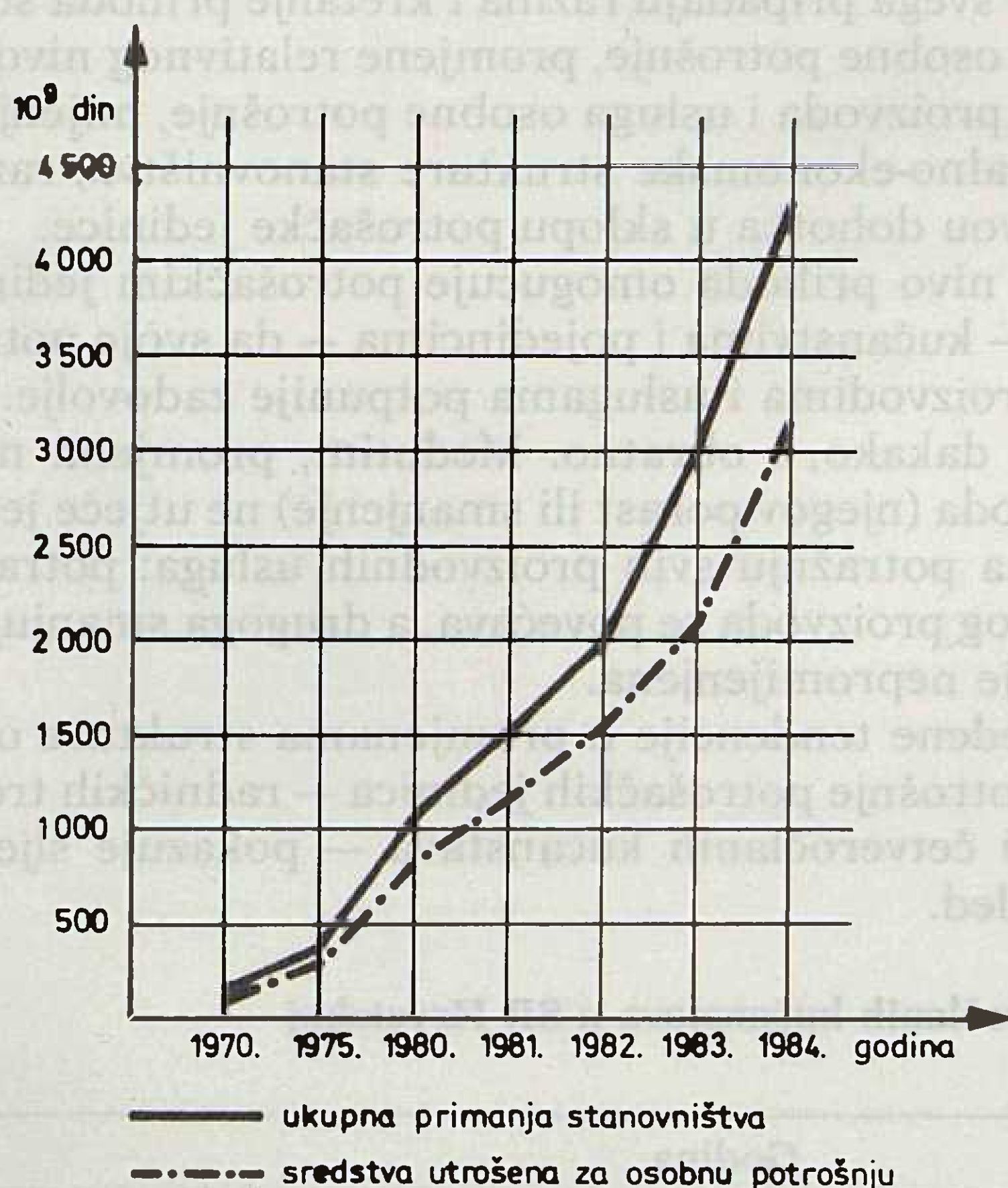
Promjene u strukturi osobne potrošnje u Jugoslaviji pokazuje sljedeća tablica.

<sup>1</sup> Statistical Yearbook 1979/80, st. 648-663, United Nations, New York, 1981.

## Struktura izdataka stanovništva za osobnu potrošnju (u %)

	Godina							
	1965.	1970.	1975.	1980.	1981.	1982.	1983.	1984.
Sredstva utrošena za osobnu potrošnju	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1. Prehrana	43,2	39,6	38,5	38,3	39,1	39,6	39,9	39,0
2. Piće i duhan	9,4	10,8	11,7	10,2	10,5	10,6	10,5	10,1
3. Odjeća i obuća	15,4	13,8	11,8	10,9	10,3	10,5	10,5	10,7
4. Namještaj i oprema za kućanstvo te održavanje stana	9,3	11,1	11,6	11,7	11,4	11,4	11,1	11,1
5. Grijanje i rasvjeta	4,1	4,5	5,1	5,2	5,5	5,4	5,3	5,5
5.1. grijanje	2,4	2,7	2,9	2,8	2,9	2,7	2,8	2,6
5.2. električna energija	1,4	1,5	1,9	2,2	2,4	2,5	2,3	2,7
5.3. ostalo	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
6. Higijena i zdravlje	3,5	3,9	4,2	3,7	3,6	3,4	3,4	3,4
7. Obrazovanje, kultura i razonoda	3,3	3,9	3,9	4,1	3,9	3,9	3,9	3,9
8. Prometna sredstva i usluge	6,3	9,2	10,9	12,2	12,1	11,7	11,6	12,5
9. Ostali troškovi	5,5	3,2	3,3	3,7	3,6	3,5	3,7	3,8

Izvor podataka: Izdaci stanovništva za osobnu potrošnju po namjeni, Statistički godišnjak SFRJ 1986, str. 176.



Slika 1. Kretanje ukupnih primanja stanovnika Jugoslavije i sredstava utrošenih za njihovu osobnu potrošnju

Izvor podataka: Bilanca primanja i izdavanja stanovništva, Statistički godišnjaci SFRJ 1975, 1980, 1986.

Izdaci za prehranu, unatoč njihovom relativnom smanjenju krajem 60-tih godina i ravnomjernosti nakon toga, i dalje zadržavaju najviši nivo izdataka među proizvodima i uslugama individualne potrošnje. Ako smo za izdatke za prehranu, kojima se zadovoljavaju elementarne biološke potrebe stanovništva, rekli da su relativno visoki (ne ulazimo u analizu kvalitete prehrambenih proizvoda i njihovih cijena), onda su izdaci za prometna sredstva (privatna vozila) i usluge najdinamičnija stavka u strukturi osobne potrošnje. Naime, relativni nivo tih izdataka u ukupnim izdatacima stanovništva povećao se u razdoblju od 1965. do 1984. godine čak za dvaputa, što pokazuje da već od 1975. godine sve veći dio dohotka stanovništvo izdava za zadovoljavanje prometnih potreba. Međutim,

drugo je pitanje je li to primjerno ekonomskoj snazi odnosno dohotku pojedinca i društva u cjelini.

Nakon energetske krize 1973. godine moglo se očekivati da će izdaci za energiju dinamičnije rasti u strukturi osobne potrošnje stanovništva Jugoslavije. Međutim, to se u tom promatranom razdoblju nije ostvarilo. Naime, relativni nivo izdataka za grijanje i rasvjetu u strukturi osobne potrošnje porastao je sa 4,1% 1965. godine na samo 5,5% 1984. godine.

Ostaje pitanje je li postojeća struktura osobne potrošnje primjerena stupnju društveno-ekonomskog razvoja Jugoslavije. Na to je pitanje nemoguće odgovoriti bez određenih istraživanja. No međutim, očito je da u strukturi postoje veće deformacije. Primjera radi, izdaci za alkoholna pića u promatranom su razdoblju u strukturi osobne potrošnje stanovništva Jugoslavije imali veći ponder od npr. izdataka za grijanje i rasvjetu.

#### 4. OSOBNA POTROŠNJA I IZDACI ZA ENERGIJU S ASPEKTA POTROŠAČKIH JEDINICA — KUĆANSTAVA

Najvažniji subjekti osobne potrošnje — potrošačke jedinice — jesu kućanstva kao svojevrsan oblik kolektivne potrošnje. Apsolutno najveći dio svojih primanja potrošačke jedinice daju za osobnu potrošnju. Smjer i intenzitet promjena u prihodima i izdacima za proizvode i usluge različitih namjena potrošačkih jedinica — radničkih tročlanih i četveročlanih kućanstava u Hrvatskoj pokazuje tablica na sljedećoj stranici.

Prihodi promatranih potrošačkih jedinica imali su relativno ravnomjeran nominalni rast i po petogodištima, i po godinama, osim u 1984. godine, kada je znatnije nominalno porastao prihod u odnosu prema 1983. godini. Premda apsolutno najveći dio prihoda otpada na osobnu potrošnju stanovnika, među subjektima osobne potrošnje postoji razlika u razini i intenzitetu sredstva utrošenih za zadovoljavanje individualnih potreba potrošačkih jedinica. Udio osobne potrošnje u prihodu radničkih tročlanih i četveročla-

**Prihod i osobna potrošnja radničkih tročlanih i četveročlanih kućanstava u SR Hrvatskoj**  
(godišnji prosjek za jednog člana kućanstva u dinarima)

	Godina						
	1970.	1975.	1980.	1981.	1982.	1983.	1984.
Prihod	6950	18929	45360	57772	77014	94544	166211
1. Osobna potrošnja	5791	17129	38685	50376	70453	88393	129519
1.1. prehrana	2376	6864	15312	21602	30416	39699	54525
1.2. piće i duhan	348	1189	2270	3047	4561	6347	10218
1.3. odjeća i obuća	766	1886	4429	4888	6800	7804	14361
1.4. namještaj i oprema za kućanstvo te održavanje stana	631	1673	3675	4335	5722	7477	9876
1.5. grijanje i rasvjeta	266	833	2328	3074	4613	5667	10355
1.6. higijena i zdravlje	223	775	1670	1967	2489	3042	5146
1.7. obrazovanje, kultura i razonoda	393	1138	2517	2928	4371	5159	5751
1.8. prometna sredstva i usluge	490	1852	4173	5743	7675	7957	11407
1.9. ostali troškovi	298	919	2311	2792	3806	5241	7880

Izvor: Statistički godišnjaci SR Hrvatske 1978, str. 220; 1985, str. 252.

nih kućanstava u Hrvatskoj (godišnji prosjek za jednog člana kućanstva) bio je ovakav:

Godina	Udio osobne potrošnje u prihodu	Broj anketiranih kućanstava
1970.	83,3	193
1975.	90,5	233
1980.	85,3	238
1981.	87,2	227
1982.	91,5	221
1983.	93,5	224
1984.	77,9	226

Izvor: Statistički godišnjaci SR Hrvatske 1978, str. 220; 1985, str. 252.

Na promjenu strukture osobne potrošnje potrošačkih jedinica utječu mnogobrojni faktori, među koje

prije svega pripadaju razina i kretanje prihoda subjekata osobne potrošnje, promjene relativnog nivoa cijena proizvoda i usluga osobne potrošnje, mijenjanje socijalno-ekonomske strukture stanovništva, razlike u nivou dohotka u sklopu potrošačke jedinice.

Veći nivo prihoda omogućuje potrošačkim jedinicama — kućanstvima i pojedincima — da svoje potrebe za proizvodima i uslugama potpunije zadovolje. Vrijedi, dakako, i obratno. Međutim, promjena nivoa prihoda (njegov porast ili smanjenje) ne utječe jednako na potražnju svih proizvodnih usluga: potražnja jednog proizvoda se povećava, a druga smanjuje ili ostaje nepromijenjena.

Određene tendencije u promjenama strukture osobne potrošnje potrošačkih jedinica — radničkih tročlanih i četveročlanih kućanstava — pokazuje sljedeći pregled.

**Struktura izdataka za osobnu potrošnju radničkih tročlanih i četveročlanih kućanstava u SR Hrvatskoj**  
(godišnji prosjek za jednog člana kućanstva u postocima)

	Godina						
	1970.	1975.	1980.	1981.	1982.	1983.	1984.
Sredstva utrošena za osobnu potrošnju	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1.1. prehrana	41,0	40,1	39,6	42,9	43,2	44,9	42,1
1.2. piće i duhan	6,8	6,9	5,9	6,0	6,5	7,2	7,9
1.3. odjeća i obuća	13,2	11,0	11,4	9,7	9,6	8,8	11,1
1.4. namještaj i oprema za kućanstvo te održavanje stana	10,9	9,8	9,5	8,6	8,2	8,5	7,6
1.5. grijanje i rasvjeta	4,6	4,9	6,0	6,1	6,5	6,4	8,8
1.6. higijena i zdravlje	3,9	4,5	4,3	3,9	3,5	3,5	4,8
1.7. obrazovanje, kultura i razonoda	6,8	6,6	6,5	5,8	6,2	5,8	4,4
1.8. prometna sredstva i usluge	8,5	10,8	10,8	11,4	10,9	9,0	8,8
1.9. ostali troškovi	5,1	5,4	6,0	5,6	5,4	5,9	6,1

Izvor: Statistički godišnjaci SR Hrvatske 1978, str. 220, 1985, str. 252.

Niske i disparitetne cijene primarnih i transformiranih oblika energije u nas do početka 80-tih godina nisu bitno utjecale na promjenu strukture osobne potrošnje, tj. na porast izdvajanja za energiju iz dohotka promatrane potrošačke jedinice za istu količinu potrošene energije, uz isti ili niži novo izdvajanja iz dohotka za ostale proizvode i usluge osobne potrošnje. Naime, porast relativnog nivoa izdataka za energiju za samo 1/3 u ukupno utrošenim sredstvima za

osobnu potrošnju radničkih tročlanih i četveročlanih kućanstava u Hrvatskoj u razdoblju od 1970. do 1981. godine uglavnom je bio rezultat rasta potrošnje energije.

Na povećanje potrošnje energije u potrošačkim jedinicama utjecalo je, osim faktora izrazito ekonomskog sadržaja (razina i kretanje prihoda potrošačkih jedinica i promjene relativnog nivoa cijena proizvoda i usluga osobne potrošnje), i povećanje broja sta-

novnika i promjene njihove socijalno-ekonomske strukture. Naime, dok se broj stanovnika npr. u Hrvatskoj od 1965. do 1984. godine povećao za 8,4%, potrošnja električne energije u kućanstvima porasla je čak 4,6 puta<sup>1</sup>.

Brojnost stanovništva manje je bitan faktor, ali je promjena socijalno-ekonomske strukture stanovništva činilac o kojemu znatnije ovisi veličina potrošnje energije u kućanstvima. Dinamičan privredni razvoj Jugoslavije promjenio je strukturu stanovništva. Naime, apsolutno i relativno se smanjio udio stanovništva zaposlenog u primarnim djelatnostima (poljoprivredi, ribarstvu i šumarstvu), a povećao se udio zaposlenih u sekundarnim (industriji i rudarstvu te proizvodnom obrtništvu) i tercijarnim djelatnostima (prometu, trgovini i ugostiteljstvu, uslužnim organizacijama, upravi, bankarstvu). Samim time proces koncentracije stanovništva u gradovima i utjecaj gradskog načina života na seoska područja, uz intenzivnu elektrifikaciju kućanstava, rezultirali su masovnom upotrebom električnih kućanskih aparata,

pa se kretanje potrošnje energije stanovništva sve više shvaća kao kvalitativni i kvantitativni faktor.

Povećanje udjela izdataka za grijanje i rasvjetu u ukupnim sredstvima utrošenim za osobnu potrošnju sa 6,4% (1983. god.) na 8% (1984. god.), dakle za 1/4, dokazuje da je počelo razdoblje visokih i čestih promjena cijena energenata. To će od subjekata osobne potrošnje zahtijevati da se sve veći dio dohotka troši za zadovoljavanje energijskih potreba.

Razumljivo je da postoje razlike u udjelu troškova pojedine potrošačke jedinice — kućanstava za potrošenu energiju. Usto, ti se izdaci ne razlikuju samo između potrošačkih jedinica (dvočlano, tročlano, četveročlano kućanstvo), već nisu jednaki ni u istoj potrošačkoj jedinici, što upozorava na različitost značenja koje imaju izdaci za energiju u prihodu subjekta osobne potrošnje.

Razlike u udjelu troškova za grijanje i rasvjetu u odnosu prema visini prosječnih mjesečnih prihoda četveročlanih radničkih kućanstava pokazuje sljedeći pregled.

#### Prosječni mjesečni prihodi i izdaci za grijanje i rasvjetu četveročlanih radničkih kućanstava u Jugoslaviji 1975. i 1983. god.

	Prihodi		Rashodi		Izdaci za energiju		Udio izdataka za energiju u prihodu (%)	
	1975.	1983.	1975.	1983.	1975.	1983.	1975. g.	1983. g.
1. četveročlana kućanstva s najnižim prosječnim mjesečnim prihodima	2190	9794	1981	9808	147	681	6,71	6,95
2. četveročlana kućanstva s najvišim prosječnim mjesečnim prihodima	9946	54439	8349	45136	378	2540	3,80	4,66
3. prosjek promatrane potrošačke jedinice	4995	25974	4383	23197	245	1574	4,98	6,06

Izvor: Anketa o porodičnim budžetima radničkih domaćinstava u 1975. i 1983. godini, Statistički bilteni 965. i 1441. Saveznog zavoda za statistiku

Iako izdaci za grijanje i rasvjetu promatrane potrošačke jedinice u skupini najviših prosječnih mjesečnih prihoda svojim apsolutnim iznosom u 1983. godini za 270% premašuju izdatke za energiju iste potrošačke jedinice s najnižim prosječnim mjesečnim prihodima (1975. godine 160%), oni su svojim udjelom u prihodu četveročlanoga radničkog kućanstva za 50% manji (1975. god. 70% manji) od udjela tih izdataka u prihodu kućanstava s najnižim prihodima. Razlog tome trebamo tražiti isključivo u ekonomskim faktorima, i to prije svega u kretanju prihoda subjekata promatrane potrošačke jedinice, kretanju cijena oblika energije te kretanju cijena ostalih proizvoda i usluga osobne potrošnje.

Prema tome, osnovne karakteristike kretanja prosječnih mjesečnih prihoda i prosječnih mjesečnih izdataka za grijanje i rasvjetu četveročlanih kućanstava 1983. godine u odnosu prema 1975. godini očituju se u sljedećemu:

- prosječni mjesečni nominalni prihod kućanstva s najvišim primanjima bio je 1983. godine za 450% veći od prosječnoga mjesečnog prihoda kućanstava s najnižim primanjima iste potrošačke jedini-

ce. Taj je odnos 1975. godine bio 1 : 4,5. Te su razlike nastale zbog sporijeg rasta prosječnoga mjesečnog prihoda kućanstva s najnižim primanjima (nominalni porast 350%) u odnosu prema rastu prosječnoga mjesečnog prihoda kućanstva s najvišim primanjima (nominalni porast 450%). Očito je da su socijalne razlike sve veće, i to ne samo u sklopu promatrane potrošačke jedinice

- malo veći porast izdataka za grijanje i rasvjetu u odnosu prema rastu prosječnih mjesečnih prihoda kućanstva s najnižim primanjima nebitno je promjenio udio tih izdataka u prihodima te skupine potrošača. Međutim, očito je da su u strukturi potrošnje energije nastale promjene. Naime, brži rast cijena pojedinih oblika energije od rasta prihoda zadržao je potrošnju samo određenih oblika energije na istom novou (npr. potrošnju električne energije za rasvjetu i pogon električnih kućanskih aparata), a čak smanjio potrošnju pojedinih oblika energije za grijanje (upotreba električne energije za grijanje, što se danas osobito očituje)
- dok je nominalni prosječni mjesečni prihod kućanstva s najvišim primanjima porastao za 450%, izdaci za grijanje i rasvjetu porasli su nominalno 570%, pa je razumljivo da je udio tih izdataka u prihodu kućanstva promatrane potrošačke jedini-

<sup>1</sup> Godišnjak elektroprivrede Hrvatske, str. 142.



ce porastao sa 3,8% na 4,7%. Unatoč tom porastu, udio tih izdataka u strukturi ukupnih izdataka za osobnu potrošnju kućanstva s najvišim primanjima ostao je relativno niži od udjela koji imaju subjekti osobne potrošnje s najnižim primanjima.

Očito je da viši nivo prihoda omogućuje toj skupini potrošača da potpunije zadovoljavaju svoje energijske potrebe (i ne samo te potrebe). Prema tome, viši nivo dohotka omogućuje potrošačkim jedinicama, kućanstvima pojedincima, ne samo da što kvalitetnije zadovoljavaju svoje energijske potrebe, već da ih i povećaju. Vrijedi, dakako, i obratno.

**EXPENSES FOR ELECTRIC POWER IN PERSONAL CONSUMPTION**

On the base of statistical data it is analysed expenses structure of population for personal consumption in SFR Yugoslavia and Republics for period 1965 — 1984 year with a special review on electric power consumption.

**ENERGIEAUSGABEN IM PERSÖNLICHEN VERBRAUCH DER BEVÖLKERUNG**

Aufgrund der statistischen Angaben wird die Struktur der Ausgaben für den persönlichen Verbrauch in Jugoslawien und Kroatien von 1965 — 1984 besprochen. Ein besonderer Rückblick gilt den Ausgaben für die Energie.

**РАСХОДЫ НА ЭНЕРГИЮ ПРИ ОСНОВНОМ ПОТРЕБЛЕНИИ НАСЕЛЕНИЯ**

На основании статистических сведений рассмотрена структура расходов населения на личное потребление в Югославии и Хорватии в период с 1965 по 1984 гг., с особым принятием во внимание на расходы за энергию.

Naslov pisca:

**Mr. Luka Staničić, dipl. ecc.  
Institut za elektroprivredu,  
41000 Zagreb, Proleterskih  
brigada 37, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1988-03-01

Projektni mjesečni prihodi i izdaci za grijanje i rasvjetu domaćinstava u Jugoslaviji 1975. i 1983. god.

Udio izdataka za energiju u prihodu (%)	Izdaci za energiju		Prihodi		1975	1983	
	1975	1983	1975	1983			
6,92	6,71	681	147	9808	2190	9794	1. domaćinstva s najnižim primanjima
4,66	3,80	2540	378	48136	3969	24330	2. domaćinstva s najvišim primanjima
6,06	4,98	1274	242	23197	4092	12974	3. prosjek promatrane potrošačke jedinice

Izvor: Anketni i porodični budžetni tablični domaćinstava u 1975. i 1983. godini. Statistički bilten 965 i 1441. Sa veznom tablicom za statistiku

... Taj je odnos 1975. godine bio 1:4,2. To su razli-  
ke nastale zbog različitih struktura potrošnje i  
srednjeg prihoda kućanstva s najvišim primanjima  
(nominalni porast 350%) u odnosu prema raspo-  
srednjeg mjesečnog prihoda kućanstva s naj-  
nižim primanjima (nominalni porast 450%). Očito je  
da su socijalne razlike sve veće i to ne samo u  
sklopu promatrane potrošačke jedinice  
— malo veći porast izdataka za grijanje i rasvjetu u  
odnosu prema raspo srednjim mjesečnim prihodi-  
ma kućanstva s najvišim primanjima nego što je  
promjenilo udio tih izdataka u njihovom ukup-  
nom potrošnji. Međutim, očito je da su u strukturi  
potrošnje energije nastale promjene. Najveći  
— rast cijena pojedinih oblika energije od tih pri-  
hoda zadržao je potrošnju samo odredjenih oblika  
energije na istom nivou (npr. potrošnju električ-  
ne energije za rasvjetu i pogon električnih kućan-  
skih aparata), a čak smanjio potrošnju pojedinih  
oblika energije za grijanje (potrošnja električne  
energije za grijanje, što se danas osobito očituje)  
— dok je nominalni prosječni mjesečni prihod ku-  
ćanstva s najvišim primanjima porastao za 150%  
izdaci za grijanje i rasvjetu porasli su nominalno  
za 270% pa je razumljivo da je udio tih izdataka u  
prihodu kućanstva promatrane potrošačke jedini-

... Tako izdaci za grijanje i rasvjetu promatrane potro-  
šačke jedinice u skupini najviših prosječnih mjeseč-  
nih prihoda svojim apsolutnim iznosom u 1983. godi-  
ni za 230% premašuju izdaci za energiju iste potro-  
šačke jedinice s najvišim prosječnim mjesečnim pri-  
hodom (1975. godine 160%), oni su svojim udjelom u  
prihodu domaćinstava radničkog kućanstva za 50%  
manji (1975. god. 70% manji) od udjela tih izdataka u  
prihodu kućanstva s najvišim primanjima. Razlog to-  
ga trebamo tražiti isključivo u ekonomskim faktor-  
ima, što prije svega u kratkim prihodima subjekata pro-  
matrane potrošačke jedinice, kratkoj cijeni oblika  
energije te kratkoj cijeni ostalih proizvoda i usluga  
osobne potrošnje.  
Prema tome, osnovne karakterističke kratkaja pri-  
hodna mjesečnih prihoda i prosječnih mjesečnih iz-  
dataka za grijanje i rasvjetu domaćinstava radničkog  
kućanstva u odnosu prema 1975. godini očituju  
se u slijedećem:  
— prosječni mjesečni nominalni prihod kućanstva s  
najvišim primanjima bio je 1983. godine za 450%  
veći od prosječnog mjesečnog prihoda kućanstva  
sa s najnižim primanjima iste potrošačke jedinice

# 110 kV-TNA KABELSKA VEZA OTOK KRK — OTOK RAB

Petar Čerina, Split — Bruno Šaina, Rijeka

UDK 621.315.285

STRUČNI RAD

Opisan je izbor trase, izbor isporučioaca kabela, tehnički podaci za kabel, zaštita kabela, ispitivanje kabela i transport, montaža i izvedba postrojenja.

**Ključne riječi:** podmorski kabel, polaganje kabela, zaštita, ispitivanje, montaža, transport.

## 1. SVRHA GRADNJE

Otok Rab pripada grupi većih otoka sjevernojadranskog područja. Površina otoka je 90,8 km<sup>2</sup>. Otok se proteže u smjeru sjeverozapad-jugoistok, a dug je 22 km. Najveća širina otoka je 11 km.

Najrazvijenija i gotovo jedina privredna grana na području Raba jest turizam. U 1987. godini ostvareno je 2 040 000 turističkih noćenja, od čega se oko 85% odnosi na inozemne turiste.

Daljnji razvoj turizma Općine Rab došao je u pitanje zbog nekoliko ograničavajućih faktora. Osim vodovoda i kanalizacije, najvažniji problem Raba je električna energija.

Problem električne energije javlja se u dva oblika:

- postojeća mreža ne može osigurati dovoljne količine električne energije sadašnjih potreba, a kamoli za razvoj
- nivo dosegnutog standarda ne zadovoljava uvjete sigurnosti napajanja.

Porast potrošnje električne energije u posljednjih deset godina prosječno je oko 7% godišnje. Maksimalna se potrošnja pojavljuje u ljetnim mjesecima, a 1987. god. dosegnuto je vršno opterećenje iznosilo 9,10 MW.

Dosad se područje Raba napajalo električnom energijom iz hidroelektrane Senj, na nivou 35 kV. Od HE Senj izgrađen je nadzemni 35 kV-tni vod do kabela kućice Biluča, odakle postoji podmorska 35 kV-tna kabelska veza do Golog otoka i dalje, do kabela kućice Rab, gdje se kabel spaja na nadzemni 35 kV-tni vod do TS 35/10 kV »Rab«. Trasa nadzemnog 35 kV-tnog voda HE Senj — KK Biluča izložena je oštrim meteorološkim uvjetima, zbog čega su česti prekidi napajanja Golog otoka i Raba električnom energijom. Moramo napomenuti da je u 1980. god. ukupno bilo 18 prekida, a trajali su 165. sati. Godine 1987. bilo je 44 prekida koji su trajali 239 sati.

Za vrijeme prekida napajanje Raba preuzima dizel-elektrana snage 1,5 MW, čime se u ljetnim mjesecima može pokriti manje od 1/5 potreba.

Iz navedenih se podataka vidi da stanje i sigurnost napajanja Raba električnom energijom ne zadovoljava.

U 1987. god. sa 9,1 MW dosegnuta je termička prijenosna moć postojećeg kabela 9,5 MW, a za nj nije postojala nikakva rezerva.

S obzirom na to da se to stanje predviđalo, još u listopadu 1985. god. obustavljeno je izdavanje novih elektroenergetskih suglasnosti. To je utjecalo na smanjenje porasta potrošnje, ali i na usporavanje razvoja turističke i ostalih privreda otoka Raba.

Studijom »Osnovno rješenje električne mreže na području Raba«, izrađenom u Institutu za elektroprievredu Zagreb 1979. god., predviđeno je da se otok Rab 110 kV-tnim vodom napaja električnom energijom iz TS 110/35 kV »Krk«, te da se blizu postojeće TS 35/10 kV »Rab« izgradi trafostanica 110/20 kV. Prema studiji, 110 kV-tni vod i trafostanica morali su već 1985. god. biti u pogonu.

Na osnovi te analize, zaključeno je da se napajanje Raba riješi etapno.

U prvoj etapi predviđena je gradnja dalekovoda i 110 kV-tnog kabela na relaciji TS 110/35 kV »Krk« — TS 35/10 kV »Rab«, s pogonom na 35 kV-tnom naponu. Realizacijom te etape Rab dobiva dovoljne količine kvalitetne električne energije za tri do četiri godine, uz uvjet da su obje veze, Senj-Rab i Krk-Rab u doba vršnog opterećenja u pogonu. U slučaju ispada veze Krk-Rab, nastalo bi preopterećenje 35 kV-tnog podmorskog kabela Goli otok-Rab, a ispad veze Senj-Rab izazvao bi loše naponske prilike na Rabu.

U drugoj etapi predviđa se gradnja TS 110/20 kV »Rab« i prijelaz izgrađenog dalekovoda i podmorskog kabela otok Krk — otok Rab na 110 kV-tni napon. Prema srednjoročnom planu razvoja (1986 — 1990. god.), tu etapu valjalo bi realizirati do 1991. godine. Uočljivo je da i nakon toga ostaje problem dvostranog napajanja Raba, što je predmet dugoročnih razvojnih planova.

S obzirom na to da je 110 kV-tna veza otok Krk — otok Rab početna etapa povezivanja velikih jadranskih otoka, i to međusobnog i povezivanja na prije-

nosni elektroenergetski sistem, te s obzirom na tipizirane parametre prijenosne moći dalekovoda, odabrana je prijenosna moć kabela 100 MVA.

## 2. IZBOR ISPORUČILACA KABELA

Prikupljanje ponuda za isporuku 110 kV-tnog podmorskog kabela otok Krk — otok Rab obavljeno je u lipnju 1986. god.

Osnova za izradu ponude bio je »Ponudbeni elaborat za isporuku, polaganje, montažu i ispitivanje kabelske veze 110 kV otok Krk — otok Rab«, u kojemu su definirani opći, tehnički, komercijalni i ostali uvjeti isporuke.

Na osnovi objavljenog natječaja, prispjele su ponude četiriju ponuđača.

Komisija za izbor najpovoljnijeg isporučioaca provela je analizu tehničkih i ekonomsko-komercijalnih uvjeta ponuda. S obzirom na tehničke uvjete, komisija je usporedila ponude po elementima:

- tip kabela, tj. njegovo tehničko-tehnološke osobine
- polaganje kabela
- dokazivanje i garancija kvalitete
- rokovi isporuke kabela
- oprema i usluge koje nisu obuhvaćene ponudom
- reference ponuđača
- popravak eventualnih kvarova — oštećenja kabela.

Na temelju ponuđenih tehničkih rješenja, komisija je konstatala da je najpovoljniji ponuđač STK Oslo.

Osnovni razlozi za takav stav komisije bili su:

- tehničko rješenje STK poznato je i u nekim detaljima najprihvatljivije (nije potreban niskonaponski priključak u kabelskim kućicama, nema pumpnog sistema za cirkulaciju ulja u kabelu, kabel se isporučuje u ukupnoj dužini, bez izrade spojnica na terenu itd.)
- STK je isporučio sve (osim jednoga) 110 kV-tno podmorske kabele u Jugoslaviji. Iskustva o pouzdanosti, odazivu STK na eventualni poziv itd. vrlo su povoljna
- ostao je dio rezervnih dijelova i alata iz prijašnjih isporuka, pa postoji iskustvo u radu s njima.

Najjeftiniji su rezervni dijelovi nabavljeni od STK.

Cijena i komercijalni uvjeti ponude STK bili su mnogo povoljniji od cijena i uvjeta ostalih ponuđača.

U daljnjoj analizi komisija je usporedila najpovoljnijega stranog isporučioaca STK Oslo i domaćeg isporučioaca IKS Svetozarevo.

Nakon svestrane analize tehničkih uvjeta komisija se odlučila za izbor kabela STK zbog ovih razloga:

- podmorski kabel proizvodnje STK trožilni je, paprom izolirani kabel s uljem pod tlakom (sl. 2), a kabel IKS je jednožilni kabel s izolacijom od umreženog polietilena.

Ponudbeni elaborat (TENDER) bio je napravljen tako da ne daje prednost određenom tipu kabela. Usprkos tome, ponuđači koji inače rade kabele s izolacijom od krutog dielektrika (STK i PIRELLI) nisu nudili takav tip kabela, kao ni ostali, inače renomirani

proizvođači tog tipa kabela (SILEC, ASEA — KABEL itd.).

U pregovorima s ponuđačima raspravljene su prednosti i mane pojedinih vrsta kabela. Ukratko donosimo najinteresantnija mišljenja dvaju renomiranih ponuđača.

STK smatra da su podmorski kabeli u pogonu dobro provjereni i sigurni, pa nije potrebno mijenjati tehnologiju, tj. prihvatiti rješenje bez referenci i dugogodišnjeg iskustva u eksploataciji.

Tvornica u kojoj se proizvode podmorski uljni kabeli veoma je moderna i omogućuje izradu kabela u komadu dugom oko 16 km (dužina kabela Krk — Rab), zahvaljujući velikom kapacitetu impregnacijske posude u kojoj se kabel suši i vakuumira (u tvornici ukupno radi 55 zaposlenih).

PIRELLI smatra da je pravo rješenje za podmorske kabele EPR (etilen-propilen-guma) izolacija. Na pitanje zašto nisu ponudili takav kabel, odgovorili su da je EPR-izolacija ekonomičnija za veće kapacitete prijenosa od zahtijevanog (100 MVA). Naime, zbog smanjenja električnog polja u izolaciji trebalo bi povećati presjek vodiča, što ne bi bilo ekonomično.

Prema istraživanjima PIRELLI-a kabeli sa EPR-izolacijom imaju mnoštvo prednosti pred ostalim vrstama, pogotovo pred kabelima s izolacijom od umreženog polietilena, zato što vanjska površina izolacije može doći u direktni kontakt s morskom vodom, pri čemu nema opasnosti da voda prodre u izolaciju i stvori tzv. treeing efekt. Stoga nije potrebno izraditi olovni plašt kabela. Zahvaljujući tome, PIRELLI je isporučio niz takvih kabela za povezivanje naftnih platformi s kopnom. Naime, činjenica da kabel nema olovnog plašta velika je prednost jer platforma nije »nepokretan« objekt pa olovni plašt zbog vibracija nije pogodan za vezu s takvim objektima.

PIRELLI nije mogao konkurirati s takvim kabelom ni zato što nema nikakvih iskustava za takav kabel na 110 kV-tnom naponu, što je bilo vidljivo i iz priloženih podataka.

Kabel proizvodnje STK izrađen je u jednom komadu pa nije potrebno raditi spojnice na terenu, a na kabelu IKS-a trebalo bi pri montaži izraditi velik broj spojnica.

Taj tip kabela zahtijeva ekstremno čistu izolaciju i visok stupanj umreženosti polietilena. To je pri izradi spojnica vrlo teško postići, pogotovo na terenu. Zato je svaka spojnica oslabljena točka kabela i potencijalno mjesto kvara. Ta slaba mjesta ne mogu se ispitati onako kako se ispituje kabel u toku i nakon proizvodnje. IKS predviđa ispitivanje kabela nakon izrade spojnica na isti način kao što provodi ispitivanje nakon montaže. Svjetska iskustva (potvrđena i u nas) pokazuju da se tim ispitivanjem nipošto ne garantira otkrivanje defektnih mjesta u kabelu ili spojnici. Osim toga, nekoliko uzastopnih premotavanja kabela, koliko je potrebno za takvu operaciju spajanja i polaganja, dodatna su naprezanja spojnice i rizik od kvara.

Polaganje kabela vrlo je osjetljiv posao koji se mora izvesti veoma odgovorno i precizno.

STK ima vlastite brodove za transport i polaganje opremljene svim alatom i sredstvima za precizno održavanje predviđene trase, uz odstupanje 0,5 m. Jugoslavija, nažalost, nema adekvatnih plovih sredstava i rizik pri polaganju bio bi veoma velik.

Jednostavnija je kontrola kabela u pogonu za uljne kabele. Eventualno propuštanje ulja očituje se padom tlaka i odgovarajućom signalizacijom (sl. 4).

To je veoma bitno u eksploataciji jer eventualni prodor morske vode duž kabela može izazvati velike nezgode i gubitak većih dijelova kabela.

Problem je potenciran činjenicom da Jugoslavija nema ni sredstava ni iskustva u popravcima podmorskih kabela.

### 3. PROJEKTANTSKO-ISTRAŽIVAČKI RADOVI

#### 3.1. Istraživački radovi

Projektant kablenskog postrojenja, proizvođač kabela i polagač kabela trebali su upoznati mnoge podatke o području na kojemu će se polagati kabela veza. Zato su prije projektiranja obavljani opsežni istraživački radovi na kopnu i moru.

Radovi na moru:

- detaljan batimetrijski premjer uz obalu gdje se predviđa gradnja priobalne zaštite
- ehografsko-batimetrijski premjer dna trase
- uzeti su uzorci sedimenata morskog dna i utvrđena njegova struktura
- ispitan je režim morskih struja
- mjerena je temperatura mora po slojevima (dubinama)
- obrađeni su meteorološki podaci.

Radovi na kopnu:

- tahimetrijski premjer na širokoj lokaciji postrojenja i duž kopnene trase
- niveliran je profil od početne točke do položaja postrojenja
- određena je ortogonalna dužina između ishodišnih točaka
- izmjerene su toplinske osobine terena uzduž kablenske trase
- izmjeren je i analiziran specifični otpor tla duž kablenske trase.

Od opsežnih istraživačkih radova u daljnjem ćemo tekstu opisati samo neke da bi izlaganje bilo potpuno.

#### *Profil morskog dna*

Konfiguracija morskog dna snimljena je hidrografskim ultrazvučnim dubinomjerom. Pozicije mjerenih dubina određivane su istovremenim opažanjima hidrografskog broda i teodolitima s kopna.

Pravac hidrografskog broda uzdužnog mjernog profila usmjeravan je teodolitom, a komande su prenošene radiom.

Uzduž projektirane podmorske trase nije bilo skretanja broda. U zoni uvala na kopnu i otoku mjerena su

po tri profila, sve do izlaza na čisti dio trase te je, s obzirom na nepovoljnu konfiguraciju dna, nastavljeno mjerenje samo jednog profila. Konstatirano je da ne postoje veće nepravilnosti morskog dna i da je njegov profil povoljan.

#### *Geologija morskog dna*

Morski su sedimenti uzimani na mnogim mjestima uzduž kablenske trase. Ustanovljeno je da je veći dio morskog dna prekriven muljevitim pijeskom. Zone kamenitog praga prekrivenog muljem pojavljuju se sredinom trase zbog utjecaja otoka Grgura. Neposredno uz obalu dno je sastavljeno od pijeska, sika i razbacanog kamenja.

#### *Temperatura mora*

U površinskom sloju minimalna je temperatura mora 8,54 °C (u ožujku), a maksimalna 21,8 °C (u kolovozu). Minimalna temperatura pri morskome dnu je 8,58 °C (u ožujku), a maksimalna 12,9 °C (u prosincu).

#### *Vjetar i valovi*

Na tom su području zanimljivi vjetrovi iz južnoga i sjevernog kvadranta. Oni formiraju valni model s najkarakterističnijim elementima valova.

Kada pušu vjetrovi iz južnog kvadranta (SE), dužina prostranstva je najveća. Tada je obično riječ o dugotrajnome, ponekad i orkanskom vjetru, pa se oblikuje ekstremni valni model. U tim prilikama vjetar ima brzinu 15 do 20 m/s i razvija valni model visok 3,5 m, dug od 40 do 60 m, a javlja se svakih 5 do 7 sekundi.

Zbog ograničenosti prostranstva pri vjetru iz sjevernog kvadranta (NE) neće nastati potpuno razvijeni valni model.

U tom slučaju valni model ima karakteristične kratke i strme valove s pjenom te s pojavom morske prašine ili bez nje. U tim prilikama brzina vjetra je od 20 do 30 m/s, a razvija se valni model visok 3,5 m, dug 20–40 m svakih 4–6 sekundi.

Naravno, meteorološke prilike nisu takve u ishodišnim točkama već na otovrenome, ali je pri projektiranju radi sigurnosti pretpostavljeno da su takve i u ishodišnim točkama.

#### *Toplinske osobine tla*

Mjerena je temperatura tla, specifični toplotni otpor i koeficijent temperature vodljivosti u nekoliko točaka kopna i otoka. Mjerenje je provedeno metodom kuglaste sonde, koja je omogućila da se dobivene veličine izmjere u realnim uvjetima.

Mjesto	Datum sondiranja	°C	km/W	Vlažnost
otok RAB	29.3.1981.	11	0,61	umjerena
otok KRK	30.3.1981.	13	0,98	umjerena

### 3.2. Izbor kabelske trase

Pri izboru podmorske kabelske trase pazilo se na to da ishodišne točke na otocima zadovoljavaju sljedeće kriterije:

- da su zaštićene od djelovanja valova i vjetra
- da budu prikladne za priključak na podzemni kabel
- da su što dalje od postojećih podmorskih komunikacija (energetski i PTT-kabeli)
- da je što manja mogućnost sidrenja brodova
- da je što kraća dužina podmorskog kabela.

Naravno, nije bilo moguće udovoljiti svim tim kriterijima pri izboru trase, pa je odabrana trasa kompromis iznijetih kriterija.

Nakon detaljnih analiza i uvidaja na terenu određene su ishodišne točke predmetne kabelske veze, i to

- u uvali Surbova na otoku Krku
- Rt Stojan — Zadgradi na otoku Rabu.

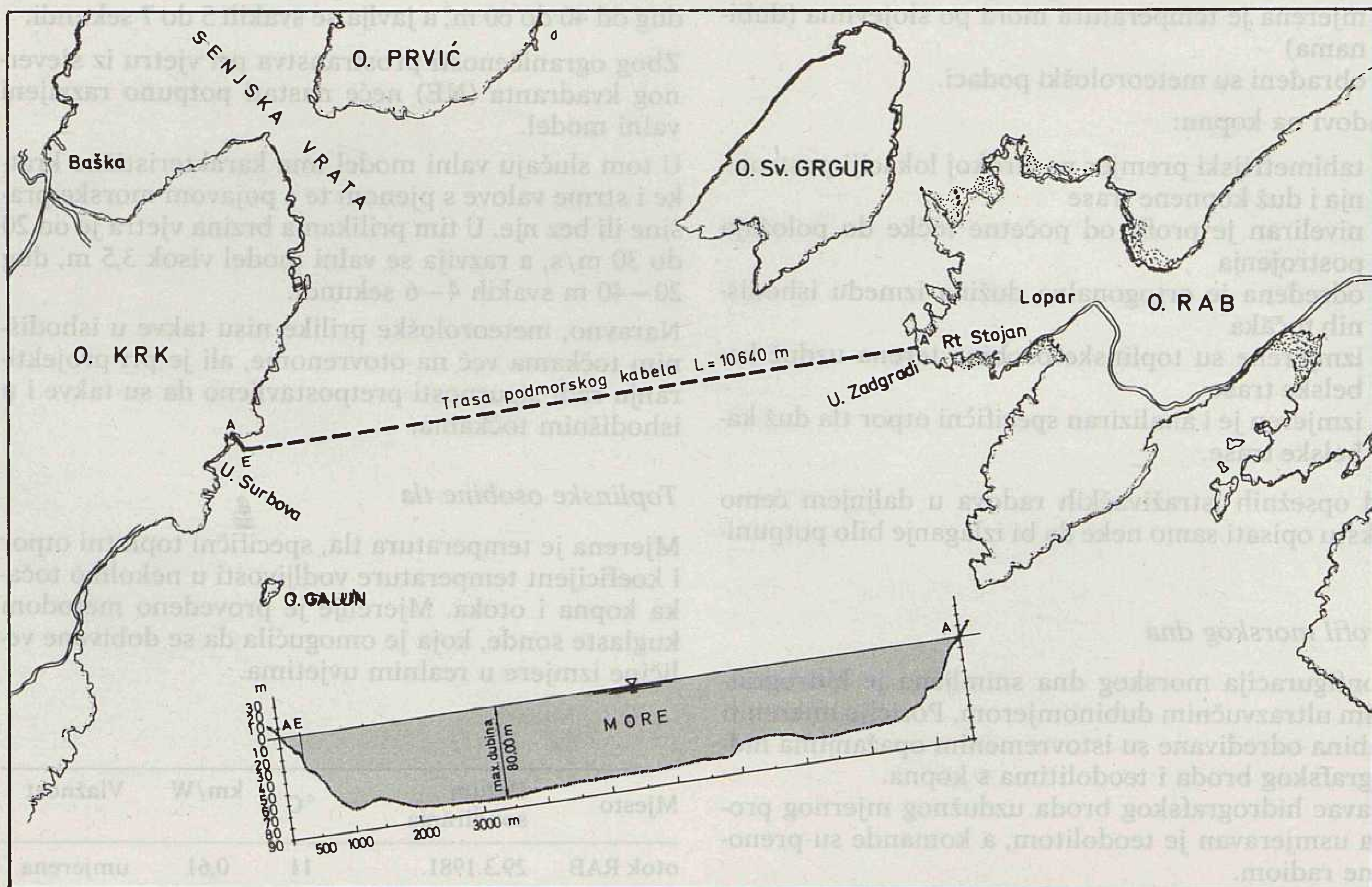
Podmorska trasa nije pravocrtna već ima jednu lomnu točku ispred uvale Surbova (sl. 1)

### 3.3. Izbor kabela i kabelske opreme

Analizom sadašnjih i budućih energetske potreba promatranoga konzumnog područja, a imajući pritom na umu i tehničke karakteristike, proizvođača, cijene i zahtjeve investitora (sve navedeno u točki 1. i 2), za podmorski kabel i njegove dijelove koji izlaze na kopno odabran je trožilni uljni. Presjek dijela pod morem je  $3 \times 300 \text{ mm}^2 \text{ Al}$ , a kraći su kopneni dijelovi presjeka  $3 \times 300 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ .

#### Uvjeti na mjestu polaganja

- |                                                         |         |
|---------------------------------------------------------|---------|
| — nazivni napon mreže                                   | 110 kV  |
| — najviši pogonski napon                                | 123 kV  |
| — podnosivi udarni napon (oblika 1,2/50 $\mu\text{s}$ ) | 550 kV  |
| — prijenosna snaga (približno)                          | 100 MVA |
| — struja trolnoga kratkog spoja                         | 10,0 kA |
| — struja jednopolnoga kratkog spoja                     | 8,9 kA  |
| — trajanje trolnoga i jednopolnoga kratkog spoja        | 0,7 s   |



Slika 1. Trasa podmorskog kabela s uzdužnim profilom

## Tehnički podaci kabela

Tablica 1. Električne karakteristike

	Podmorski kabel	
	3 × 300 Al	3 × 300 Cu
Tip	trožilni uljni-OKRA	trožilni uljni-OKRA
nazivni napon $U_0/U$ (kV)	64/110	64/110
maksimalni pog. napon (kV)	123	123
dopušteni udarni napon (1,2/50 $\mu$ s, kV)	550	550
maksimalni otpor za istosmjernu struju pri 20 °C ( $\Omega$ /km)	0,1	0,0601
kapacitet ( $\mu$ F/km)	0,33	0,33
jakost električnog polja (kV/mm)	10,3	10,3
faktor gubitka pri 20 °C	0,003	0,003
struja nabijanja po fazi pri 50 Hz i 110 kV (A/km)	6,6	6,6
a) gubici pri 110 kV i 525 A:		
— gubici provodnika (W/m)	97,6	63,9
— dielektrični gubici (W/m)	4,1	4,1
— gubici u zaštiti (oblozi i oklopu) (W/m)	23,3	22,0
— ukupni gubici u kabelu (W/m)	125,1	90,0
b) nazivna struja (A) pri:		
— tem. tla 22 °C	525	525
— frekvencija 50 Hz		
— temp. provodnika 85 °C		
— maks. temp. morske vode 22 °C		
— toplinskom otporu 0,78 °Km/W		
— metalna obloga i oklop spojeni su i uzemljeni na oba kraja		
c) struja kratkog spoja (kA)	27 (1 s)	27 (1 s)

## Konstrukcija kabela

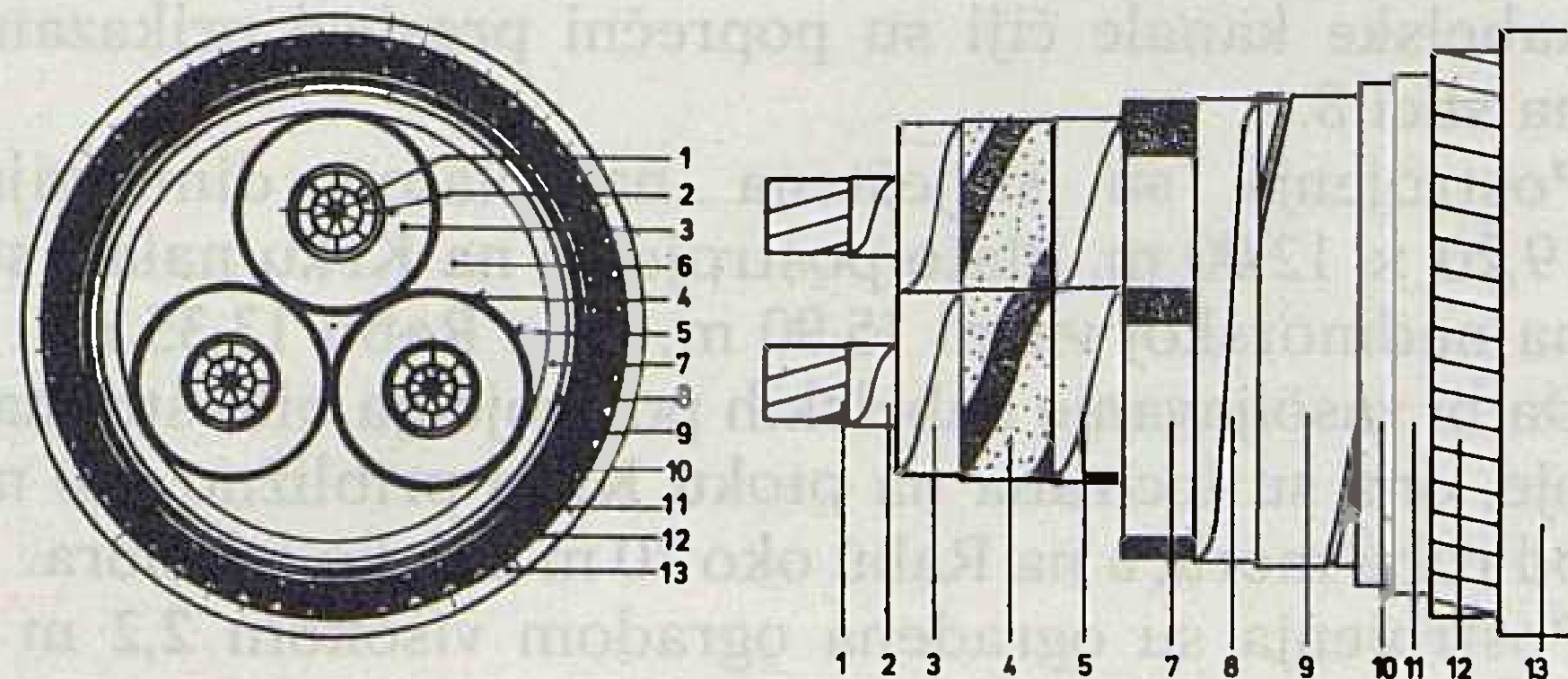
Nazivni promjer provodnika 20,3 mm

Provodnik se sastoji od aluminijskih i bakrenih žica u obliku »key-stone«, koje su nasukane na kružnu centralnu žicu.

Provodnici za kopnene dijelove su bakreni. Provodnik je zaštićen karbonskim crnim papirom.

Izolacija 8,5 mm

Izolacija se sastoji od visokoga nateznog kabelskog papira od vodom prane drvene »pulpe«, impregniranog kabelskim uljem niskog viskoziteta. Izolacija je zaštićena karbonskim crnim papirom i metaliziranim papirom.



Slika 2. Podmorski kabel

## Olovna obloga:

- nazivna debljina 4,2 mm
- obložni materijal: olovna legura F3 (0,15% arsenika, 0,1% kositra 0,1% bizmuta, ostalo je olovo).

Transverzalno ojačanje ima dimenzije 40 × 0,5 mm, a sastoji se od dva sloja galvanizirane čelične trake.

## Zaštita od korozije

Olovni oblog i ojačanje zaštićeni su dvjema poluprovodljivim neoprenskim trakama i asfaltom impregniranim krep-papirom. Temeljni sloj oklopa je polipropilensko vlakno.

Oklop od galvaniziranih čeličnih žica:

- promjer žica oklopa 5,6 mm
- broj žica 59
- jedan sloj cirkularno galvanizirane čelične žice.

## Zaštita protiv vanjske korozije:

dva sloja polipropilenskog vlakna i bitumena vanjski promjer kabela 124 mm.

Težina kabela:

	Al	Cu
— težina provodnika (kg/m)	2,4	8,1
— težina olovne obloge (kg/m)	13,7	13,7
— težina oklopnih žica (kg/m)	11,6	11,6
— ukupna težina	38,7	44,5

Promjer savijanja za vrijeme transporta min. 3,0 m.

Radijus savijanja za vrijeme rukovanja min. 2,5 m.

Radijus savijanja nakon instaliranja min. 2,0 m.

## Kabelski pribor

Kompletni uljnotlačni sistem koji se sastoji od:

- uljnotlačnih posuda tipa H-150, na svakoj strani po 11 komada od kojih su po dvije rezervne
- ormarić za kontrolu tlaka ulja u kabelu tipa KMK 115
- cjevovodi, ventili i ostala montažna oprema.

## Kabelski završeci

- jednopolne kabelske glave tipa EOPU za vanjsku montažu za napon 300 kV (Zbog problema zasoljavanja, tj. zbog nužnosti duge klizne staze odabrana je kabelska glava neuobičajeno visokog napona.)
- kabelski razdjelnik za uljni kabel Cu 3 × 300 mm.

## Rezervna oprema

- bubanj sa sistemom uljnog napajanja (dvije uljne posude). Na taj je bubanj namotan kabel koji je ostao nakon polaganja (rezervna dužina).
- dvije kabelske spojnice
- jednopolna kabelska glava tipa EOPU za napon 300 kV
- materijal za pričvršćivanje kabelske glave, kabelske spojnice i određena količina kabelskog ulja.

### Kontrola prijenosne moći kabela

Prema podacima dobivenim od proizvođača kabela, prijenosna moć kabela iznosi 525 A, što je 100 MVA, uz sljedeće parametre:

- dubina polaganja 0,7 m
- temperatura terena 22°C
- temperatura mora 22°C
- termički otpor tla 0,78 km/W
- temperatura vodiča 85°C.

Najnepovoljniji slučaj je dio kopnene trase (kabel s bakrenim vodičima) na otoku Krku, gdje su parametri ovakvi:

- dubina ukapanja 0,7 m
- maksimalna temperatura terena u okolišu kabela oko 22°C.

Temperatura bakrenog vodiča 85°C.  
Termički otpor tla na otoku Krku (v. tbl. 1) 0,98°Km/W.

Pri takvim uvjetima proizvođač garantira prijenosnu moć od 490 A, odnosno 93,35 MVA.

Budući da su kopneni dijelovi kabelske trase položeni u posteljicu od kamenog (krečnjak) pijeska, tzv. nulericu, specifičnoga toplinskog otpora oko 0,7 Km/W (dijagram ovisnosti toplinskog otpora o vlažnosti izradio je FESB — Split), može se očekivati veća prijenosna moć od navedene.

Ostali dijelovi kabelske trase mogu prenositi 100 MVA u granicama nazivnih veličina.

### 3.4. Dužine kabela

Podmorski trožilni uljni kabel s aluminijskim vodičima presjeka  $3 \times 300 \text{ mm}^2$  na oba kraja završava bakrenim vodičima jednakog presjeka. Dijelovi aluminijskog kabela s bakrom povezuju se fleksibilnom spojnicom u tvornici. Kabel s aluminijskim vodičima, s obzirom na njegovo strujno opterećenje, mora se nakon polaganja nalaziti u moru. Zato je dužina podmorskog kabela s aluminijskim vodičima koji se polaže u more malo manja od dužine izmjerene po morskoj površini.

Horizontalna udaljenost (geodetska razina mora) po odabranoj kabelskoj trasi od ruba mora u uvali Surbova do ruba mora Rt Stojan — Zadgradi je 10 640 m. Ta je dužina dobivena pomoću geodetski proračunatih udaljenosti između karakterističnih točaka po profilu te trase. Ukupna dužina aluminijskog dijela podmorskog kabela iznosi 10 600 m, što garantira da će kabel s aluminijskim vodičima biti u moru.

Navedene dužine, međutim, valja povećati ovisno o reljefu morskog dna (sl. 1).

Kabel je praktički nemoguće položiti po projektiranoj trasi i unatoč dobrom vođenju broda polagača, jer trenutna hidrometeorološka situacija i morske struje mogu skrenuti brod s trase. Zato izračunatu dužinu treba povećati za faktor rizika. Tako dobivenoj dužini dodana je odgovarajuća rezerva podmorskog kabela koju želimo imati nakon polaganja. S obzirom na tehnologiju izrade fleksibilne spojnice

na terenu, poželjno je da rezervni kabel ima aluminijske vodiče.

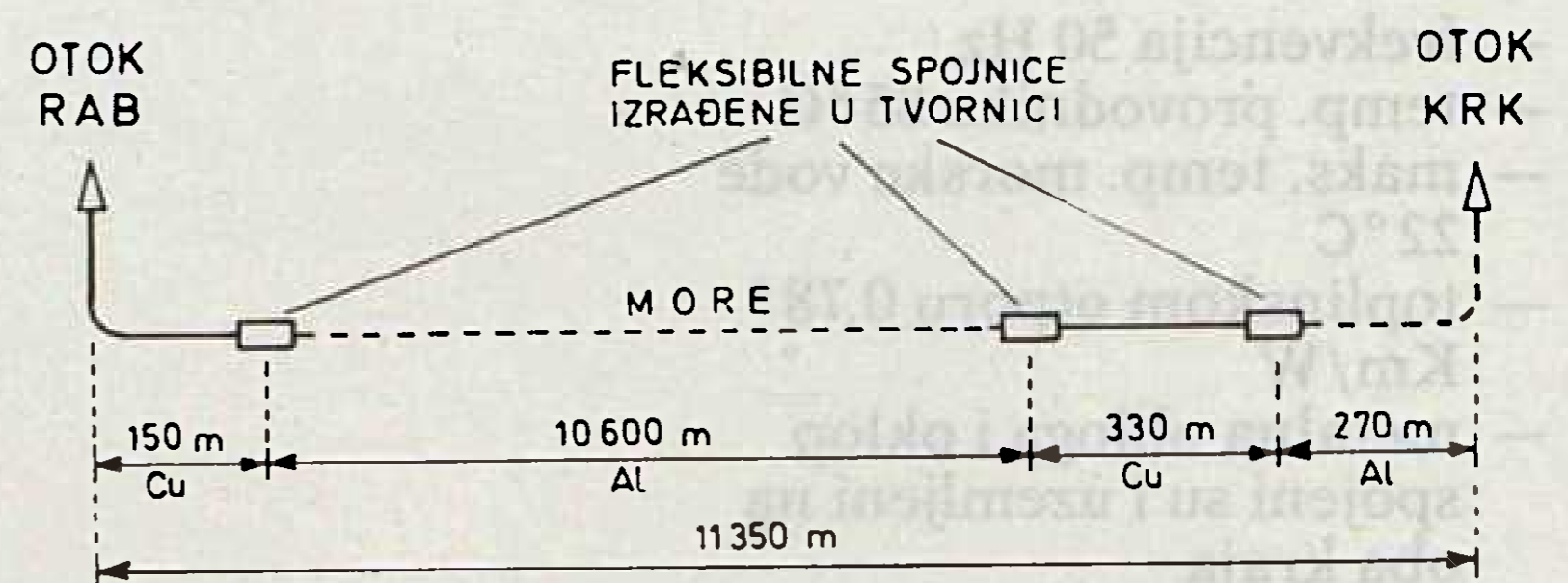
Navedeni podaci i činjenica da je zbog plovidbenih prilika (sidrenje i privezivanje broda polagača) odlučeno da polaganje kabela počne od otoka Raba uvjetovali su dužinu podmorskog kabela.

Dužina kabela s bakrenim vodičima prikazane su u tablici 2.

Tablica 2.

	Rt Stojan- -Zadgradi	Uvala Surbova
dužina po trasi s rezervnom petljom (m)	120	170
dio kabela koji mora biti u moru (m)	25	—
montažni dio (m)	5	5
povećanje dužine zbog reljefa morskog dna (m)	—	155
ukupno kabela s bakrenim vodičima (m)	150	330

Na slici 3. shematski su prikazane dužine podmorskog kabela.



Slika 3. Dužine podmorskog kabela

Polaganje kabela izvedeno je veoma uspješno i precizno pa je nakon polaganja i montaže ostalo 394 m kabela, 270 m s aluminijskim vodičima, a ostalo s bakrenim vodičima. Taj je kabel namotan na za to predviđeni bubanj i pohranjen kod investitora.

### 3.5. Opis trase i postrojenja za prijelaz kabela na zračni vod

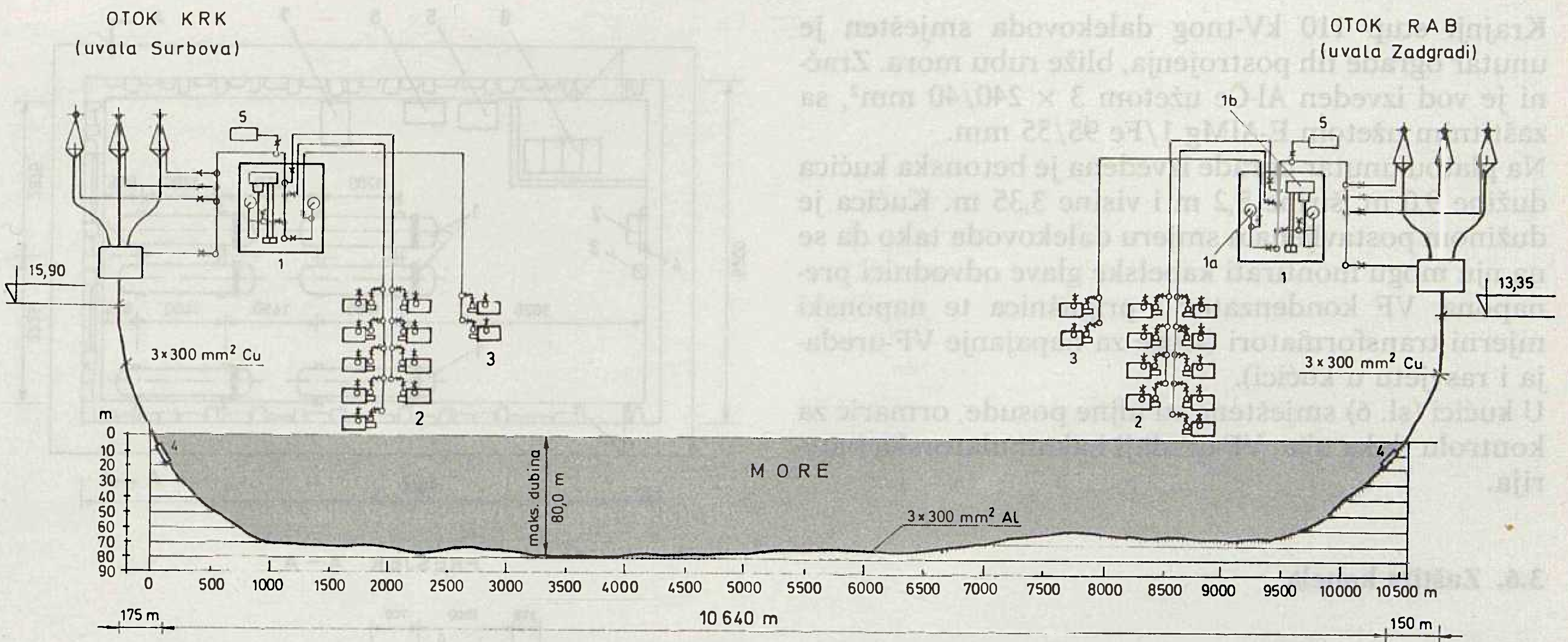
Početna točka podmorskog dijela kabela, kako je već navedeno, nalazi se na otoku Krku, u uvali Surbova, a na otoku Rabu na Rtu Stojan — Zadgradi.

Podmorski dio aluminijskog kabela  $3 \times 300 \text{ mm}^2$  izrađen je u nekoliko međusobno spojenih dionica. Kopneni dijelovi kabela položeni su u odgovarajuće kabelske kanale čiji su poprečni presjeci prikazani na slici 8.

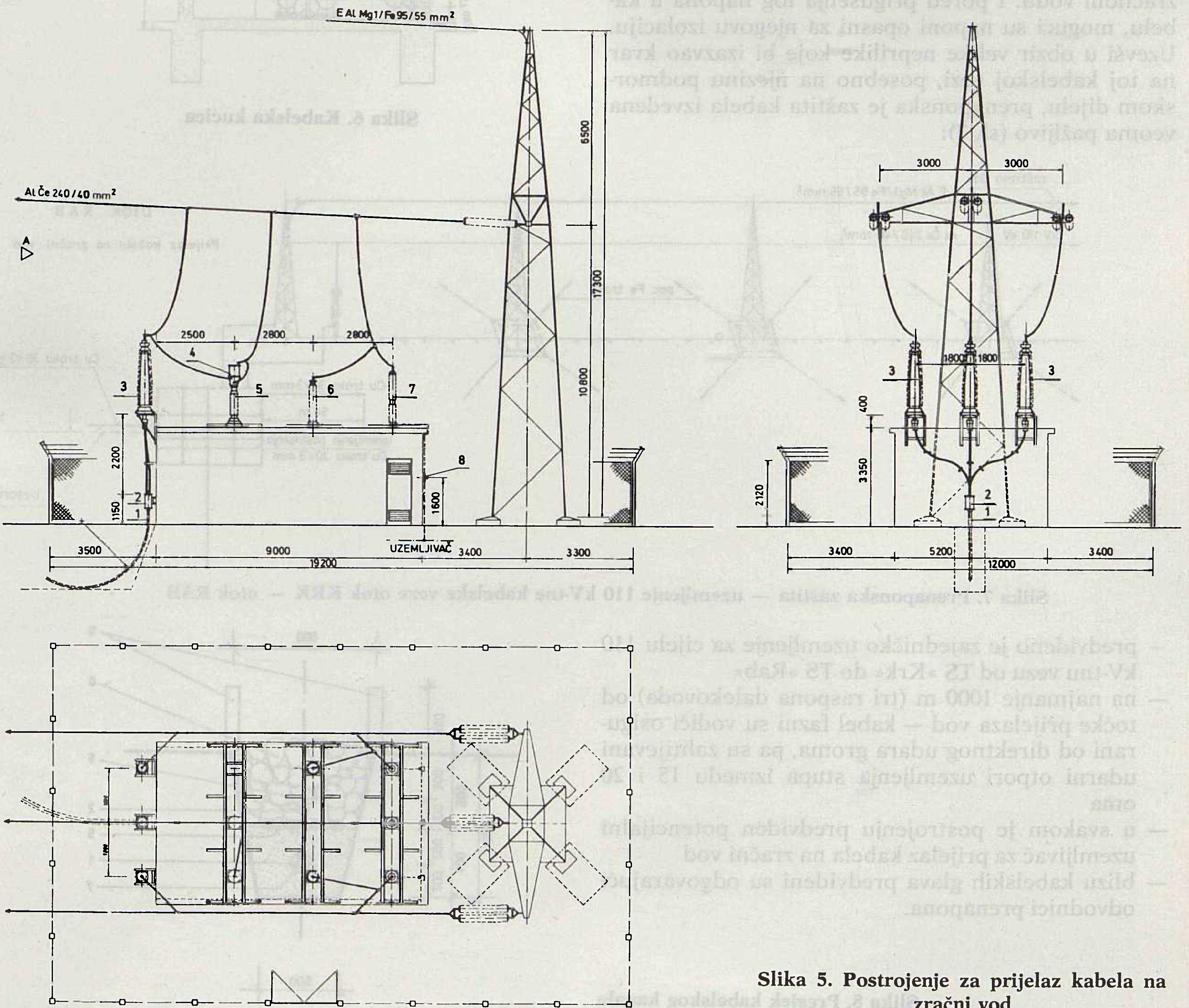
Postrojenja su smještena na platou dimenzija  $19,20 \times 12,00 \text{ m}$ . Plato postrojenja na Krku nalazi se na nadmorskoj visini 15,90 m, a na Rabu 13,35 m.

Da bi zasoljavanje kabelskih postrojenja bilo što manje, ona su locirana na otoku Krku približno 120 m od ruba mora, a na Rabu oko 70 m daleko od mora.

Postrojenja su ograđena ogradom visokom 2,2 m i ulaznim vratima da bi se nepoželjnim osobama omogućio pristup u postrojenje (sl. 5).



Slika 4. Shematski prikaz kabelske veze otok KRK — otok RAB



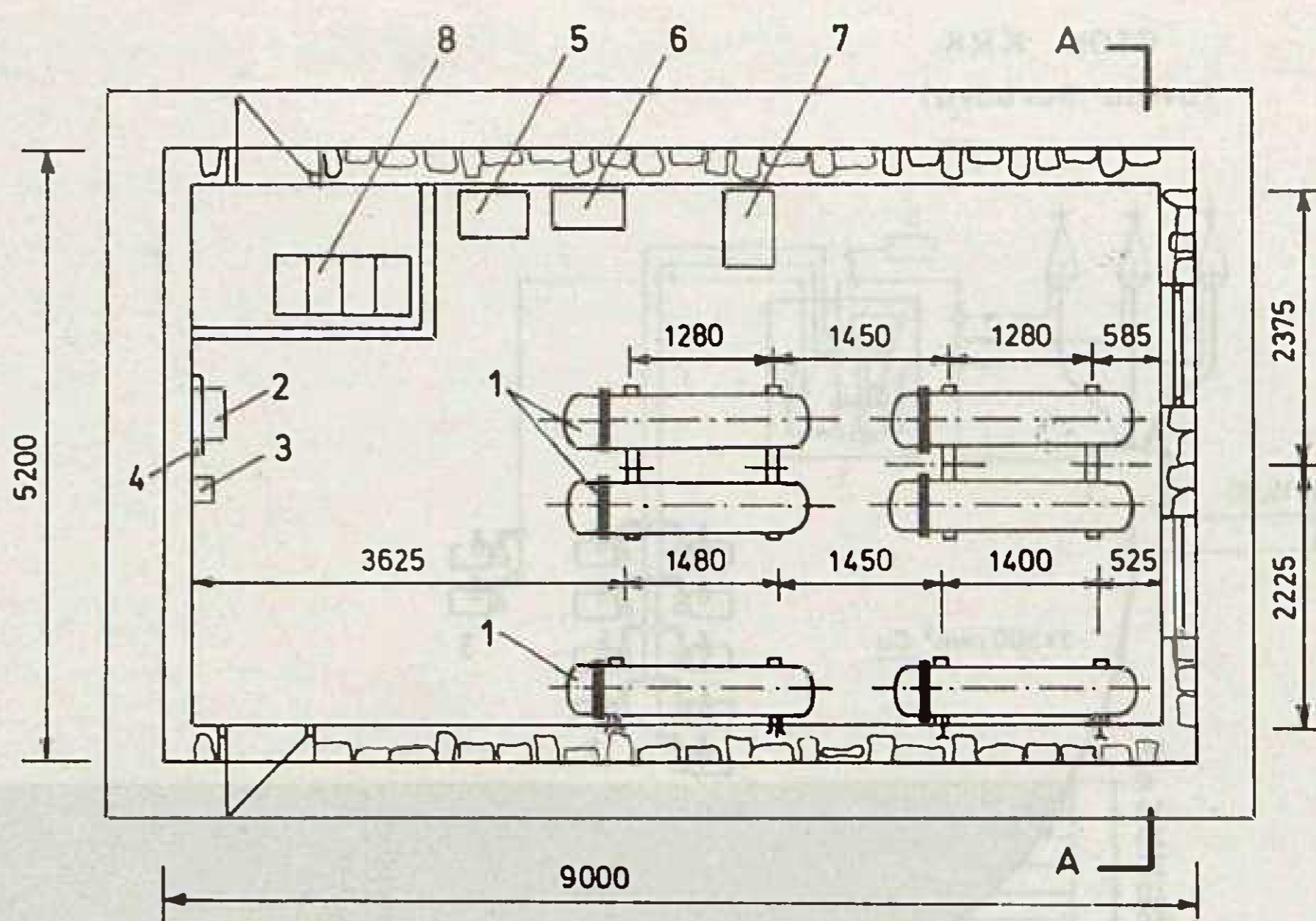
Slika 5. Postrojenje za prijelaz kabela na zračni vod



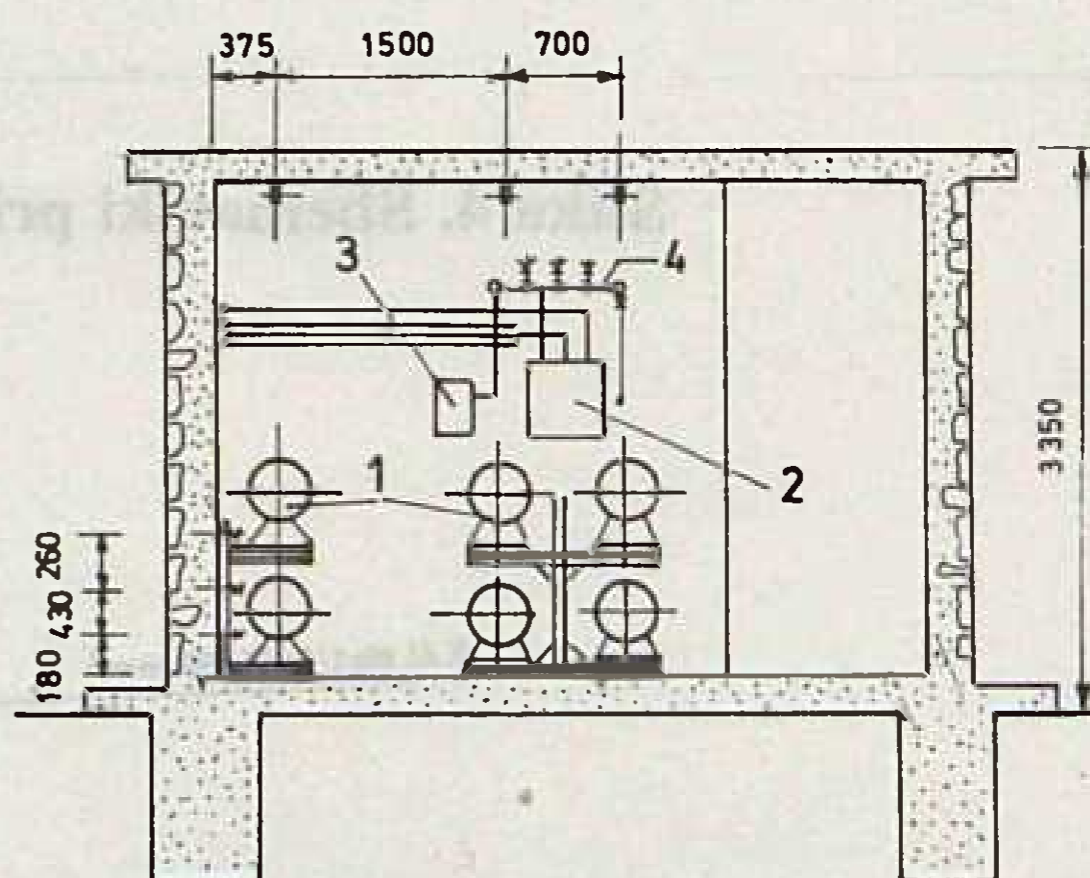
Krajnji stup 110 kV-tnog dalekovoda smješten je unutar ograde tih postrojenja, bliže rubu mora. Zračni je vod izveden Al-Če užetom  $3 \times 240/40 \text{ mm}^2$ , sa zaštitnim užetom E-AlMg 1/Fe 95/55 mm.

Na platou unutar ograde izvedena je betonska kućica dužine 9,0 m, širine 5,2 m i visine 3,35 m. Kućica je dužinom postavljena u smjeru dalekovoda tako da se na nju mogu montirati kabelske glave odvodnici prenapona, VF kondenzator i prigušnica te naponski mjerni transformatori (služe za napajanje VF-uređaja i rasvjetu u kućici).

U kućici (sl. 6) smještene su uljne posude, ormarić za kontrolu tlaka ulja, VF-uređaji i akumulatorska baterija.



PRESJEK A - A

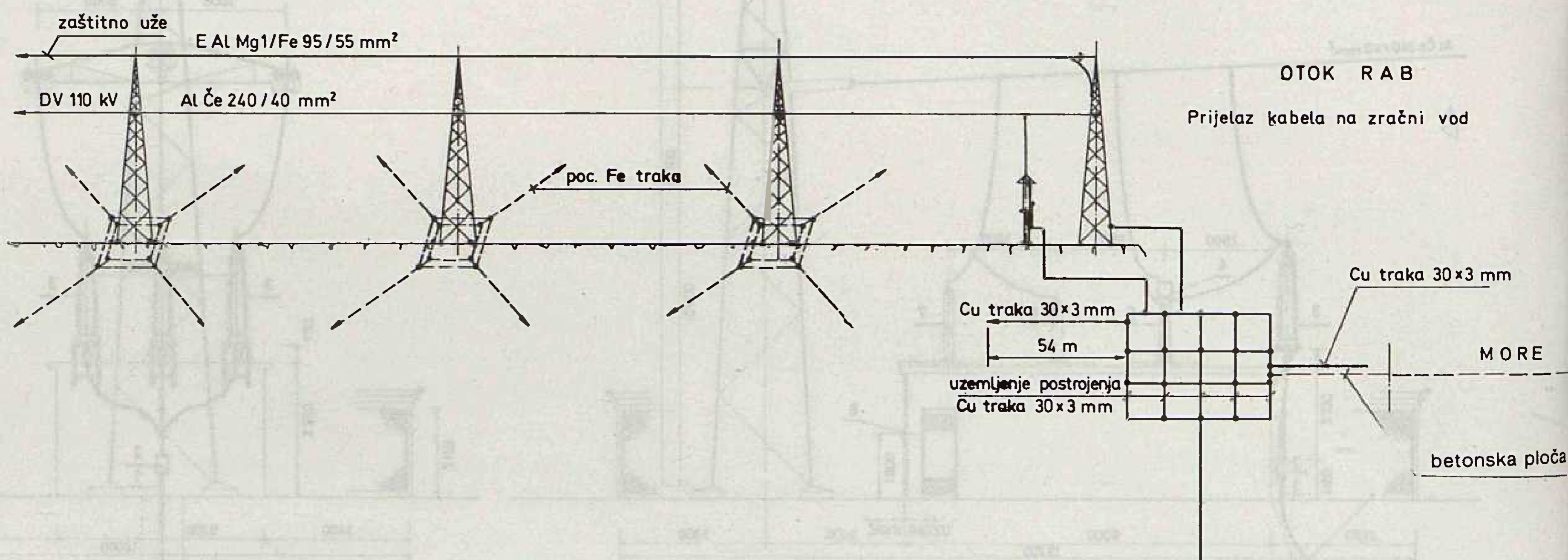


Slika 6. Kabelska kućica

### 3.6. Zaštita kabela

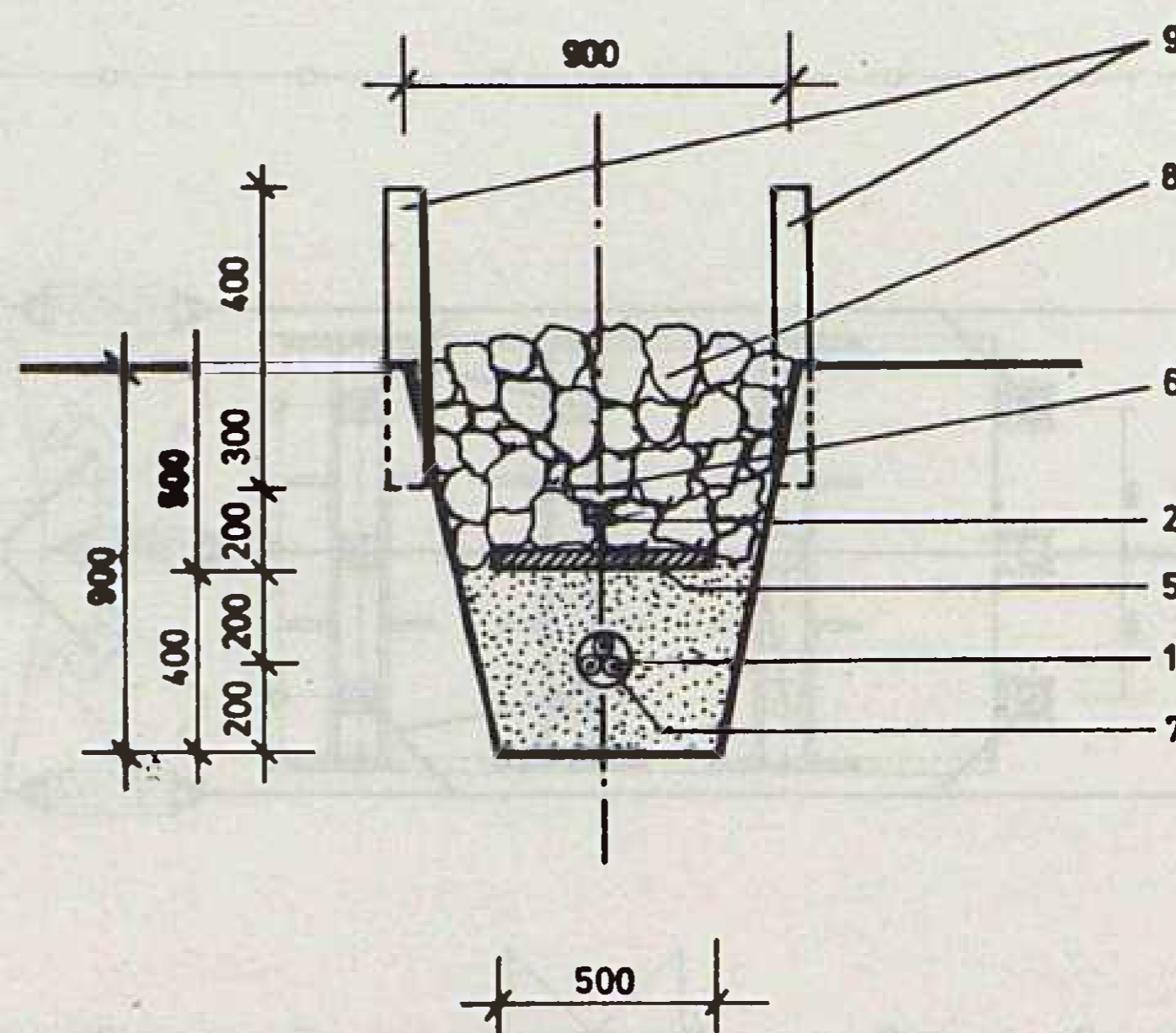
#### Prenaponska zaštita

Podmorski kabel 110 kV umetnut je između dva zračna voda. Teorijski, u kabelu nakon nailaska prenapona iz zračnog voda zbog refleksije može nastati napon po iznosu najviše jednak naponu nastalom u zračnom vodu. I pored prigušenja tog napona u kabelu, mogući su naponi opasni za njegovu izolaciju. Uzevši u obzir velike neprilike koje bi izazvao kvar na toj kabelskoj vezi, posebno na njezinu podmorskom dijelu, prenaponska je zaštita kabela izvedena veoma pažljivo (sl. 7):



Slika 7. Prenaponska zaštita — uzemljenje 110 kV-tna kabelska veza otok KRK — otok RAB

- predviđeno je zajedničko uzemljenje za cijelu 110 kV-tnu vezu od TS »Krk« do TS »Rab«
- na najmanje 1000 m (tri raspona dalekovoda) od točke prijelaza vod — kabel fazni su vodiči osigurani od direktnog udara groma, pa su zahtijevani udarni otpori uzemljenja stupa između 15 i 20 oma
- u svakom je postrojenju predviđen potencijalni uzemljivač za prijelaz kabela na zračni vod
- blizu kabelskih glava predviđeni su odgovarajući odvodnici prenapona.

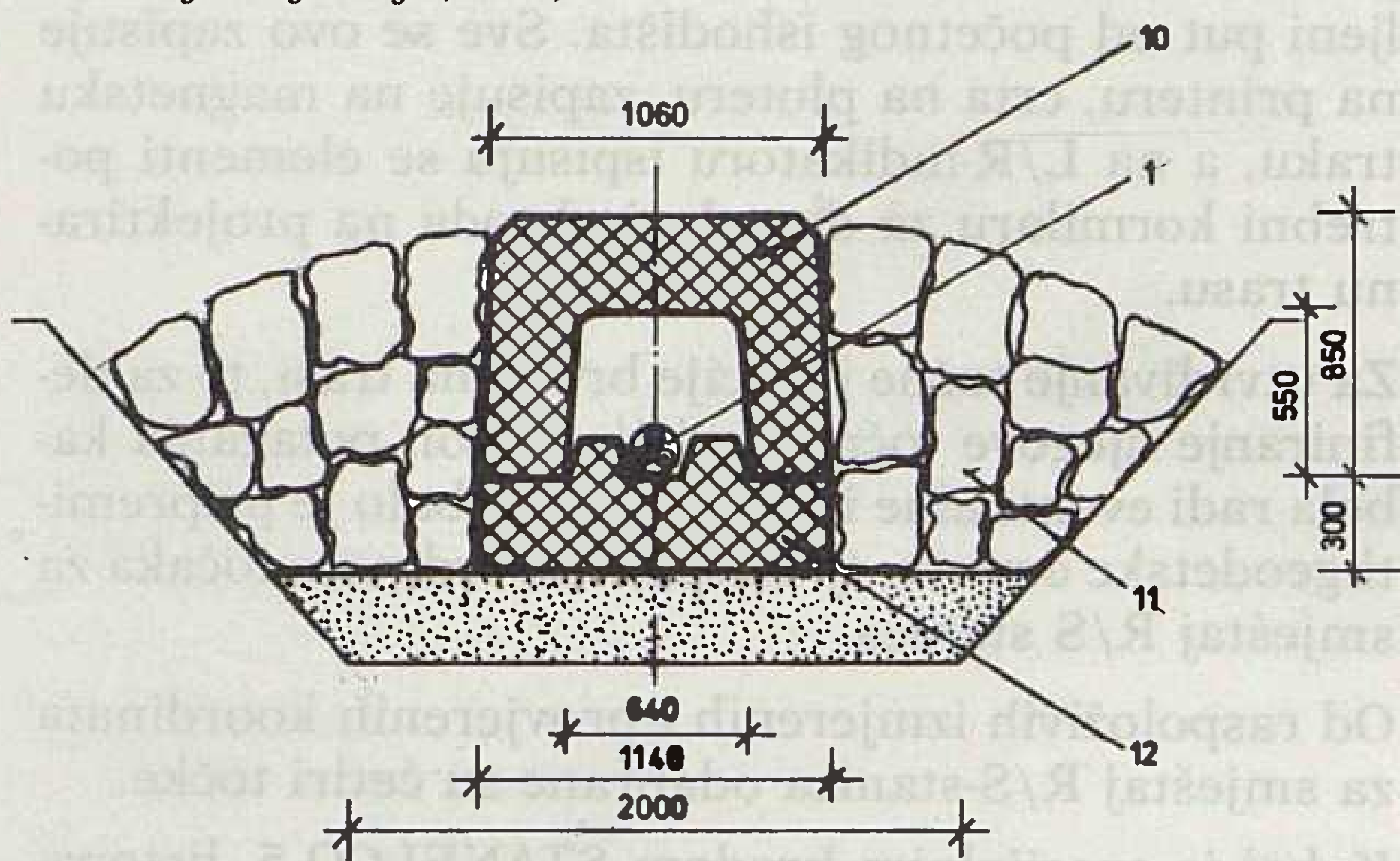


Slika 8. Presjek kabelskog kanala

### Priobalna zaštita

Podmorski dio kabela u priobalnom dijelu zaštićen je od djelovanja morskih valova. Način zaštite odabran je ovisno o izloženosti mjesta na kojemu kabel ulazi odnosno izlazi iz mora, utjecaju morskih valova, geološkom sastavu i dubini morskog dna.

Ta zaštita na obje polazne točke izvedena je od armiranobetonskih blokova u obliku slova »U«, čiji će kraci biti položeni na armiranobetonski podložni element na koji je prije toga položen podmorski kabel. Kompletna priobalna zaštita je montažna, a izvedena je do 6,0 m dubine. Smatra se da u vodama dubljim od 6,0 m morski valovi na tom području nemaju znatniji utjecaj (sl. 9).



Slika 9. Priobalna zaštita

kopnenog dijela kabela na terenu su svakih 10 m postavljeni parovi betonskih stupića radi upozorenja na prisutnost podzemnog kabela (sl. 8).

Na vidnim mjestima blizu ishodišnih točaka podmorskog kabela postavljeni su znakovi zabrane sidrenja (sl. 14).

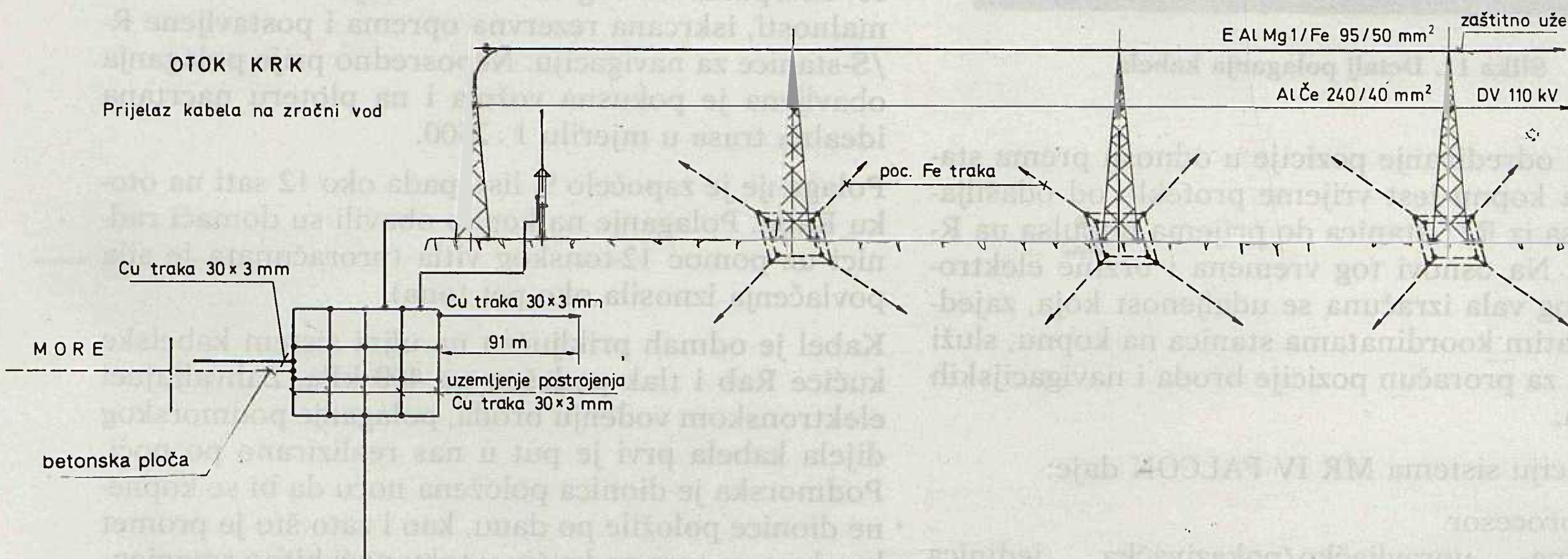
### 4. IZRADA, TRANSPORT I POLAGANJE KABELA

Izrada kabela počela je u travnju 1987. god. u tvornici podmorskih kabela u Haldenu u Norveškoj.

Prema tehnologiji izrade kabela, vodič se radi od više komada i međusobno se spaja, a ostale se operacije (izoliranje, izrada olovnog plašta itd.) izvode po cijeloj dužini bez prekida.

Kabel je odmah nakon ispitivanja u tvornici premotan na brod STANELCO (sl. 10), koji će ga prevesti i položiti. Zanimljivo je napomenuti da je kabel od izrade olovnog plašta i punjenja uljem stalno pod tlakom ulja. Režim tlaka mijenja se ovisno o vrsti manipulacije kablom, a održava se uz pomoć posebnih uljnih posuda koje prate kabel sve do polaganja, kada se spaja na uljni sistem pripremljen u kabelskim kućicama na otocima Rab i Krk.

Pripreme za vođenje broda polagača kabela valjalo je posebno razraditi. Pri dotadašnjim polaganjima vođenje broda preuzimali su geodeti, koji su na određenim točkama na obali putem teodolita pratili rutu



### Ostala zaštita

Opisana podmorska kabelska veza 110 kV djeluje kao zajednički sistem uljnog napajanja (sl. 4).

Iz kabelskog postrojenja (kabelske kućice) u uvali Surbova predviđeno je da se signali tlaka ulja prenose telegrafskim kanalima u TS 110/35 kV »KRK«.

Signaliziranja tlaka ulja iz kabelskog postrojenja Rt Stojan — Zadgradi prenosit će se telegrafskim kanalima, u prvoj etapi također u TS 110 kV Krk, a kasnije u TS 110/20 kV »RAB«. Osim prijenosa analogne vrijednosti tlaka ulja, prenosi se i alarm zbog minimalnog tlaka.

Kao zaštita od eventualnoga mehaničkog oštećenja iznad kabela su položene betonske ploče, a pri samoj površini zemlje PVC-traka za upozorenje. Duž trase



Slika 10. Brod polagač M/S STANELCO

broda i radiovezom slali podatke na osnovi kojih se trasa korigirala prema potrebi.

Modernizacijom navigacijskih uređaja takav je sistem zastario. Pri ovom polaganju primijenjen je sistem MINI-RANGER IV FALCON, koji se primjenjuje na brodu polagaču.

Domet tog sistema je 40 milja ili približno 75 kilometara. Osnovna funkcija MR IV FALCON jest točno određivanje pozicije broda u odnosu prema poznatim koordinatama točaka geodetske osnove na kopnu. Djeluje na principu radarskih impulsa, s radarskim primopredajnikom (R/T) smještenim na brodu, što je moguće više iznad vodene linije, i radarskim predajnikom (R/S) smještenim na najmanje tri točke na kopnu.



Slika 11. Detalj polaganja kabela

Osnova za određivanje pozicije u odnosu prema stanicama na kopnu jest vrijeme proteklo od odašiljanja impulsa iz R/T-stanica do prijema impulsa na R/S-stanici. Na osnovi tog vremena i brzine elektromagnetskog vala izračuna se udaljenost koja, zajedno s poznatim koordinatama stanica na kopnu, služi procesoru za proračun pozicije broda i navigacijskih elemenata.

Konfiguraciju sistema MR IV FALCON daje:

- range-procesor
- centralna upravljačko/pokazivačka jedinica (CDU)
- printer
- ploter (DP1 ili DP3)
- kasetni zapisivač
- indikator kursa (L/R) indikator,
- R/T-stanice, brodske
- R/S-stanice, kopnene (tri ili više)
- akumulatori, 20 – 32 V
- spojni kablovi
- ultrazvučni dubinomjer — prema potrebi.

Pozicioni sistem Mini Ranger IV FALCON koristi se mikrovalnim frekvencijama pa, dakle, zahtijeva optičku vidljivost između R/T i R/S stanica. Svaka fizička prepreka utječa na ispravnost rada sistema.

Na domet sistema utječu visine, u odnosu prema razini mora, na koju su instalirane R/T i R/S stanice.

Domet, odnosno vidljivost, izračunava se po formuli:

$$d = 2.08 \times (\sqrt{H_{r/t}} + \sqrt{H_{r/s}}).$$

Ako su visine R/T i R/S izražene metrima, udaljenost je izračunata u miljama (1 milja = 1 852 m).

Radna frekvencija sistema je 5 400 do 5 900 MHz (C-Band). Sistem je takav da se njime lagano rukuje, a hardverski i softverski je tako konstruiran da je lagan za pripremu i rad te primjenu rezultata proračuna.

U toku rada sistem će češće od jedne sekunde pokazivati trenutne koordinate broda, odstupanje od projektirane trase (lijevo ili desno, u metrima) i prevladani put od početnog ishodišta. Sve se ovo zapisuje na printeru, crta na ploteru, zapisuje na magnetsku traku, a na L/R-indikatoru ispisuju se elementi potrebni kormilaru za dovođenje broda na projektiranu trasu.

Za utvrđivanje točne pozicije broda na trasi, te za definiranje njegove točne pozicije nakon polaganja kabela radi eventualne intervencije trebalo je pripremiti geodetske osnove, tj. odrediti koordinate točaka za smještaj R/S stanica.

Od raspoloživih izmjerenih i provjerenih koordinata za smještaj R/S-stanica odabrane su četiri točke.

Kabel je specijalnim brodom STANELCO 5. listopada stigao u Rijeku. Polaganje je planirano od 9. do 10. listopada. Do tog su roka obavljene carinske formalnosti, iskrcana rezervna oprema i postavljene R/S-stanice za navigaciju. Neposredno prije polaganja obavljena je pokusna vožnja i na ploteru nacrtana idealna trasa u mjerilu 1 : 2500.

Polaganje je započelo 9. listopada oko 12 sati na otoku Rabu. Polaganje na kopno obavili su domaći radnici uz pomoć 12-tonskog vitla (proračunata je sila povlačenja iznosila oko pet tona).

Kabel je odmah priključen na uljni sistem kabelske kućice Rab i tlak podešen na 400 kPa. Zahvaljujući elektronskom vođenju broda, polaganje podmorskog dijela kabela prvi je put u nas realizirano po noći. Podmorska je dionica položena noću da bi se kopnene dionice položile po danu, kao i zato što je promet brodova na tom području u toku noći bitno smanjen. U toku polaganja kontrolirani su sljedeći parametri:

- sila natezanja kabela
- kut polaganja
- dubina mora
- brzina broda u odnosu prema brzini ispuštanja kabela
- dužina kabela u odnosu prema prijedenoj dužini
- odstupanje od predviđene kabelske trase.

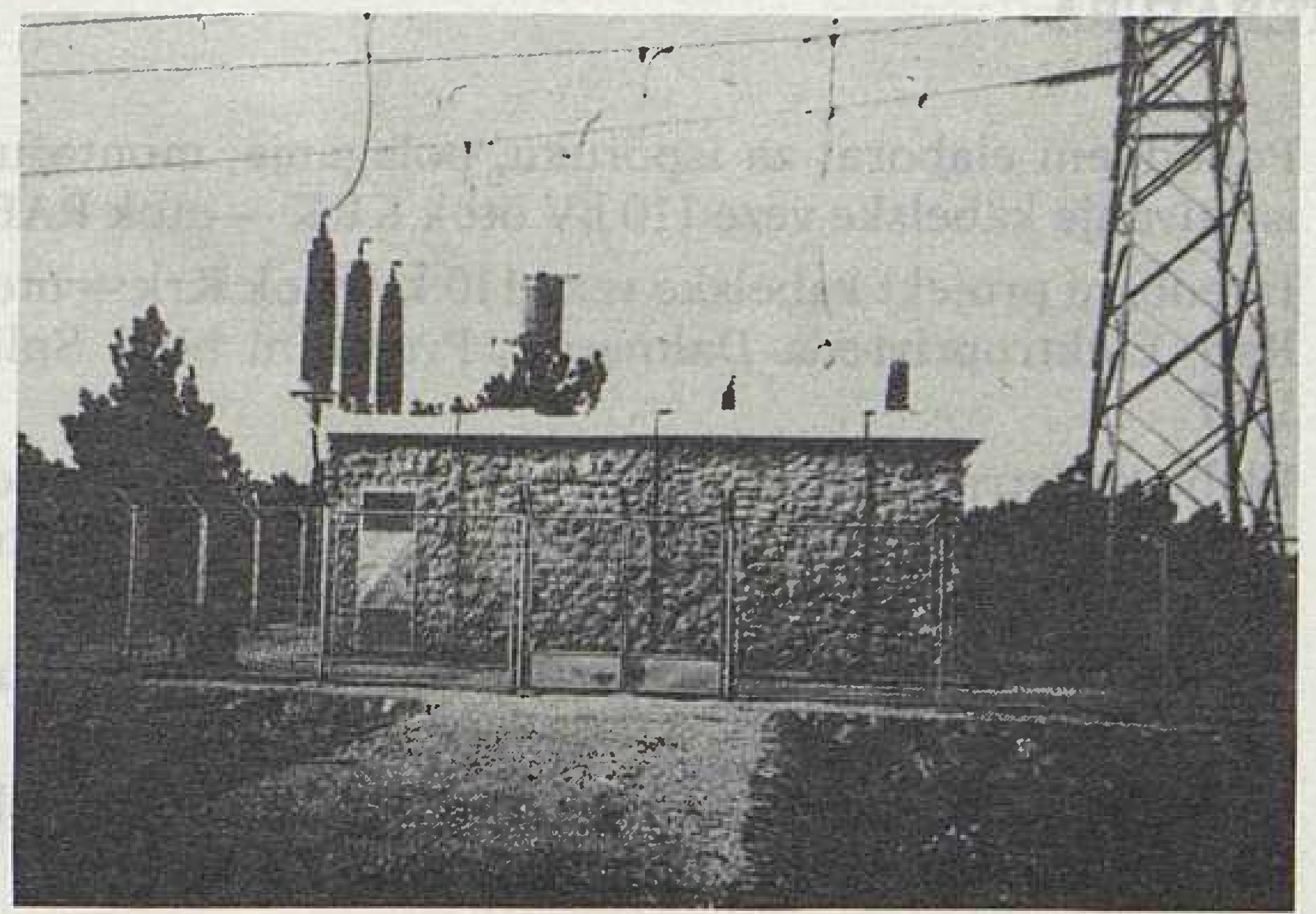
Kopneni dio kabela na otoku Krku položen je 10. listopada na sličan način kao na Rabu (sl. 12). Prije samog polaganja, a nakon odmjeravanja potrebne dužine, kabel je prerezan, a na brodu je ostao »nepotrošeni« dio kabela spojen s rezervnim dijelom kabela koji je kasnije u Rijeci iskrcan s broda i prevezen u skladište.



Slika 12. Izvlačenje kabela u uvali Surbova na otoku Krku

Istovremeno je planirano i snimanje položaja kabela na morskom dnu nakon polaganja. Za tu je svrhu iskorišten poseban uređaj FOTOROBOT (Sea owl MK II) komunalnog poduzeća PIRAN.

Uređaj je postavljen na posebni brod koji je plovio iza broda polagača. Fotorobot je kamerom snimao kabel i prenosio sliku na ekran na brodu. Snimka je također registrirana na kasetu.



Slika 13. Postrojenje za prijelaz kabela na zračni vod



Slika 14. Znak zabrane sidrenja na otoku Krku

## 5. ISPITIVANJE KABELA I PUŠTANJE U RAD

Ispitivanja kabela provedena su prema standardima IEC 141-1.

Tipska ispitivanja nisu provedena jer je već isporučeno mnogo takvih kabela, mnogi i u Jugoslaviju. STK je samo priložio ateste tipskih ispitivanja.

Rutinska i specijalna ispitivanja djelomično su provedena u tvornici proizvođača prije ukrcanja na brod, a djelomično na terenu nakon montaže.

Ispitivanje kabela nakon montaže obavljeno je 27. listopada. Kabel od Krka izložen je istosmjernom naponu od 275 kV u toku 15 minuta, nakon čega su sa

stručnjacima STK pregledane sve instalacije i napravljen zapisnik o privremenom preuzimanju (konačna se primopredaja radi nakon isteka garantnog roka).

Nakon toga izvedeni su ostali radovi povezivanja kabela sa zračnim vodom, spajanje zračnog voda na postojeće 35 kV-tne dalekovode itd.

Krajem prosinca 1987. godine kabel otok Krk — otok Rab pušten je u rad pod 35 kV-tni napon.

### Rezultati ispitivanja

Ispitivanje	Granični rezultati prema IEC	Rezultati ispitivanja	Primjedbe
1. mjerenje debljine olovnog plašta	3.9 mm	3.98 mm	uzorak
2. mjerenje debljine izolacije	8.5 mm		uzorak
faza 1		8.55 mm	
faza 2		8.65 mm	
faza 3		8.65 mm	
3. mjerenje kapaciteta	0,356 $\mu\text{F}/\text{km}$	0,312 $\mu\text{F}/\text{km}$	uzorak
4. kut dielektričkih gubitaka:	$U_0 \dots 33 \times 10^{-4}$	$19.6 \times 10^{-4}$	
	$2U_0 \dots 45 \times 10^{-4}$	$21.7 \times 10^{-4}$	
5. mjerenje otpora vodiča	1.1135 oma	1.0953 oma	cijeli kabel
6. visokonaponsko ispitivanje istosmjernim naponom	$U = 330 \text{ kV}$ $t = 15 \text{ min.}$	zadovoljio	cijeli kabel

**LITERATURA**

- [1] Ponudbeni elaborat za isporuku, polaganje, montažu i ispitivanje kabelaške veze 110 kV otok KRK — otok RAB
- [2] Izvedbeni projekt kabelaške veze 110 kV otok Krk — otok Rab, Elektroprivreda Dalmacije, Projektni biro, Split, 1987.
- [3] Elaborat istražnih radova za trasu kabela 110 kV otok RAB — Rt Stojan — Zadgradi, Hidrografski institut JRM, Split, 1985.
- [4] Toplinske značajke kabelaške trase na otocima Rabu i Krku, FESB Split, 1981.
- [5] Mjerenje i analiza specifičnog otpora tla duž kabelaške trase otok Krk — otok RAB, FESB Split, 1981.
- [6] Podaci i podloge proizvođača kabela
- [7] IEC-standardi

**THE 110 KV CABLE CONNECTION BETWEEN THE ISLAND KRK AND THE ISLAND RAB**

In the article is described a choice of the site, a choice of manufacturer, technical data, cable protection, testing and transportation, construction and assembly characteristics.

**110 KV KABELVERBINDUNG INSEL KRK — INSEL RAB**

Hier wird die Wahl der Trasse beschrieben, der Lieferant des Kabels, technische Angaben für das Kabel, der Kabelschutz, das Prüfen des Kabels und der Transport, die Montage und Ausführung der Anlagen.

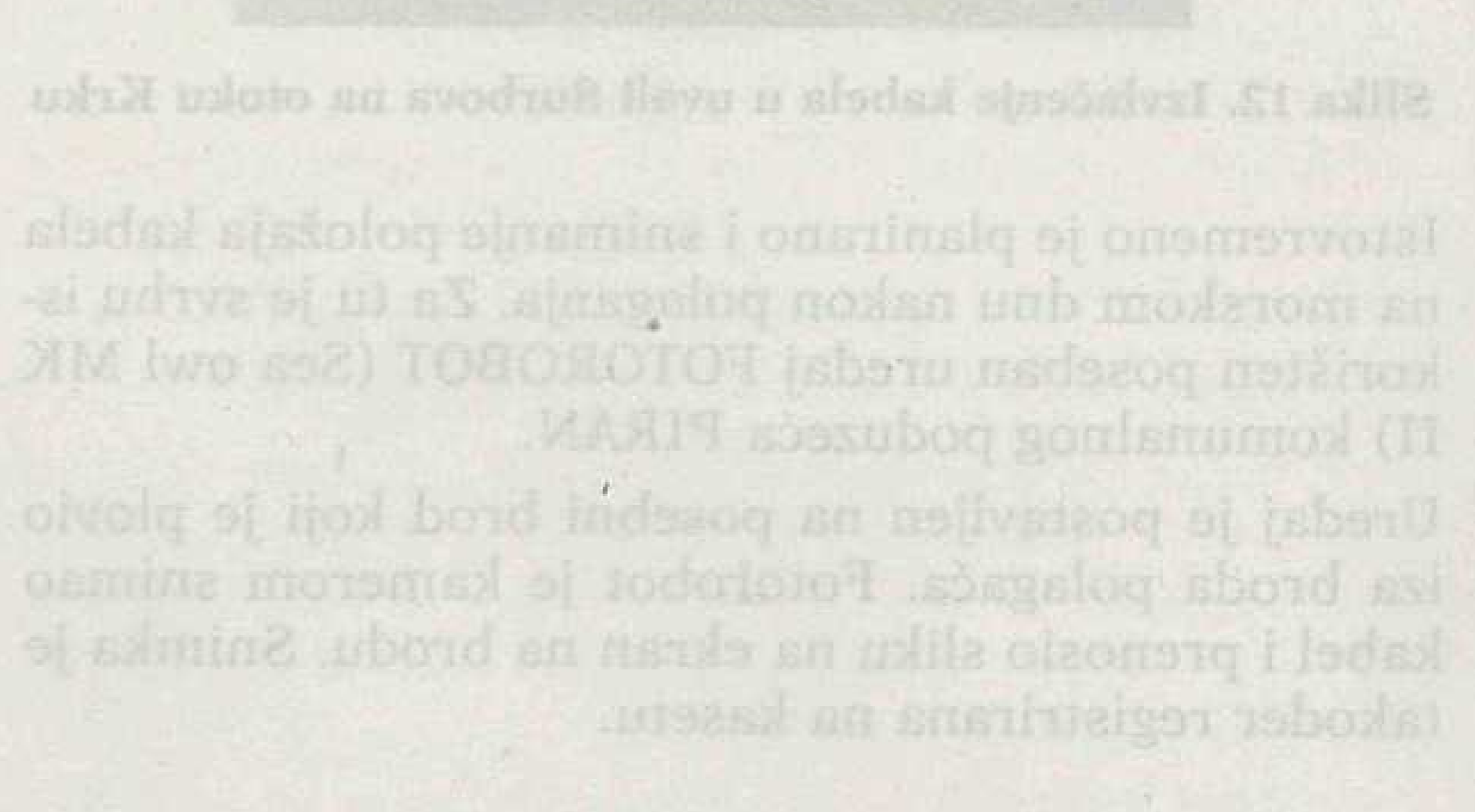
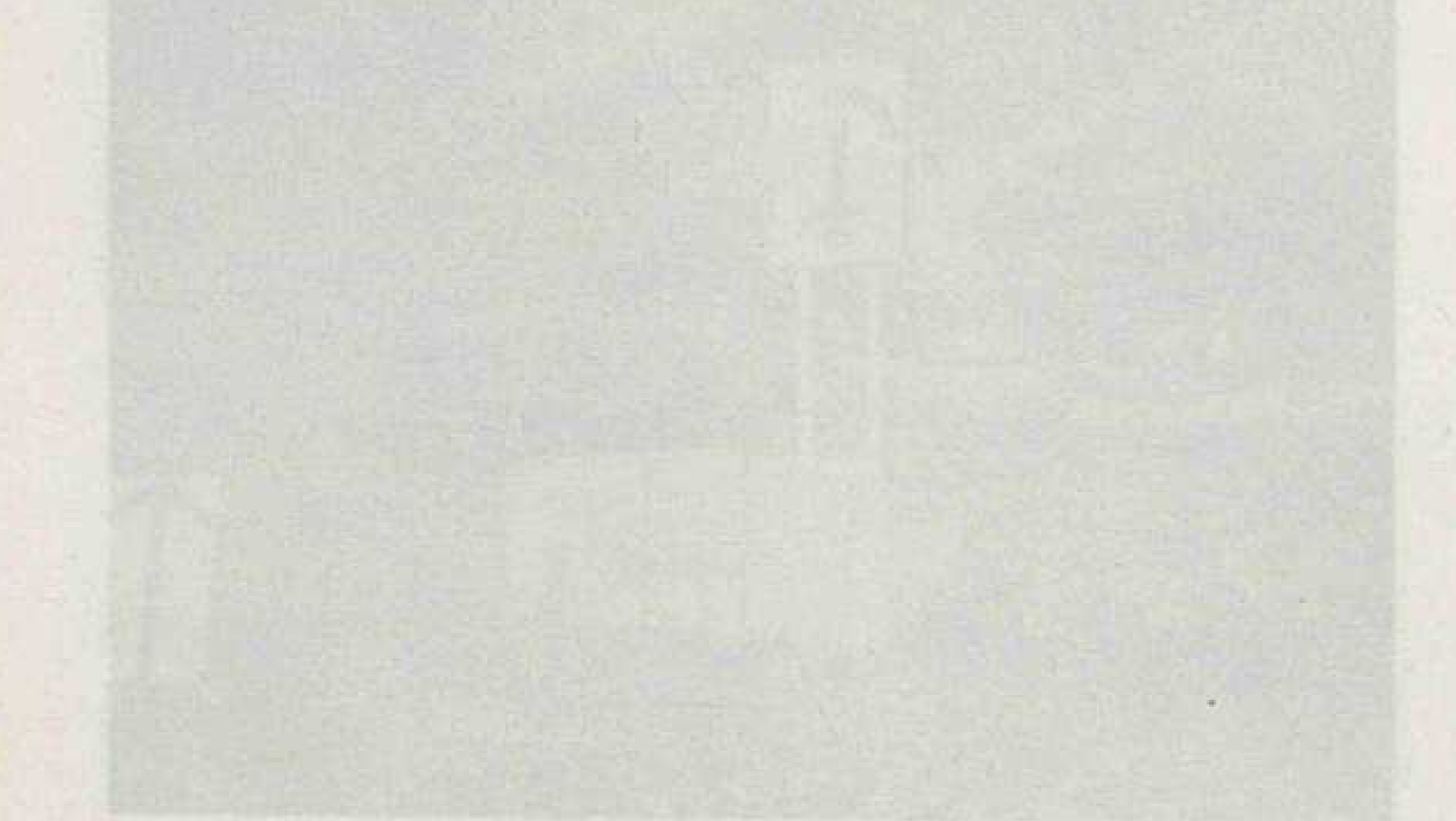
**КАБЕЛЬНАЯ СВЯЗЬ 110 КВ ОСТРОВОВ КРК И РАБ**

Описан выбор трассы, выбор поставщика кабеля, технические данные о кабеле, защита кабеля, испытания кабеля и транспорт, монтажа и выполнение сооружения.

Naslov pisaca:

**Petar Čerina, dipl. inž.**  
**Elektroprivreda Dalmacije, 58000**  
**Split, Radničko šet. 42,**  
**Jugoslavija**  
**Bruno Šaina, dipl. inž.**  
**Elektroprivreda Rijeka, 51000**  
**Rijeka, Kružna 8, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-04-01



Blizina 14. Zrak zadržuje sidrenja na otoku Krku

stakločinama STK predložene sve instalacije i na  
 pravljen zapinjak o privremenom preuzimanju (ka-  
 prema se primjenjuje radi nakon isteka garantnog  
 roka).

Nakon toga izvedeni su ostali radovi povezivanja ka-  
 bela sa vlačnim vodom, spajanje zračnog voda na po-  
 stojeće 35 kV-ine delokovode itd.

Krajem prosinca 1987. godine kabl otok Krk — otok  
 Rab pušten je u rad pod 35 kV-tni napon.

Blizina 15. Izvedbene kabela u uvjetu radova na otoku Krku

izvođenno je planirano i snimanje položaja kabela  
 na morskom dnu nakon polaganja. Za tu je svrhu is-  
 korišten poseban uređaj FOTOROBOT (Sea owl MK  
 II) komunalnog poduzeća PIRAN.

Uređaj je postavljen na posebni brod koji je platio  
 iz broda polagača. Fotorobot je kamerom snimao  
 kabl i prenosio sliku na ekran na brodu. Snimka je  
 također registrirana na kasetu.

Priloge	Rezultati ispitivanja	Granični rezultati prema IEC	Rezultati ispitivanja
1. mjerne debljine olovne glasa	3.98 mm	3.9 mm	3.9 mm
2. mjerne debljine izolacije	8.22 mm	8.2 mm	8.2 mm
3. mjerne kapaciteta	0.312 uF/km	0.326 uF/km	0.326 uF/km
4. kut dielektričnog gubitka	$19.6 \times 10^{-4}$	$17.0 \times 10^{-4}$	$17.0 \times 10^{-4}$
5. mjerne otpora vodljiv	1.1953 oma	1.1135 oma	1.1135 oma
6. visokonaponsko ispitivanje istosmjernim naponom	radovojno	U = 330 kV t = 15 min	U = 330 kV t = 15 min

# NAŠE PRVE JAVNE ELEKTRANE

Boris Markovčić, Zagreb

UDK 621.311 (497.13)

STRUČNI RAD

U članku se iznose komparativni podaci o počecima javne elektrifikacije kod nas, a posebna je pažnja posvećena raščišćavanju kronologije prve industrijske elektrane u Hrvatskoj.

**Ključne riječi:** povijest elektrifikacije, prve elektrane.

Upravo smo u toku razdoblja stotih obljetnica različitih velikih dostignuća i događaja na polju elektrotehnike i elektrifikacije u svijetu, a zatim i u nas. Prijetimo se da je npr. 1882. godine u New Yorku prozradila prva javna elektrana prema Edisonovoj zamisli, godine 1884. puštena je u rad prva javna elektrana u Njemačkoj, a iste je godine Steyer u Austriji bio prvi evropski grad koji je dobio, kao atrakciju, javnu električnu rasvjetu. I tako redom.

Dva osnovna Teslina patentna, povezana s razvojem elektrifikacije — onaj o indukcionom motoru i polifaznom sistemu prijenosa električne energije, predani su u jesen 1887, a potvrđeni u proljeće 1888. Nakon potvrde patenata Tesla je u društvu američkih inženjera održao svoje čuveno predavanje koje je živo zainteresiralo stručnjake cijelog svijeta. Time je dan snažan poticaj razvoju i primjeni polifaznoga izmjeničnog sistema, osnove današnje elektrifikacije. Upravo u povodu stogodišnjice elektrifikacije u svijetu elektroprivredne radne organizacije Hrvatske izdaju knjigu Razvoj elektrifikacije Hrvatske, u kojoj je prikupljena građa o počecima i razvoju elektrifikacije u svim krajevima današnje SR Hrvatske. Premda su u knjizi obuhvaćena električna postrojenja od prvih početaka, za koji se na bilo koji način saznalo i našao im se trag, nigdje nije posebno istaknuto koje je bilo baš prvo takvo postojanje u nas. Često se, međutim, nalazi podatak da je to industrijska elektrana u Dugoj Resi iz 1884. godine.

Jedan od najvažnijih izvora podataka o prijeratnim elektranama svakako je Statistika električnih centrala Jugoslavije, sa stanjem u srpnju 1932, izdanje Saveza električnih centrala Savske Banovine. Između ostalih vrijednih podataka za svaku je elektranu, industrijsku ili javnu (od 15 kW naviše), naznačena godina puštanja u rad i godina njezina proširenja. Ti su podaci obilno iskorišteni u različitim poslijeratnim publikacijama, uključivši i spomenutu knjigu o elektrifikaciji Hrvatske.

Od svih električnih centrala na području Jugoslavije u toj ih je statistici navedeno više od 950. Najstariji su datumi osnivanja elektrana u Cinkarni Celje, 1875;

Pamučnoj industriji Duga Resa, 1884. i Mlinskoj industriji »Cereale« u Đakovu, 1885.

Iz nekih se arhivskih podataka može naslutiti da je na parni stroj pilane u Belišću možda već 1884. godine priključen električni generator. No kako o tome nema detaljnih podataka, ta je godina nepouzdana. Daljnjim se istraživanjima, međutim, pokazalo da su u spomenutoj Statistici godine navedene za prve naše industrijske elektrane zapravo godine osnivanja poduzeća, a ne početka uvođenja električne struje. Kad govorimo o prvim industrijskim elektranama, potrebno je istaknuti o kakvom je postrojenju zapravo riječ. U tim prvim tvorničkim pogonima koji su uveli električnu struju nisu izgrađene industrijske elektrane u današnjem smislu. Na postojeću je transmisiju, pokretanu parnim strojem ili vodenim kolum, priključen manji istosmjerni generator. Tako je uz tvorničke radne strojeve pokretan i dinamo, u prvo vrijeme samo za potrebe rasvjete.

O toliko spominjanoj prvoj elektrani u Hrvatskoj dobivena su vrlo zanimljiva razjašnjenja u povodu proslave 100. godišnjice osnivanja Pamučne industrije Duga Resa (1984). Tada je detaljno istražen razvoj poduzeća, pa i izvora energije za njezin pogon i rasvjetu.

Prema podacima dugogodišnjeg rukovodioca elektrane tvornice (dipl. inž. Milivoja Perušića) razvoj je kronološki tekao ovako:

1884. god. Mlinsko kolo bivšeg vlasnika mlina inspirira trgovca Josipa Jeruzalema da kupi vodenicu i osnuje tekstilni pogon.

1886. god. Vlasnici — trgovci Josip Jeruzalem, Vilim Aninger i Sigmund Mendel osnivaju »Dioničko društvo domaće tvornice predenja i tkanja« u Dugoj Resi.

Sve veća potražnja proizvoda te tvornice diktirala je proširenje pojedinih odjeljenja predionice i tkaonice, a paralelno s time i energetske uređaje za pokretanje strojeva.

1886. god. Tvornička postrojenja pokreću dvije vodene turbine snage od 150 KS. Međutim,

kolebljivost vodostaja prisiljava poduzeće da izgradi toplinska postrojenja radi kontinuirane opskrbe energijom.

1888. god. Gradi se kotlovnica i montira parni stroj snage 400 KS. Snaga se prenosi užetom.
1889. god. Izbio je požar u predionici i ona je izgorjela. Vjerojatno zbog petrolejske rasvjete.
1890. god. Obnavlja se predionički strojni park sa 12 063 vretena.
1893. god. Montira se parni stroj 120 KS u predionici i tada se na nj priključuju četiri dinama za električnu rasvjetu u lučnim svjetiljkama.
1895. god. Kotlovnica dobiva posebni kotlovski uređaj i parni stroj snage 500 KS.
1896. god. Ugrađena je i treća vodna turbina. Prema tome, dotadašnji su pogonski uređaji bili smješteni na različitim dijelovima tvornice.
- Predionica radi sa dva parna stroja (400 + 120 KS) i tri vodne turbine.
- Tkaonicu opskrbljuje poseban parni stroj snage 500 KS. Ta su postrojenja na prijenos užetima pokretala proizvodne strojeve.
- Tvornica se dalje proširuje sve do danas.

Iz iznesenih podataka ni po čemu se ne može razabrati da je tvornica električki rasvijetljena odmah pri osnivanju, 1884. godine. Siguran podatak o elektrifikaciji datira tek od 1893. godine.

Čini se da je električnu rasvjetu u Hrvatskoj prva uvela šumska industrija u Slavoniji, no pouzdanih podataka o tome, kako je već rečeno, nema. Pouzdan je, međutim podatak da je 1890. godine u Rijeci izgrađena elektrana s parnim strojem 40 KS za rasvjetu nove željezničke stanice i lučkih postrojenja. Izgradnja malih kućnih centrala u pojedinim reprezentativnim zgradama počela je također vrlo rano. Takvu je elektranu dobila streljana u Tuškancu u Zagrebu već 1882, a novo kazalište u Rijeci 1885. godine. No priključak dinama na transmisije industrijskih pogona i male kućne centrale još uvijek ne znače javnu elektrifikaciju već samo praktični, ali ograničeni prodor električne energije. Prve elektrane koje su u Hrvatskoj napajale javnu mrežu s priključenim potrošačima i javnom rasvjetom a proradile su još u prošlom stoljeću su sljedeće:

- |              |       |          |
|--------------|-------|----------|
| 1. listopada | 1893. | Čakovec  |
| 16. lipnja   | 1894. | Bakar    |
| 28. kolovoza | 1895. | Šibenik  |
| 15. prosinca | 1895. | Varaždin |
| 2. rujna     | 1897. | Rijeka.  |

Premda je u svih pet slučajeva riječ o javnoj opskrbi gradova, ipak svaka od tih elektrifikacija ima svoje specifičnosti.

U Čakovcu nije sagrađena posebna elektrana već je vlasnik mlina priključio generator na mlinski parni stroj. S gradom je ugovorio održavanje javne rasvjete i napajanje privatnih potrošača. Gradska uprava u Bakru, pomognuta bankovnim zajmom, izgradila je svoju malu hidroelektranu s pomoćnim parnim stro-

jem (generator 6,5 kW) i samostalno provela elektrifikaciju svoga grada. Prema tome, to je, iako malo, prvo naše komunalno elektroprivredno poduzeće. Šibenik je dobio električnu energiju od privatnog koncesionara, vlasnika hidroelektrane na rijeci Krki, i to najprije za potrebe javne rasvjete. Građani su počeli dobivati prve priključke tek četiri godine kasnije.

U Varaždinu je grad dao koncesiju za elektrifikaciju domaćemu dioničkom društvu koje je izgradilo termoelektranu s parnim strojevima, provelo rasvjetu ulica, a zatim počelo priključivati privatne potrošače. Premda je u Rijeci već 1890. elektrificirana željeznička stanica i lučka postrojenja, prva javna elektrana široke namjene izgrađena je 1897. Tada je također počela gradnja visokonaponske gradske distributivne mreže.

Kako je današnje područje SR Hrvatske, a i najveći dio Jugoslavije tada bio u sklopu Austro-Ugarske Monarhije, zgodno se radi usporebe prisjetiti početka elektrifikacije u bivšoj carevini. Prvo mjesto koje je dobilo električnu javnu rasvjetu bio je Scheibbs u Donjoj Austriji 1886, što je tri godine prije carskog Beča. Struju je davao istosmjerni generator — dinamo 80 PS na rijeci Erlauf. Ta 100. godišnjica prve javne elektrane, a ujedno i prve hidroelektrane u susjednoj je Austriji 1986. godine vrlo svečano proslavljena.

U mnogim područjima današnje Jugoslavije javna je elektrifikacija počela također još krajem prošlog stoljeća. Pritom svakako valja spomenuti Beograd, u kojemu je javna elektrana proradila 1893. god. Tako ranu elektrifikaciju Beograd može zahvaliti dvjema okolnostima: nije imao plina i nije bio opterećen nikakvim obavezama i koncesijama prema plinari, a, osim toga, imao je uglednog profesora Đ.M. Stanojevića koji se svim svojim autoritetom založio za uvođenje elektrike umjesto plina kao alternative.

Krajem stoljeća u Srbiji su proradile i javne elektrane HE Đetina (1899), koja je osvijetlila Užice, i HF Gradec (1899), za potrebe Valjeva.

U Vojvodini su elektrificirani gradovi: 1895. Senta i Veliki Bečkerek (danas Zrenjanin), 1896. Subotica, a 1897. Vršac.

U Sloveniji je Škofja Loka 1894. bilo prvo mjesto koje je imalo javnu elektranu i dobilo elektriku za više domaćinstava i javnu rasvjetu. Zatim je sagrađena Mesna elektrana u Kočevju 1896. To je bilo prvo mjesto u Sloveniji u kojem je općina preuzela brigu o elektrifikaciji. Glavni grad Slovenije, Ljubljana, dobio je električnu energiju 1. siječnja 1898. iz vlastite termoelektrane s parnim strojevima.

U Bosni i Hercegovini prvu je javnu elektranu dobilo Sarajevo 1895. Termoelektrana s ugrađenim parnim strojevima bila je vlasništvo općine. Do kraja stoljeća javna je elektrana izgrađena u Banjoj Luci 1899. godine.

Prema povijesnom pregledu, početke elektrifikacije u nas možemo podijeliti u tri etape.

U prvoj, sedamdesetih godina prošlog stoljeća, izvedene su samo demonstracije električne rasvjete, npr. ona 1877. u Zagrebu, na uglu Illice i Gundulićeve ulice, i u Beogradu, u Kavani »Hamburg« 1880. godine.

U drugoj etapi, početkom osamdesetih godina, počela je ugradnja malih agregata za rasvjetu javnih i reprezentativnih prostorija te ugradnja generatora za rasvjetu industrijskih pogona. To je trajalo približno desetak godina.

Javna elektrifikacija u pravom smislu riječi započela je tek početkom devedesetih godina prošlog stoljeća. Uspoređujući je s tadašnjim razvojem elektroenergetike u svijetu, možemo zaključiti da nismo bili daleko od aktualnih tokova. Dok su datumi početka rada naših prvih javnih elektrana dobro poznati, početak uvođenja elektrike u industrijske pogone nije točno razjašnjen. Može se pretpostaviti da je taj proces počeo oko sredine osamdesetih godina. Opisani slučaj s tvornicom u Dugoj Resi jasno dokazuje nepouzdanost podataka. Možda će se daljim istraživanjima i to pitanje bolje razjasniti.

#### OUR FIRST PUBLIC POWER PLANTS

In the paper are presented comparative data about our first steps in electrification with special attention to the chronology of first industry power plant in SR Croatia.

#### DIE ERSTEN ÖFFENTLICHEN KRAFTWERKE BEI UNS

Im Artikel spricht man über die Anfänge der öffentlichen Stromversorgung bei uns. Besondere Aufmerksamkeit gilt der Chronologie des ersten Industrie — Kraftwerkes in Kroatien.

#### НАШИ ПЕРВЫЕ ОБЩЕСТВЕННЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

В статье приводятся сравнительные данные о началах у нас общественной электрификации, причем особое внимание уделяется выяснению хронологии первой промышленной электростанции в Хорватии.

Naslov pisca:

**Boris Markovčić, dipl. inž.**  
41000 Zagreb, Vojnovićeva 26,  
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis  
1988-04-01



**ELEKTROPRIVREDA ZAGREB**

**OUR Elektroprenos**

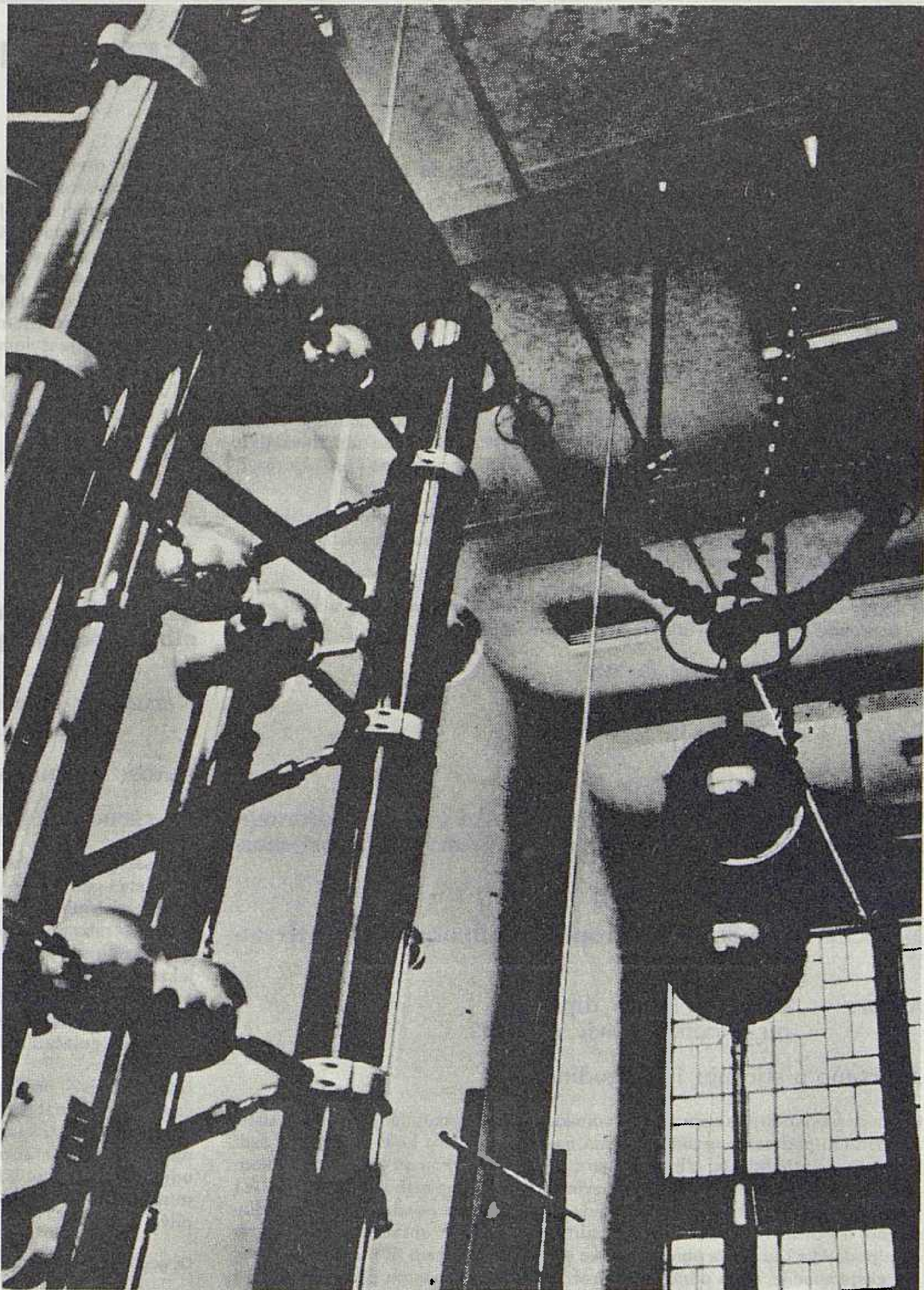
**ZAGREB**

Obavlja u okviru svoje osnovne djelatnosti:

prijenos električne energije, izrađuje studije, razvoj i projektiranje, izgradnju i nadzor izgradnje elektroprijenosnih postrojenja i telekomunikacionih uređaja

---

**OUR ELEKTROPRENOS - ZAGREB**  
Proleterskih brigada 37 - Tel.: 513-822 i 511-455



## RAD INSTITUTA ZA ELEKTROPRIVREDU U 1987. GODINI

Institut za elektroprivredu u Zagrebu osnovan je sa zadatkom da znanstveno obrađuje probleme razvoja elektroprivrede i ostale energetike, i u tom području djeluje već tridesetpet godina.

Svojim razvojem i afirmacijom Institut je postao nosilac obrade važnih problema hrvatske i jugoslavenske elektroprivrede i energetike uopće. Naročito valja istaknuti aktivnost Instituta na znanstvenim istraživanjima metoda bilanciranja energetskih sistema uspoređivanjem vrijednosti elektrana, stalni rad na studiji perspektivnog razvoja jugoslavenske mreže visokog i najvišeg napona, te rad na analizi potrošnje i drugim problemima razvoja razdjelnih mreža.

Osim rada na užoj problematici razvoja elektroenergetskog sistema, razvio se rad na tehnološkim elementima termoenergetike, te u tehnici visokog napona. U pojedinim specijalnostima ovih područja Institut je vodeća ustanova u zemlji. Posljednjih godina ubrzano se razvija i studij nuklearne energetike.

Suradnici Instituta su također i priznati stručnjaci izvan Instituta, među kojima je i nekoliko istaknutih sveučilišnih profesora.

Znanstveno istraživački rad se obavlja, prema unutar-njoj organizaciji, u nekoliko posebnih grupa, od kojih svaka ima svoj zaokruženi djelokrug rada:

Studijska radna jedinica za elektroenergetske sisteme i ekonomsku problematiku

Studijska radna jedinica za razdjelne, visokonaponske, n. n. mreže i za projektiranje

Studijska radna jedinica za termoenergetske sisteme  
Zavod za visoki napon i prijenosne mreže

Studijska radna jedinica za hidrotehničke sisteme.

U daljnjem tekstu prikazani su važniji radovi iz djelovanja ovih grupa u 1987. godini.

## STUDIJ ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA

### Predviđanje potrošnje električne energije za nekoliko tjedana unaprijed

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autor: mr. Mićo Klepo, dipl. inž.

Završeno u ožuku 1987. godine.

Prema razrađenoj metodi, izrađen je program za elektroničko računalo. U programu su ugrađeni elementi koji omogućuju korisniku aktivno sudjelovanje u svim važnim obradama, izborima načina izvršavanja, proračuna i prikaza rezultata predviđanja. Program obuhvaća i podržava:

- sezonske (tjedne) promjene potrošnje »očišćene« od klimatskog utjecaja
- cikličke promjene radnih aktivnosti po danima u tjednu, te reakcije dnevnih potrošnji na promjene srednjih dnevnih temperatura
- utjecaje praznika na potrošnju
- predviđanja dnevnih potrošnji za različita vremenska razdoblja u toku godine uz odgovarajuće krivulje trajanja opterećenja.

Opseg: 45 stranica, 22 tablice, 10 slika.

### Utvrđivanje tehno-ekonomskih podataka u svrhu planiranja razvoja i eksploatacije, te održavanja proizvodnih i prijenosnih postrojenja

Naručila: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autor: mr. Mićo Klepo, dipl. inž.  
mr. Branka Jelavić, dipl. inž.

Završeno u siječnju 1987. godine.

Ovom je predstudijom napravljena snimka stanja u prikupljanju, obradi i sistematiziranju podataka, te aktivnostima na tom području koje se provode radi postavljanja zajedničkog cilja i usmjerenja svih aktivnosti tom zajedničkom cilju. Uz detaljno snimanje stanja na svim nivoima i kod svih sudionika dan je i prijedlog daljnjih aktivnosti i rokova da bi se postigao zajednički cilj, tj. jedinstveno, organizacijski suvremeno i kvalitetno prikupili i obradili podaci. Razradom podataka i funkcija obuhvaćeni su svi elementi vezani za planiranje razvoja i eksploatacije, te za održavanje proizvodnih i prijenosnih postrojenja, ali i određeni broj drugih srodnih elemenata.

Opseg: 101 stranica, 5 slika.

### Analiza potrošnje energije u domaćinstvima

Naručilac: Republički komitet za energetiku, industriju, rudarstvo i zanatstvo, Zagreb i Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: mr. Jakša Topić, dipl. inž.  
mr. Damir Pešut, dipl. inž.  
mr. Luka Staničić, dipl. ek.  
Ivan Šimurina, inž.

Završeno u kolovozu 1987. godine.

Dosadašnje analize potrošnje energije u Jugoslaviji i SR Hrvatskoj, bazirane na najpouzdanijim pokazateljima, upozoravaju na to da potrošnja nije racionalna, da je neusklađena s materijalnim mogućnostima zemlje i da, naročito u jednom sektoru potrošnje — domaćinstvima, postoji mogućnost smanjenja potrošnje energije.

S obzirom na to da te tvrdnje nisu temeljnene na sveobuhvatnim analizama ni u energetske ni u ekonomskom smislu, u prvom dijelu rada provedena je usporedba klasičnih pokazatelja potrošnje ukupne finalne energije i energije u petnaest odabranih zemalja. Uspoređena je dinamika razvoja potrošnje prema pojedinim energentima, potrošnje energije po jedinici društvenog proizvoda i po stanovniku, kao i cijene energenata po jedinici energije za domaćinstva.

Kritičkim osvrtom na najčešći pokazatelj efikasnosti upotrebe energije neke zemlje, potrošnji po jedinici društvenog proizvoda, upozoreno je da je to isuviše čvrst pokazatelj te da je mnogo bolje provesti uspoređivanje na temelju vrijednosti ostvarenoga društvenog proizvoda po stanovniku i potrošnji finalne energije po stanovniku.

U drugom je dijelu novim modelskim pristupom, koji polazi od korisnih toplinskih potreba (za grijanje prostora, kuhanje i pripremu tople vode) i potreba za električnom energijom za netoplinske svrhe, provedena analiza kretanja potrošnje energije u domaćinstvima SR Hrvatske, kao i razina korištenja pojedinog oblika energije za toplinske i netoplinske svrhe. Također je prikazan utjecaj odnosa cijena na promjenu strukture energenata u zadovoljavanju toplinskih potreba domaćinstava u SR Hrvatskoj.

Opseg: 81 stranica teksta, 32 tablice, 29 slika, PRILOG A, B i C.

### Zajedničko planiranje razvoja prijenosne mreže i proizvodnih postrojenja (predstudija)

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autor: mr. Jakša Topić, dipl. inž.

Završeno u veljači 1987. godine.

U dosadašnjoj su praksi istraživanja problema planiranja gradnje proizvodnih objekata i planiranja gradnje prijenosne mreže tekla paralelno, kao istraživanja dviju neovisnih cjelina. Međutim, zbog zajedničke prirode problema — zadovoljenja potreba potrošača za električnom energijom i sve većeg udjela investicijskih troškova u prijenosnu mrežu u nekim varijantama gradnje proizvodnih objekata nameće se potreba za zajedničkim planiranjem razvoja proizvodnih i prijenosnih objekata odnosno za stvaranjem modela kojim bi se na znanstvenoj osnovi utvrdilo kada, gdje i kakvim elementima (proizvodnim ili prijenosnim) valja pojačati EES za utvrđeni nivo operativnosti i sigurnosti, uz minimalne troškove.

U ovom radu — predstudiji, koja je imala zadatka da predloži program istraživanja na tom makroprojektru, opisana su tri pristupa rješenju tog problema u inozemnih institucijama. Definiran je metodološki pristup i kriteriji za stvaranje vlastitog programskog paketa uzimajući u obzir dosada postignute rezultate odnosno razvijene ili modele instalirane u našoj zemlji. Utvrđene su faze i terminski plan istraživanja da bi programski paket bio što brže operativno primjenjiv.

Opseg: 49 stranica teksta, 1 tablica, 7 slika.

### Efikasnost korištenja energije u industriji

Naručilac: Republički komitet za energetiku, industriju, rudarstvo i zanatstvo, Zagreb  
Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb  
SIZ potrošača električne energije Hrvatske, Zagreb

Autori: mr. Branko Vuk, dipl. inž.  
Nikola Bilčar, dipl. inž.  
Ivan Šimurina, inž.

Završeno u travnju 1987. godine.

Efikasnost korištenja energije u industriji SR Hrvatske analizirana je na temelju specifične potrošnje energije po jedinici društvenog proizvoda i na temelju specifične potrošnje energije po prirodnoj jedinici izabranih proizvoda. Da bi se odredila energija potrebna za proizvodnju izabranih predmeta, iz svake je industrijske grane izabrano nekoliko pogona i određena neposredna potrošnje energije u konačnoj proizvodnji po odgovarajućoj jedinici promatranog proizvoda. Uočeno je da se za ostvarenje jedinice društvenog proizvoda u nas troši više energije u odnosu prema razvijenim zapadnoevropskim zemljama, dok je specifična potrošnja energije po prirodnoj jedinici proizvoda približno na zapadnoevropskom nivou.

Opseg: 122 stranice, 77 tablica, 33 slike.

**Tjedne karakteristike potrošnje električne energije za razdoblje 1985 – 1986. godine.**

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autor: Mladen Zeljko, dipl. inž.

Završeno u listopadu 1987. godine.

Poznavanje karakteristika potrošnje električne energije vrlo je važna ne samo za eksploataciju, nego i za planiranje izgradnje EES-a. U Institutu se tom problemu već dulje pridaje velika pažnja. Za razdoblje od 1974. do 1986. godine prikupljeni su i u računalu pohranjeni podaci o srednjim satnim opterećenjima EES-a Hrvatske. Svake dvije do tri godine obrađuju se karakteristike potrošnje u EES-u Hrvatske. Pritom se posljednje dvije do tri godine uvijek obrade detaljno, a pregled najvažnijih karakteristika potrošnje daje se za cijelo razdoblje otkada postoje podaci, dakle od 1974. godine. Tako je i ova studija detaljno obradila tjedne karakteristike potrošnje za 1985. i 1986. godinu i dala pregled najvažnijih parametara krivulje trajanja opterećenja za razdoblje od 1974. do 1986. godine.

Opseg: 24 stranice, 19 tablica, 8 slika.

**Politika punjenja i pražnjenja akumulacijskih bazena za godišnja planiranja i u manjim vremenskim razmacima za potrebe eksploatacije EES-a (II. dio)**

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autor: Mladen Zeljko, dipl. inž.

Završeno u listopadu 1987. godine.

U studiji je razradena metoda iskorištavanja akumulacijskih bazena u eksploataciji EES-a. Prema toj metodi svi su hidrološki slučajevi, predloženi dvama reprezentativnima, od kojih je jedan nazvan redovitim, a drugi izvanrednim. Rezultat takvog tretmana hidrologije jest pojas poželjnih stanja, koji služi kao orijent u dinamici punjenja i pražnjenja akumulacijskih bazena. Cilj je da se stanja što dulje zadržavaju unutar granica pojasa poželjnih stanja. Kao dodatni kriterij uključeno je ekonomsko vrednovanje hidroenergije iz akumulacijskih bazena. Određujući jediničnu cijenu energije iz akumulacija i uspoređujući je s cijenom iz vlastitih termoelektrana ili s ciljem nabavne energije iz drugih EES-a, donosi se odluka o punjenju ili pražnjenju akumulacija.

Opseg: 41 stranica, 12 tablica, 14 slika.

**Energetsko-ekonomska valorizacija NE Prevlaka u EES i usporedba s alternativnim rješenjima**

Naručilac: ZEOH — Radna grupa za NE Prevlaka

Autori: Nikola Bilčar, dipl. inž.  
mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.  
mr. Damir Pešut, dipl. inž.  
Neda Komerički, ek.

Završeno u rujnu 1987. godine.

U sklopu evaluacije ponuda za NE Prevlaku i seriju obavljeno je valoriziranje učinaka nuklearne elektrane u elektroenergetskom sistemu. Analiza je obuhvatila usporedbu s više alternativnih rješenja različitih jediničnih snaga te različitim cijenama goriva. Proračun je napravljen s aktualiziranim troškovima i investicijama.

Rezultati studije pokazali su odnose među različitim rješenjima i promjenu tih odnosa s promjenom ulaznih parametara. Iz rezultata se mogu pronaći granične vrijednosti povoljne gradnje svakog rješenja. Upozoreno je i na nove probleme i ograničenja koja se javljaju pri takvim analizama.

Opseg: 42 stranice, 12 tablica.

**Analiza mogućnosti razvoja elektroprivrede SRH do 2000. godine s osvrtom na 2010. godinu.**

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: Nikola Bilčar, dipl. inž.  
mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.  
mr. Slavko Alerić, dipl. inž.  
mr. Luka Staničić, dipl. ek.  
Neda Komerički, ek.  
Josip Bunjevčević, teh.  
Ivica Posavec, teh.

Završeno u lipnju 1987. godine.

U studiji je realno sagledano postojeće stanje elektroenergetskog sistema i prema izvršenih za njegov neposredan razvoj. Utvrđeni su realni izgledi za urednu opskrbu potrošača u planiranom razvoju potrošnje električne energije u Hrvatskoj, s osvrtom na sve izvore primarne energije koji dolaze u obzir za proizvodnju elektrine energije u toj fazi razvoja, a donijeta je i ocjena mogućnosti gradnje.

Osnovno polazište u elektroprivredi Hrvatske mora biti minimum troškova u elektroenergetskom sistemu, što razumijeva poštovanje tržišnih i ekonomskih zakonitosti. U skladu s tim treba izboriti mogućnost orijentacije na domaći ugljen, ali ravnopravno i na uvozni i na nuklearne elektrane, i to isključivo u funkciji minimalnih troškova, a nikako zabrana. Pripremi hidroelektrana treba pristupiti sistematično i organizirano u skladu s njihovim položajem u prikazanim planovima razvoja. Uz kritičku analizu prethodnog razdoblja dograđena je struktura gradnje proizvodnih postrojenja i dan prijedlog programa potrebnih aktivnosti za realizaciju plana razvoja elektroprivrede SRH.

Opseg: 132 stranice, 25 tablica i 8 slika.

**Izbor veličine izgradnje i broja agregata u HE Tisne stine**

Naručitelj: Elektroprivreda Dalmacije, Split

Autori: mr. Slavko Alerić, dipl. inž.  
Nikola Bilčar, dipl. inž.  
Neda Komerički, ek.  
Ivica Posavec, teh.

Završeno u siječnju 1987. godine.

Sveobuhvatnom analizom prilika u elektroenergetskom sistemu Hrvatske, za razinu potrošnje u 1992. i 2000. godini, određena je najpovoljnija veličina izgradnje HE Tisne stine na rijeci Cetini, koja iznosi 12 m<sup>3</sup>/s. Nakon odabrane veličine granje, logičan je korak izbor broja proizvodnih grupa (broj agregata). Na nov i suvremen pristup tom problemu, uzimajući u obzir investicijska ulaganja i energetske efekte, prikladnim su energetske-ekonomskim algoritmom odabrane dvije proizvodne grupe (2 × 6 m<sup>3</sup>/s.)

Opseg: 39 stranica teksta i 14 slika.

**Kontrola veličine izgradnje VES Lučica**

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb

Autori: mr. Slavko Alerić, dipl. inž.  
Nikola Bilčar, dipl. inž.  
Neda Komerički, ek.  
Ivica Posavec, teh.

Završeno u siječnju 1987. godine.

U studiji je proveden proračun moguće proizvodnje s različitim trajanjem osnovne vremenske jedinice — dana, tjedna i mjeseca. Proračun nije proveden sa standardnim nizom hidroloških podataka 1926 — 1985. Rezultati analize pokazuju da s povećanjem osnovne vremenske jedinice raste i moguća proizvodnja. Tako izračunata moguća proizvodnja poslužiti će za provjeru veličine izgradnje VES Lučica.

Opseg: 22 stranice teksta i 5 slika.

**Energetska obrada i ekonomski pokazatelji HE Tisne stine**

Naručilac: Elektroprivreda Dalmacije, OOUR Projektni biro Split

Autori: mr. Slavko Alerić, dipl. inž.  
Nikola Bilčar, dipl. inž.

mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.  
mr. Luka Staničić, dipl. ek.  
Neda Komerički, ek.  
Ivica Posavec, teh.

Završeno u lipnju 1987. godine.

Elaborat je sastavni dio Idejnog projekta HE Tisne stine. Naime, nakon izbora veličine gradnje i broja agregata potrebno je temeljito odrediti troškove takve gradnje. Nakon toga potrebno je tu hidroelektranu promotriti u elektroenergetskom sistemu, da se odrede njezini energetske-ekonomski efekti. Na kraju je potrebno provesti i ekonomsku analizu kojom se, uz uvažavanje investicija i uvjeta financiranja, određuje proizvodna cijena elektrane i troškovna kvota.

Opseg: 19 stranica teksta, 24 tablice i 6 slika.

## Provjera veličine izgradnje HE Lešće

Naručitelj: Elektroprivreda Zagreb

Autori: mr. Slavko Alerić, dipl. inž.  
mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.  
Neda Komerički, ek.

Završeno u listopadu 1987. godine.

Na temelju moguće proizvodnje koja je za ovu svrhu proračunata za dan, tjedan i mjesec, te na osnovi investicijskih ulaganja za 120 m<sup>3</sup>/s, dobivenih od naručitelja, provedena je energetske-ekonomska analiza veličine izgradnje za 100 i 120 m<sup>3</sup>/s. Budući da su investicijska ulaganja približno 3% veća za veličinu gradnje 120 m<sup>3</sup>/s nego za 100 m<sup>3</sup>/s, analiza je pokazala prednost veće veličine gradnje HE Lešće.

Opseg: 15 stranica teksta, 6 tablica, 1 slika i jedan prilog.

# STUDIJ RAZDJELNIH NISKONAPONSKIH, VISOKONAPONSKIH MREŽA I PROJEKTIRANJE

## Istraživanja i izbor sistema zaštite u mreži nn i kod potrošača, s elementima za elektroenergetsku suglasnost (II. dio)

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autor: mr. B. Filipović, dipl. inž.

Studija je nastavak rada za izbor optimalnog sistema zaštite od indirektnog dodira u nn-mrežama. Analizirana je zaštita u TT-mrežama primjenom strujne zaštitne sklopke i na konkretnoj nn-mreži provedena usporedba između TN i TT sistema zaštite.

Opseg: 169 stranica sa slikama i tablicama.

## Pregled regulative iz oblasti rada pod naponom (I. dio)

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autor: mr. B. Filipović, dipl. inž.

U sklopu ugovora Pripremni radovi za uvođenje rada pod naponom, sklopljenog između ZEOH-a i Instituta, Institut je preuzeo obavezu da analizira zakonsku, gransku i samoupravnu regulativu iz područja rada pod naponom. U studiji je dan pregled aktivnosti Komiteta TC 78-IEC i Komisije KSN 78-JUS-a. Rad sadrži dosada usvojene standarde JUS-a s područja rada pod naponom.

Opseg: 144 stranice sa slikama.

## Analiza mogućih štetnih utjecaja izazvanih priključkom postrojenja tvornice električnih lokomotiva i mjere za njihovo suzbijanje

Naručilac: »Rade Končar«, Zagreb

Autori: mr. B. Filipović, dipl. inž.  
mr. Ljubo Božiković, dipl. inž.

U studiji je provedena analiza utjecaja priključka nesimetričnoga nelinearnog tereta na distributivnu 10 kV-tnu mrežu. Analizom su obuhvaćeni utjecaji nesimetrija i viših harmonika na ostale potrošače, kondenzatorske baterije i MTK. Obavljeni su proračuni nesimetrija te iznosa i tokova snaga viših harmonika u široj distributivnoj mreži »Elektre« Zagreb. Dani su prijedlozi za eliminiranje viših harmonika i sprječavanje rezonantnih pojava u mreži.

Opseg: 90 stranica sa slikama i tablicama.

## Zaštita od previsokih napona dodira u mreži »Elektrodalmacije«, s elementima za elektroenergetsku suglasnost

Naručilac: »Distribucija« Split

Autor: mr. B. Filipović, dipl. inž.

U studiji su provedena opsežna istraživanja izbora zaštitnih postupaka u nn-mreži »Distribucije« Split. Definirani su kriteriji sigurnosti i analizirani tehnički propisi. Obraden je utjecaj vn-mreže i sn-mreže na izbor sistema zaštite u nn-mrežama. Analizirane su karakteristike elemenata distributivne mreže i dani izrazi za proračun struja kratkog spoja, provedena analiza TT i TN-mreža, a na konkretnim mrežama dana analiza ekonomičnosti primjene pojedinih sistema zaštite. Definirani su ispitni postupci i mjerenja radi provjere pojedinih zaštitnih mjera.

Opseg: 484 stranice sa slikama i tablicama.

## Projektni zadatak za izradu poligona nastavno-obrazovnog centra (NOC) Velika

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autor: mr. B. Filipović, dipl. inž.

U sastavu programa uvođenja rada pod naponom u mreže ZEOH-a predviđena je izgradnja poligona za obuku. Poligon bi služio za teorijsku i praktičnu obuku radnika za rad pod naponom. U projektom je zadatku dan pregled aktivnosti i odluka Komisije za rad pod naponom, obrazloženja i podloge, sadržaji poligona za obuku, definirani su objekti infrastrukture i obradeni ostali zahtjevi nužni za projektiranje.

Opseg: 25 stranica na slikama.

## Razvoj i eksploatacija banke podataka o stanju elektrodistributivne mreže SR Hrvatske

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: Rudolf Šimunec, teh.  
Krešimir Mehičić, inž.

Završeno u prosincu 1987. godine.

Za potrebe elektrodistributivnih organizacija SR Hrvatske i ZEOH-a od 1983. godine kontinuirano se prikupljaju i u računar Instituta za elektroprivredu pohranjuju podaci iz područja fizičkih veličina postrojenja i mreže, potrošnje električne energije i vršnih opterećenja čvorišta u 35 kV-tnoj mreži. Posljednje je ažuriranje obavljeno za stanje 31. 12. 1986. god.

Paralelno s ažuriranjem stanja podataka u BP, te paralelno sa stalnim širenjem fonda podataka izraden je i niz aplikacijskih programa (npr. tokovi snaga, kratki spoj i sl.) koji uzimaju ulazne podatke direktno iz BP.

Na osnovi prikupljenih podataka i zahtjeva naručioca izrađuju se godišnji izvještaji i dostavljaju ZEOH-u i svim distributivnim OOUR-ima u SRH.

Opseg: oko 350 stranica listinga i 8 slika.

### Kompenzacija jalove snage i utjecaj viših harmonika u elektrodistributivnoj mreži grada Zagreba

(Knjiga 1: Određivanje lokacija i veličina kondenzatorskih baterija, s utvrđivanjem energetske i financijske efekata)

Naručilac: »Elektra«, Zagreb

Autor: Dasenko Baldasari, dipl. inž.  
mr. Željko Rajić, dipl. inž.

Suradnici: Krešimir Mehičić, inž.  
Rudolf Šimunec, tehn.

Završeno u prosincu 1987.

Tok jalove snage kroz električnu mrežu izaziva dodatne gubitke radne snage i energije, pogoršava naponske prilike i nepotrebno smanjuje propusnu moć elemenata mreže. U razdjelnim mrežama postoji i dodatni negativni financijski učinak koji se očituje plaćanjem prekomjerno preuzete jalove energije. To su bili i osnovni razlozi za instaliranje kondenzatorskih baterija u električnu mrežu grada Zagreba.

Da bi se kompenzacija mogla realizirati, utvrđeni su tokovi radne i jalove snage kroz mrežu i njihove vremenske promjene, a razvijen je i odgovarajući matematički postupak za određivanje veličine i mjesta ugradnje kondenzatorskih baterija, a temelji se na zahtjevu da ukupne uštede budu maksimalne.

Kako su raspoloživi podaci mjerenja bili vrlo siromašni informacijama o jaloj snazi, predložen je i realiziran opsežan program mjerenja. Na taj su način identificirana opterećenja svih 30 kV-tnih čvorova i samo nekih, reprezentativnih 10 kV-tnih čvorova jer u zagrebačkoj mreži ima više od 1 500 trafostanica 10/0,4 kV. Međutim, s obzirom na strukturu potrošnje i karakteristike elemenata mreže, analogno su procijenjena i opterećenja ostalih trafostanica 10/0,4 kV te 10 kV-tnih izvoda. Detaljno su analizirani doprinosi vodova i transformatora ukupnoj potrošnji jalovine jer je pritom i utjecaj elemenata mreže znatan.

Budući da je u električnoj mreži grada Zagreba već instalirano više od 100 MVAR kondenzatorskih baterija, studijom je predložena dodatna ugradnja 36,6 MVAR. Od toga treba u TS 30/10 kV instalirati 16,8 MVAR, a u TS 10/0,4 kV 396 baterija po 50 kVAR. Prema cijenama aktualnim 1. 5. 1987. ukupna bi investicija iznosila 697,8 · 10<sup>6</sup> dinara i isplativa je za malo više od 6 mjeseci, a vijek trajanja baterija je 10 godina. Pritome valja naglastiti da nisu uzeti u obzir efekti rastećenja mreže.

Opseg: 353 stranice sa 71 slikom, 58 tablica i listinzima.

### Izbor načina uzemljenja neutralne točke u mrežama srednjeg napona

Naručilac: Institut za elektroprivredu — Sarajevo

Autori: mr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
mr. Božidar Filipović, dipl. inž.

U studiji su detaljno istraženi kriteriji za izbor veličine otpornika za uzemljenje zvjezdišta 10(20) kV mreža — unutrašnji prenaponi pri nastanku jednofaznih kvarova i naponi uzemljivača TS 10(20)/0,4 kV. Predložena su tipska rješenja za provedbu uzemljenja zvjezdišta 10(20) kV mreža na području distribucije SR Bosne i Hercegovine.

Također je obrađen izbor sheme uzemljenja neutralne točke u TS 110/x kV i 35/x kV, a posebno je obrađena relejna zaštita u uvjetima uzemljenog zvjezdišta. Predložena su tipska rješenja za kabelaške i nadzemne mreže.

Opseg: 107 stranica sa slikama i tablicama.

### Iznošenje potencijala iz TS 110/x kV Pula-Dolinka, s osvrtom na opću koncepciju

Naručilac: »Elektroprenos« — Opatija

Autori: mr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
mr. Božidar Filipović, dipl. inž.

Suradnici: mr. Luciano Delbianco, dipl. inž.  
Duda Meštović, el. teh.

U studiji su definirani svi parametri koji utječu na visinu promatranog potencijala i napona dodira. Analizirana je mogućnost smanjivanja struja mjerodavnih za proračun potencijala. Također je detaljno obrađen utjecaj svih ostalih elemenata u sustavu uzemljenja. Predložene su smjernice za rješavanje problematike iznošenja potencijala u različitim uvjetima. Završno je provedena analiza iznošenja potencijala iz TS 110/35/10 kV »Dolinka« i TS 110/10(20) kV »Matulji«.

Opseg: 81 stranica sa slikama i tablicama.

### Provedba uzemljenja zvjezdišta distributivnih mreža napajanih iz TS 110/10 kV »Visoka«, TS 110/35/10 kV »Sučidar« i TS 35/10 kV »Dobri«

Naručilac: »Distribucija« Split

Autori: mr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
mr. Božidar Filipović, dipl. inž.

Suradnik: Duda Meštović, el. teh.

Za svaku pojnu stanicu izraden je poseban elaborat u kojemu je definirana koncepcija uzemljenja zvjezdišta 10 kV-tne mreže. Izvršeni su svi potrebni proračuni struja kratkog spoja. Analizirana je koncepcija relejne zaštite u uvjetima uzemljenog zvjezdišta. Obavljena je provjera uvjeta bezopasnosti na uzemljivačima TS 10/0,4 kV.

Svi podaci o 10 kV-tnoj mreži arhivirani su za daljnju upotrebu u tehničkoj bazi podataka Instituta za elektroprivredu.

Opseg: tri elaborata s ukupno 76 stranica i izlaznim listama računala.

### Uzemljenje zvjezdišta postrojenja buduće 10(20) kV mreže — Zadar

Naručilac: »Elektra — Zadar«

Autori: mr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
mr. Božidar Filipović, dipl. inž.

Suradnik: Duda Meštović, el. teh.

U studiji su definirani kriteriji za izbor veličine otpornika za uzemljenje zvjezdišta. Predložena su optimalna rješenja za provedbu uzemljenja zvjezdišta postojećih TS 35/10 kV »Zadar 1, 2, 3 i 4«, odnosno perspektivne TS 110/10 kV »Zadar-centar«. Izvršeni su proračuni svih potrebnih veličina u 10 kV-tnoj mreži. Obrađena je problematika relejne zaštite u uvjetima uzemljenog zvjezdišta i obavljena kontrola uzemljivača TS 10/0,4 kV.

Svi podaci o 10 kV-tnoj mreži arhivirani su za daljnu upotrebu u tehničkoj bazi podataka Instituta za elektroprivredu.

Opseg: 103 stranice sa slikama i tablicama.

### Uzemljenje zvjezdišta 10(20) kV mreže Velike Gorice

Naručilac: »Distribucija el. energije«, V. Gorica

Autori: mr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
mr. Božidar Filipović, dipl. inž.

Suradnik: Duda Meštović, el. teh.

U studiji su definirani kriteriji za izbor veličine otpornika za uzemljenje zvjezdišta. Predloženo je optimalno rješenje za provedbu uzemljenja zvjezdišta, na temelju kojega su napravljeni svi potrebni proračuni u mreži. Detaljno su obrađeni principi relejne zaštite u uvjetima uzemljenog zvjezdišta. Dan je prijedlog za dopunu postojeće opreme. Također je obavljena kontrola uzemljivača TS 10/0,4 kV.

Svi podaci o 10 kV-tnoj mreži arhivirani su za daljnu upotrebu u tehničkoj bazi podataka Instituta za elektroprivredu.

Opseg: 109 stranica sa slikama i tablicama.

**Iznošenje opasnih potencijala iz TS 110/35 — 110/20 kV »Nin«**

Naručilac: »Elektra — Zadar«

Autor: mr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.

Suradnik: mr. Milan Puharić, dipl. inž.

U studiji su definirani kriteriji što ih mora zadovoljiti sustav uzemljenja TS 110/35 — 110/20 kV »Nin«. Obavljena je analiza iznošenja potencijala i očekivanih napona dodira. Dane su konkretne smjernice za smanjivanje opasnosti od napona dodira.

Opseg: 63 stranice sa slikama i tablicama.

**Iznošenje potencijala iz TS 110/35 kV »Trogir«, te rad na priključenim kabelima**

Naručilac: »Elektra — Trogir«

Autori: mr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
Dasenko Baldasari, dipl. inž.

Suradnik: Krešimir Mehičić, inž.

U studiji je analiziran sustav uzemljenja TS 110/35 kV »Trogir«. Proračunate su visine potencijala te iznesenih potencijala u distributivnu mrežu. Predloženi su postupci za smanjenje opasnosti od navedenih potencijala, te za siguran rad na kabelskim izlazima.

Opseg: 60 stranica sa slikama i tablicama.

**Instaliranje programa »Distanz« i izrada uputa za njegovo korištenje**

Naručilac: »Elektroprenos« Opatija

Autori: mr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
mr. Božidar Filipović, dipl. inž.

U sklopu navedenog zadatka program je doraden u skladu sa zahtjevima korisnika. Omogućena je jednostavna interaktivna primjena programa na temelju izrađenih uputa. Program je instaliran na računalo korisnika.

Opseg: 31 stranica sa slikama i listama računala.

**Programski paket za proračun podešenja zaštite**

Naručilac: »Elektroprenos« Split

Autori: mr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
mr. Božidar Filipović, dipl. inž.

U elaboratu su dane upute za primjenu programa za proračun optimalnog podešenja distantne zaštite. Prikazani su test-primjeri.

Opseg: 42 stranice sa slikama i izlaznim listama računala.

**Prenaponska zaštita vodova i postrojenja u električnoj mreži »Elektrodalmacije« — OOUR »Distribucije« Split**

Naručilac: »Distribucija« Split

Autor: mr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.

Suradnik: mr. Milan Puharić, dipl. inž.

U studiji je izložena metodologija za analizu prenaponske zaštite vodova i postrojenja. Napravljen je proračun očekivanog broja ispada nadzemnih vodova »Distribucije« Split. Predložene su konkretne smjernice za izbor i tipizaciju prenaponske zaštite na promatranom području.

Opseg: 119 stranica sa slikama i tablicama.

**Program izgradnje elektroenergetskih objekata i rješenje priključaka privrednih objekata u nedovoljno razvijenim područjima u 1986. godini**

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autor: mr. Milan Puharić, dipl. inž.

Na osnovi prijava OOUR-a i OSIZ-a za financiranje elektroenergetskih objekata za napajanje privrednih objekata u nedovoljno razvijenim općinama, razrađena su idejna rješenja potrebne energetike. Pritome ih je autor nastojao usaglasiti s idejnim projektima distributivnih organizacija na čijem se području nalaze nerazvijene općine.

Opseg: 20 stranica i 21 slika.

**Zaštita i selektivnost pomoćnih strujnih krugova u TS 110/x i 35/10 kV**

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autor: mr. Milan Puharić, dipl. inž.

U studiji su detaljno razmotreni svi elementi pomoćnih strujnih krugova čija pouzdanost omogućuje pravilno funkcioniranje trafostanice s obzirom na zaštitu, upravljanje i signalizaciju. Posebna je važnost pri razradi dana akumulatorskim baterijama kao najvažnijem elementu u istosmjernom razvodu.

Zaštita i selektivnost krugova izvodi se elementima zaštite u tri nivoa. Izborom prekidača s vremenskom zadržkom postignuta je potpuna selektivnost zaštite.

Opseg: 76 stranica sa slikama i tablicama.

**Opravdanost gradnje DV 35 kV Kardeljevo — Vrgorac**Naručilac: RO »Elektrodalmacija« Split  
OOUR »Elektroneretva« MetkovićAutori: mr. Rihard Schenner, dipl. inž.  
mr. Milan Puharić, dipl. inž.

Općina Vrgorac napaja se preko 35 kV-tnog dalekovoda iz TS 110/35 kV Ljubuški. Ugovorom između elektroprivrede BiH i »Elektroneretve« Metković isporuka električne energije organizirana je na 5 MW.

Uzimajući u obzir rast potrošnje Vrgorca i statistiku kvarova postojećega 35 kV-tnog voda, nameće se potreba gradnje novoga 35 kV-tnog voda Kraljevo-Vrgorac.

Opseg: 16 stranica sa slikama i tablicama.

**Analiza energetske prilike u električnoj mreži OOUR-a »Elektrozagora« Drniš**

Naručilac: OOUR »Elektrozagora«, Drniš

Autori: mr. Željko Rajić, dipl. inž.  
mr. Rihard Schenner, dipl. inž.

Završeno u studenom 1978.

Analizirano je normalno stanje 30 kV-tne mreže OOUR-a »Elektrozagora« Drniš i ispitane moguće varijante i kvaliteta rezervnog napajanja.

Obrađene su energetske prilike 10 kV-tne mreže, s posebnim naglaskom na dugozračne vodove. S obzirom na potencijalno izvodiiva uklopna stanja, utvrđena su ona najpovoljnija s obzirom na gubitke i padove napona.

Opseg: 163 stranice sa 6 slika, 14 tablica i listinzima.

**Program dugoročnog razvoja tipizacije elemenata distributivne mreže s procjenom ekonomskih efekata do 2000. godine**

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autor: mr. Ernest Mihalek, dipl. inž.

**Završeno u lipnju 1986.**

U uvodu navedene studije obraden je odnos tipizacije i standardizacije, zakoni i regulativi koji ih pobliže određuju te način na koji se donosi tipizacija. Opisana je uloga tipizacije u distributivnoj mreži i dan je prijedlog podjele distributivne opreme i prateće tipizacije.

Osim prikaza dosadašnjeg rada na tipizaciji u ZEOH-u, dan je i kratki osvrt na tipizaciju i standardizaciju distributivne opreme u drugim republikama SFRJ. Provedena je anketa o opsegu i rezultatima tzv. internih tipizacija u RO i OOUR-ima distribucije i dan prikaz odgovora. Kako je pojam ekonomskih efekata tipizacije vezan za više područja djelatnosti pri izgradnji distributivnoga elektroenergetskog sistema, obavljena je procjena ekonomskih efekata po tim cjelinama. Veličine dobivene tom analizom primijenjene su na plan izgradnje do 2000. god., a pojedini su troškovi aktualizirani. Na osnovi rezultata, proizlaze jasne smjernice za provedbu programa tipizacije distributivnih postrojenja, opreme, metode i slično, te za organizaciju koja bi taj program trebala provesti, stalno pratiti i unapređivati.

Opseg: 75 stranica s tablicama i slikama.

**Standardiziranje pogonske tehničke dokumentacije za eksploataciju postrojenja distribucije**

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autor: mr. Ernest Mihalek, dipl. inž.

Završeno u siječnju 1987.

Studija se bavi pitanjem potrebnog sadržaja i oblika pogonske i tehničke dokumentacije kao baze tehničkoga informativnog sustava u distributivnoj djelatnosti elektroprivrede. Autor je pretpostavio da se informativni sistem vodi klasično da bi se promatrana problematika u distribuciji svladala i vodila na poznati način.

Definirano je više vrsta dokumentacije i dan prikaz njihova kolanja. Detaljno su razrađena sljedeće grupe:

- pogonska dokumentacija
- pogonsko-tehnička dokumentacija.

Za svaku je dan prijedlog standardiziranih obrazaca sa svim potrebnim podacima za određeni dio postrojenja ili opreme, za pogonski događaj, pregled, mjerenje i sl. Na osnovi proračuna za prosječnu distributivnu organizaciju u SRH, načinjen je prijedlog količine opreme za vođenje i čuvanje te dokumentacije i izračunati troškovi uredske opreme. U nastavku je dan prijedlog jedinstvene nomenklature objekata, postrojenja i mreža.

Opseg: 36 stranica i 62 priloga obrazaca.

**Informatički sistem vođenja pregleda i održavanja distributivnih postrojenja u nekoj RO distribucije**

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autori: mr. Ernest Mihalek, dipl. inž.  
mr. Ivan Čauš, dipl. inž.

Završeno u rujnu 1987.

Studija »Standardiziranje pogonske tehničke dokumentacije za eksploataciju postrojenja distribucije« dala je bazu tehničkoga informativnog sustava. Ova je studija korak dalje, a obrađuje jedan njegov segment i predlaže način vođenja pogonske, pogonsko-tehničke i tehničke dokumentacije radi pregleda i održavanja distributivnih postrojenja pomoću kompjutera.

U radu je dana koncepcija i blok-dijagrami toka informacija za navedene radove, procjene opsega podataka za OOUR srednje veličine te koncepcija hardvera za podršku. Studija sadrži i zaključna razmatranja.

Opseg: 25 stranica sa slikama i tablicama.

**STUDIJ TERMOENERGETSKIH SISTEMA****Završni izvještaj o ispitivanju i mjerenju visine taloga na cijevnoj stijeni generatora pare broj 2 NE Krško — ISI '86**

Naručilac: NE Krško

Autori: Mato Cvitanović, dipl. inž.  
Ratko Vojvodić, dipl. inž.

Obradeni su rezultati ispitivanja i mjerenja visine taloga na cijevnoj stijeni generatora pare broj 2 metodom vrtložnih struja prije i nakon provođenja postupka ispiranja taloga.

Opseg: 20 strana sa slikama, tablicama i 9 priloga.

**Završni izvještaj o ispitivanju cijevi generatora pare NE Krško — ISI '86.**

Naručilac: NE Krško

Autori: Mato Cvitanović, dipl. inž.  
Ratko Vojvodić, dipl. inž.

Završeno u siječnju 1987. godine.

Dan je opis provedenih ispitivanja cijevi generatora pare metodom višefrekventnih vrtložnih struja, te prikaz i komentar rezultata ispitivanja. Na temelju rezultata ispitivanja, dana je ocjena stanja cijevnih snopova.

Opseg: 234 stranice sa slikama, tablicama i 20 priloga.

**Analiza stanja elemenata parovoda TE Plomin I ispitanih 1987. godine**

Naručilac: Elektroprivreda Rijeka  
OOUR TE Plomin I

Autori: Zlatko Varaždinec, dipl. inž.  
Marino Balog, dipl. inž.

Završeno u kolovozu 1987. godine.

Obradeni su rezultati ispitivanja elemenata parovoda i na temelju analize stanja dane preporuke za njegovo daljnje praćenje.

Opseg: 71 stranica sa slikama i tablicama.

**Priručnik osiguranja kvalitete za prethodne radove na ORAO**

Naručilac: NE Krško

Autori: Hrvoje Štingl, dipl. inž.  
Vladimir Bradač, dipl. inž.

Završeno u srpnju 1987. godine.

Priručnik osiguranja kvalitete osnova je za provođenje aktivnosti osiguranja kvalitete (QA) u toku prijašnjih radova na odlagalištu radioaktivnog otpada ORAO. Priručnik se sastoji od opisa QA-programa u kojemu su sadržani osnov-



ni zahtjevi u skladu sa 50-C-QA »A Code of Practice« »Quality Assurance for Safety in Nuclear Power Plants«, IAEA, 1978, te programskih postupaka koji opisuju implementaciju tih zahtjeva.

Opseg: 138 stranica sa slikama i priložima.

### Izveštaj o ispitivanjima kvalitete izgaranja bloka 1 TE Sisak

Naručilac: Elektroprivreda Zagreb

Autori: dr. Dubravko Matanić, dipl. inž.  
Ernest Prištof, dipl. inž.

Završeno u 1987. godini.

Obavljena su ispitivanja rada postrojenja za loženje pri izgaranju T-ulja za loženje i zemnog plina radi utvrđivanja uspješnosti rekonstrukcije provedene na postrojenju za loženje. Na osnovi analize rezultata, zaključilo se da je rekonstrukcija sistema loženja uspješno provedena. Ispitivanja su poduzeta proširenjem opsega rada sa 70-100% na 30-100% da bi se snizio tehnički minimum.

Opseg: 17 stranica, 2 slike s dijagramima.

### Analiza rada postrojenja za loženje bloka 120 MW u TE-TO Zagreb

Naručilac: Elektroprivreda Zagreb  
OOUR TE-TO Zagreb

Autor: dr. Dubravko Matanić, dipl. inž.

Suradnici: Ernest Prištof, dipl. inž.  
Marijan Sarajlija, dipl. inž.

Završeno u 1987. godini.

Izvršena su potrebna mjerenja ispitivanja rada postrojenja za loženje na kotlu bloka 120 MW da bi se pronašla adekvatna poboljšanja rada u dijapazonu opterećenja 30-100%. Predloženim se rješenjima očekuje poboljšanje kvalitete izgaranja, rad svih plamenika u cijelom opsegu regulacije, te rad bez rekonstrukcije dimnih plinova pri velikim opterećenjima.

Opseg: 37 stranica, 21 slika i 3 tablice.

### Studijska obrada hidrauličkih karakteristika izvedenog vrelovodnog sistema BIS-a

Naručilac: Brodograđevna industrija Split  
RO Institut — Split

Autor: mr. Zlatko Komerički, dipl. inž.

Završeno u srpnju 1987. godine.

U radu su analizirane mogućnosti izvedenog stanja vrelovodne mreže i izvora topline u centralnoj kotlovnici s obzirom na nova shvaćanja o povećanju potrebne toplinske snage korisnika BIS-a, te stanje temperature u objektima s obzirom na ograničenu instaliranu snagu kotlovnih jedinica u centralnoj kotlovnici. Na osnovi analize, predožene su mjere za ublaženje redukcija koje se očekuju u isporuci topline korisnicima. Definirani su korigirani dijagrami polazne temperature vrele vode u ovisnosti o vanjskoj temperaturi, opisan način iskorištavanja postojećih lokalnih kotlovnica i uska grla u vrelovodnoj mreži.

Opseg: 30 stranica, 14 slika, 3 tablice i 15 priloga hidrauličkih proračuna.

### Komparativna analiza računskih modela disperzije polutana iz točkastih izvora onečišćenja

Naručilac: ZEOH

Autori: mr. Vladimir Jelavić, dipl. inž.  
Nikola Jakšić, dipl. inž.

Završeno u 1987. godini.

U studiji se daje pregled postojećih modela disperzije i njihov historijski razvoj. Komparativnom analizom obuhvaćeni su modeli disperzije polutanata iz točkastih izvora. Modeli su testirani na primjeru termoeletkrane na ugljen snage 300 MWe. Rezultati pokazuju da se o općem stanju onečišćenja, sudeći prema prosječnim godišnjim koncentracijama, ne bi bitno pogriješilo primjenom bilo kojeg modela kad je riječ o relativno ravnom terenu. Pri detaljizaciji postoje znatne razlike i modeli specijalne namjene opravdavaju svoju primjenu.

Opseg: 243 stranice, 53 slike i 48 tablica.

### Ocjena radova provedenih tokom remonta 1986. god. u NE Krško (strojarska oprema)

Naručilac: Institut »M. Vidmar«

Autori: Hrvoje Brkić, dipl. inž.  
Hrvoje Štingl, dipl. inž.  
mr. Hrvoje Kunaj, dipl. inž.  
Antun Eisenhreich, dipl. inž.  
dr. Marko Majcen, dipl. inž.  
mr. Andrej Majcen, dipl. inž.  
mr. Branko Matijašević, dipl. inž.

Završeno u 1987. godini.

U toku remonta NE Krško radnici SJ VI nadzirali su provođenje radova svih strojarskih rotacijskih komponenata (turboagregata, diesel-motora, pumpa i ventilatora), kompresora, ventila te ventilacijskih i klimatizacijskih uređaja. Daje se ocjena provedenih remontnih radova, stanje komponenti na kojima je obavljen remont, te preporuke i prijedlozi za rad i provođenje sljedećih remonta.

Opseg: 23 stranice i 4 priloga.

### Izbor tehnologije za optimalnu redukciju rizika u okolicu TE Plomin

Naručilac: Elektroprivreda Rijeka

Autori: mr. Jure Ćurković, dipl. inž.  
mr. Vladimir Jelavić, dipl. inž.  
Željko Postružin, dipl. inž.  
Zlatko Varaždinec, dipl. inž.

Završeno u travnju 1987. godine.

Studija obrađuje kompleksnu analizu rizika u okolini TE Plomin i metodom smanjenja ukupnoga društvenog rizika odabire primjenu određenih zaštitnih mjera radi smanjenja emisije polutanata u atmosferu. Obradene su zaštitne mjere za dimnjak, elektrostatski filter te postupci za odsumporavanje dimnih plinova i odušičavanje dimnih plinova.

Opseg: 253 stranica, 79 slika i 62 tablice.

### Društveno-ekonomska opravdanost izgradnje deponije radioaktivnog otpada niske i srednje aktivnosti

Naručilac: Nuklearna elektrana Krško

Autor: Jadranko Karuza, dipl. inž.

Završeno u 1987. godine.

U studiji su proračunate količine i tipovi niskoaktivnog i srednjeaktivnog otpada iz procesa proizvodnje električne energije u nuklearnim elektranama i otpada iz ostalih procesa u kojima se proizvode i upotrebljavaju radioizotopi (medicina, industrija i istraživački instituti). Generička analiza proizvodnje niskoaktivnog i srednjeaktivnog otpada u izvorima povezana je s planovima gradnje i eksploatacije nuklearnih elektrana i drugih nuklearnih objekata u Jugoslaviji do 2012. godine, prema studijama Zajednice Jugoslavenske elektroprivrede. Posebno su analizirana dosadašnja iskustva, tipovi i količine niskoaktivnog i srednjeaktivnog otpada iz Nuklearne elektrane Krško, a ocijenjene su i količine i aktivnosti koje se mogu očekivati u budućnosti. Provedena je usporedba s praksom i iskustvima drugih zemalja.

Na osnovi razvijenoga programskog paketa RAO procijenjeni su i analizirani troškovi skladištenja i odlaganja niskoaktivnog i srednjeaktivnog otpada u više varijanti razvoja nuklearnoga energetskega programa i potencijalnih tipova nuklearnih elektrana koje se mogu pojaviti u energetskega sistemu. U sklopu studije

je provedena je analiza ekonomskog optimiranja sistema skladištenja i odlaganja niskoaktivnog i srednjeaktivnog otpada, a analizirani su i kriteriji prihvatljivosti odlaganja obiju i vrsta otpada.

Opseg: 118 stranica, 17 slika i 38 referenci.

### **Analiza rezultata ispitivanja cijevi generatora pare NE Krško — ISI '87.**

Naručilac: Nuklearna elektrana Krško

Autori: Marino Balog, dipl. inž.  
Ratko Vojvodić, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1987. godine.

Obrađeni su i analizirani rezultati ispitivanja cijevi generatora pare NE Krško metodom višefrekventnih vrtložnih struja. Uočene su indikacije obrađene po pojedinim specifičnim područjima i dana je lista cijevi prema zadanim kriterijima. Na temelju provedene analize, ocijenjeno je stanje cijevnih snopova i dana preporuka za daljnje praćenje.

Opseg: 306 stranica sa slikama i tablicama, 26 priloga i 6 stranica dodatnog obrazloženja.

### **Analiza stanja cijevi kondenzatora TE Plomin I**

Naručilac: Elektroprivreda Rijeka  
OOUR TE Plomin II

Autori: Marino Balog, dipl. inž.  
Nikola Jakšić, dipl. inž.

Završeno u listopadu 1987. godine.

Obrađeni su rezultati ispitivanja 50% cijevi kondenzatora metodom vrtložnih struja. Dane su preporuke za korektivne akcije (čepljenje cijevi) i uzimanje uzorka za laboratorijska ispitivanja te obrađeni rezultati laboratorijskih ispitivanja. Na temelju analize rezultata procijenjeno je stanje cijevnih snopova kondenzatora i dane preporuke za daljnje praćenje.

Opseg: 182 stranice sa slikama i tablicama te 1 prilog.

### **Analiza rezultata ispitivanja i mjerenja visine taloga na cijevnim stijenama generatora pare broj 1 i 2 NE Krško (ISI '87.)**

Naručilac: Nuklearna elektrana Krško

Autori: Marino Balog, dipl. inž.  
Ratko Vojvodić, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1987. godine.

Obrađena je analiza rezultata ispitivanja i mjerenje visine taloga na cijevnim stijenama generatora pare NE Krško metodom vrtložnih struja.

Opseg: 60 stranica sa slikama i tablicama te 7 priloga.

### **Analiza rezultata ispitivanja i procjena stanja tlačnog sistema kotla TE Plomin I**

Naručilac: Elektroprivreda Rijeka  
OOUR TE Plomin I

Autori: Marino Balog, dipl. inž.  
dr. Dubravko Matanić, dipl. inž.  
Čedomir Selanec, dipl. inž.

Završeno u ožujku 1987. godine.

Obrađeni su rezultati dosadašnjih ispitivanja cijevnog sistema kotla TE Plomin I (1983. i 1985. godine). Provedena je analiza rezultata ispitivanja dijela tlačnog sistema kotla 1986. godine. Na temelju provedene analize rezultata svih dosa-

dašnjih ispitivanja, dana je procjena stanja tlačnog sistema kotla s preporukama za daljnje praćenje.

Opseg: 56 stranica sa slikama i tablicama.

### **Završni izvještaj o ispitivanju strojarske opreme NE Krško tijekom četvrte izmjene goriva (1986. godina)**

Naručilac: NE Krško

Autor: Vladimir Bradač, dipl. inž.

Završeno u veljači 1987. godine.

Elaborat daje rezultate i komentar ispitivanja strojarske opreme NE Krško obavljenih u toku redovne godišnje obustave elektrane radi izmjene goriva. Provedena su ispitivanja opreme koja utječe na sigurnost, i to prema zahtjevima »Konačnog sigurnosnog izvještaja NE Krško« (FSAR) i njime propisane američke regulative (ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section XI). Primijenjene su metode ispitivanja bez razaranja — ultrazvučno ispitivanje, ispitivanje tekućim penetrantima i magnetskim česticama te vizualni pregledi. Ispitivanja se provode svake godine u skladu s prije pripremljenim desetogodišnjim planom ispitivanja.

Osnovni cilj tih ispitivanja jest utvrđivanje stanja komponenata NE Krško bitnih za sigurnost pogona te poduzimanje potrebnih korektivnih akcija u slučaju uočenih odstupanja. Na taj način provedba tih ispitivanja pridonosi održavanju potrebne sigurnosti i raspoloživosti pogona nuklearne elektrane.

Opseg: 546 stranica teksta i rezultata ispitivanja podijeljenih u dvije knjige.

### **Završni izvještaj o ispitivanju strojarske opreme NE Krško tijekom pete izmjene goriva (1987. godina)**

Naručilac: NE Krško

Autori: Vladimir Bradač, dipl. inž.  
Ratko Vojvodić, dipl. inž.  
Zlatko Varaždinec, dipl. inž.  
Zdravko Pleša, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1987. godine.

Elaborat daje rezultate i komentar ispitivanja strojarske opreme NE Krško obavljenih u toku redovne godišnje obustave elektrane radi izmjene goriva. Provedena su ispitivanja na opremi koja utječe na sigurnost, i to prema zahtjevima »Konačnog sigurnosnog izvještaja NE Krško« (FSAR) i njime propisane američke regulative (ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section XI). Primijenjene su metode ispitivanja bez razaranja — ultrazvučno ispitivanje, ispitivanje tekućim penetrantima i magnetskim česticama te vizualni pregledi. Ispitivanja se provode svake godine u skladu s prije pripremljenim desetogodišnjim planom ispitivanja.

Osnovni cilj tih ispitivanja jest utvrđivanje stanja komponenata NE Krško bitnih za sigurnost pogona te poduzimanje potrebnih korektivnih akcija u slučaju uočenih odstupanja. Na taj način provedba tih ispitivanja pridonosi održavanju potrebne sigurnosti i raspoloživosti pogona nuklearne elektrane.

Opseg: 466 stranica teksta i rezultata ispitivanja podijeljenih u dvije knjige.

### **Analiza stanja i pogonske spremnosti kočnog sistema generatora HE Dubrovnik**

Naručilac: HE Dubrovnik

Autori: Mijo Martinko, dipl. inž.  
Vladimir Jarić

Suradnik: Mato Cvitanović, dipl. inž.

Završeno u 1987. godini

Na bazi provedenih ispitivanja kočnog sistema generatora i dobivenih rezultata ispitivanja, obavljena je evaluacija rezultata ispitivanja i istražen uzrok oštećenja na kočnom sistemu. Pomoću proračuna mehanike loma procijenjena je brzina propagacije pukotina. Na bazi cjelovite studije i analize, izrađene su preporuke za režim kočenja za generatore do izmjene dijela kočnog sistema te prijedlog varijanti izbora novih materijala za kočne segmente generatora. Osim toga, definirana je dinamika preventivnog praćenja oštećenja na kočnim segmentima do trenutka izmjene predložene studijom.

Opseg: 52 stranice.

**Završni izvještaj o ispitivanju gornjeg kombiniranog ležaja generatora broj 1 HE Dubrovnik**

Naručilac: HE Dubrovnik

Autor: Mijo Martinko, dipl. inž.

Suradnici: Vladimir Zado, dipl. inž.  
Boris Popinjač, tehn.  
Vladimir Martinec, tehn.

Završeno u 1987. godini

U toku veljače 1987. god., za vrijeme izvanrednog remonta elektrane, obavljena su detaljnija ispitivanja gornjega kombiniranog ležaja generatora broj 1 i HE Dubrovnik. Bezrazorna ispitivanja obuhvatila su ispitivanje homogenosti zavarane konstrukcije nosača vodećih segmenata ležaja, kvalitetu nalijeganja ležajne kovine na nosivim i vodećim segmentima te rezervni set vodećih ležaja. Osim toga, obavljena je analiza taloga ležajnog ulja. Rezultati ispitivanja i ocjena stanja opreme odnosno mišljenje i preporuke za daljnji rad prezentirani su u završnom izvještaju.

Opseg: 40 stranica s prilogima.

**Izveštaj o ispitivanju strojarske opreme HE Sklope**Naručilac: RO Elektroprivreda Rijeka  
»HE Senj i Sklope«

Autor: Mijo Martinko, dipl. inž.

Suradnici: Mato Cvitanović, dipl. inž.  
Vladimir Martinec, tehn.  
Boris Popinjač, tehn.

Izveštaj obuhvaća program i rezultate ispitivanja gornjega i donjega vodećeg ležaja generatora te zavarane konstrukcije nosača gornjega vodećeg ležaja generatora. Rezultati ispitivanja popraćeni su komentarom, ocjenom stanja opreme te mišljenjem i preporukama za daljnji rad ispitane opreme.

Opseg: 50 stranica s prilogima.

**Izveštaj o ispitivanju strojarske opreme HE Senj**Naručilac: RO Elektroprivreda Rijeka  
»HE Senj i Sklope«

Autor: Mijo Martinko, dipl. inž.

Suradnici: Mato Cvitanović, dipl. inž.  
Vladimir Martinec, tehn.  
Boris Popinjač, tehn.

U toku redovnog godišnjeg remonta HE Senj provedena su ispitivanja dijela opreme agregata 1, 2 i 3. Ispitivanja bezrazornom metodom (ultrazvukom, magnetskim česticama, penetrantskom metodom i vizualnim pregledima) obuhvatila su dijelove difuzona i spirale turbine, turbinska kola, vodeći ležaj turbine, regulatore tlaka te baždarenje manometara i termometara. Osim toga, programom ispitivanja obuhvaćeni su i nosivi i vodeći segmenti ležajeva generatora. Na bazi provedenih ispitivanja izraden je završni izvještaj, u kojemu su prezentirani rezultati ispitivanja i izložena ocjena stanja ispitane opreme odnosno preporuke za daljnja tehnička promatranja.

Opseg: 150 stranica s prilogima.

**Procjena koncentracije radionuklida u Dunavu u rutinskom radu i u slučaju najteže projektne nezgode na NE Slavonija**

Naručilac: Elektroslavonija Osijek

Autor: Zoran Kisić, dipl. inž.

Završeno u 1987. godini.

Tema istraživanja bila je procjena koncentracije radionuklida u Dunavu nizvodno od lokacije NE Slavonija zbog rutinskoga i akcidentalnoga tekućeg radioaktivnog ispuštanja izravno u vodotok. Studija obuhvaća preuzimanje, sistemati-

zaciju i obradu potrebnih ulaznih podataka, dvodimenzionalni matematički model disperzije radionuklida u vodotoku, uz analizu moćnih pojednostavnjenja i pretpostavki, uzimajući u obzir koncentriranost rezultata s analizom osjetljivosti modela na promjene ulaznih parametara te usporedbu rezultata s važećom regulativom i međunarodnim preporukama.

Opseg: 69 stranica, 20 tablica i 8 slika.

**Ispitivanje ugljenog kotla u energani II Natron — Maglaj**

Naručilac: SOUR UNICEP — Natron Maglaj

Autori: Čedomir Selanec, dipl. inž.  
Ernest Prištof, dipl. inž.

Završeno u lipnju 1987. godine.

U sklopu aktivnosti racionalizacije, koje se provode u Natronu — Maglaj, provedena su i ispitivanja ugljenog kotla s različitim vrstama ugljena i njihovim mješavinama. Rezultati ispitivanja i provedene analize dali su podatke potrebne za daljnje aktivnosti radi minimizacije troškova rada postrojenja.

Opseg: Utvrđivanje karakterističnih parametara kotla i stupnja djelovanja u ovisnosti o vrsti ugljena.

**Ispitivanja vršnog parnog kotla PK 3 u TE-TO Zagreb**Naručilac: Elektroprivreda Zagreb  
OOUR TE-TO ZagrebAutori: Čedomir Selanec, dipl. inž.  
Ernest Prištof, dipl. inž.

Završeno u studenom 1987. godine.

Na osnovi provedenih ispitivanja, utvrđene su sheme eksploatacijske karakteristike vršnoga parnog kotla PK 3 u rasponu opterećenja od 30 do 100% kapaciteta, uz loženje mazutom ili plinom. Također je obavljena korelacija rezultata ispitivanja na garantne uvjete i utvrđena su odstupanja u odnosu prema garantiranim vrijednostima.

Opseg: Radi provjere garancija i utvrđivanja eksploatacijskih karakteristika provedena su ispitivanja kotlova pri loženju plinom i mazutom.

**Utvrđivanje energetske karakteristike i normativa bloka 300 MW u TE Ugljevik**Naručilac: RO Rudnik i Termoelektrana Ugljevik  
TE UgljevikAutori: Stjepan Ivančić, dipl. inž.  
Čedomir Selanec, dipl. inž.  
Ernest Prištof, dipl. inž.

Završeno u siječnju 1987. godine.

U sklopu radova obavljena su ispitivanja bloka pri četiri režima rada. Prezentirani su rezultati ispitivanja i pokazatelja kvalitete rada kotla, turbuagregata i cjelokupnog bloka. Također je utvrđena normativna karakteristika potroška električne energije i topline bloka.

Opseg: Utvrđivanje energetske karakteristike i normativa uz normalni rad bloka u dijapazonu tehničkog minimuma i maksimalno postignog opterećenja te uz rad isključene sekcije visokotlačnih zagrijača regenerativnog sistema.

**Globalni mrežni plan prethodnih, te pripremnih radova izgradnje O.R.A.O.**Naručilac: Nuklearna elektrana Krško  
Služba R.A.O.

Autor: Čedomir Selanec, dipl. inž.

Završeno u lipnju 1987. godine.

Na osnovi podataka o broju, vrsti i dužini trajanja aktivnosti razrađena je međusobna ovisnost pojedinih aktivnosti, a na osnovi nje izraden je mrežni plan radova do početka izgradnje O.R.A.O. Tim mrežnim planom omogućeno je brzo i jednostavno praćenje napredovanja radova i implikacija odstupanja od zadanih rokova za pojedine faze i konačni rok završetka.

Opseg: Na osnovi podataka o vrstama i trajanju pojedinih aktivnosti prethodnih pripremnih radova izgradnje O.R.A.O., izraden mrežni plan aktivnosti.

### **Analiza rezultata tehničkog promatranja stojarske i hidromehaničke opreme HE Dubrovnik (Remont 1986)**

Naručilac: HE Dubrovnik

Autori: Mijo Martinko, dipl. inž.

Suradnici: Mato Cvitanović, dipl. inž.  
Boris Popinjač, tehn.

Na bazi definiranog programa ispitivanja, u toku redovnogodišnjeg remonta elektrane u 1986. godini provedena su bezrazorna ispitivanja cjelokupne hidromehaničke opreme agregata broj 1 i 2 te dijelova turbine i generatora agregata broj 1. Rezultati tih ispitivanja prezentirani su u završnom elaboratu. O svakome ispitanom dijelu opreme dana je njezina ocjena te preporuke i mišljenje o mogućem daljnjem radu ispitanih komponente. Izvještaj je popraćen snimkom i dokumentiran ispitnim obrascima da bi se omogućila buduća praćenja stanja opreme istim parametrima te da bi se mogle provesti potrebne komparacije s već snimljenim stanjem.

Opseg: 118 stranica izvještaja i 222 stranice priloga.

### **Osnovno rješenje NE Slavonija**

Naručilac: »Elektroslavonija« Osijek

Autori: mr. Hrvoje Kunaj, dipl. inž.  
mr. Berislav Nadinić, dipl. inž.  
mr. Niko Malbaša, dipl. inž.  
Darko Barilar, dipl. inž.  
mr. Jure Čurković, dipl. inž.  
mr. Vladimir Jelavić, dipl. inž.  
Jadranko Karuza, dipl. inž.  
Zoran Selanec, dipl. inž.  
Marijan Sarajlija, tehn.  
Boris Štajer, dipl. inž.  
Krunoslav Klak, dipl. inž.  
Irena Pavić, dipl. inž.  
Stjepan Hršak, tehn.  
dr. Božo Udovičić, dipl. inž.  
Nikola Bilčar, dipl. inž.  
Goran Jerbić, dipl. inž.  
mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.

Završeno u 1987. godini.

Studija »Osnovno rješenje NE Slavonija« izrađena je s ciljem da analizira, sistematizira i izradi sve potrebne podloge za »Prethodnu studiju utjecaja na okolinu NE Slavonija«. Stupanj istraženosti lokacije Tenja za NE Slavonija dosegao je u dosadašnjim radovima takav nivo da prikupljene spoznaje i rezultati istraživanja, uz poznavanje tehnologije rada nuklearne elektrane, omogućuju izradu takve studije.

Opseg radova u studiji obuhvatio je idejno rješenje dispozicije objekata za četiri bloka NE, zajedno s detaljnim prikazom tehnologije rada elektrane i svim prometnim, komunalnim i drugim vezama elektrane s okolinom. Posebno su detaljno analizirani svi tehnološki postupci i parametri koji utječu na okolinu. To su zahvati svih voda, njihova obrada i povrat u otpadnih plinova, proizvodnja radioaktivnih otpadnih tvari i metode transporta.

U posebnoj su dijelu obrađeni alternativni izvori energije s tehnološkoga, energetskog, ekonomskog i ekološkog stanovišta, zatim alternativne lokacije za izgradnju NE u Slavoniji te alternativne tehnologije za pojedine sisteme u nuklearnoj elektrani.

Opseg: Studija je izrađena u dva dijela s više od 900 stranica sa slikama i tablicama te preko 20 priloga.

## **STUDIJ HIDROTEHNIČKIH SISTEMA**

### **Osnovno rješenje NE »Slavonija« (knjiga I. i II)**

Naručilac: Elektroslavonija — Osijek

Autori (građevinsko-hidrotehnički dio): B. Štajer, dipl. inž.  
K. Klak, dipl. inž.  
I. Pavić, dipl. inž.

U sklopu građevinsko-hidrotehničkog dijela elaborata prezentirana su tehnička rješenja pojedinih sistema i struktura NE, definirana na osnovi prethodno prikupljenih podataka, izradenih i recenziranih studija, rezultata istraživanja radova te kompletno novih dodatnih analiza i obrada.

Osnovno je rješenje po opsegu i formatu izradeno kao podloga Prethodnoj studiji utjecaja na okolinu NE Slavonija.

Opseg (građevinski dio): 195 stranica, 40 slika i 19 priloga.

### **Idejno rješenje transporta topline od NE Prevlaka do CTS Zagreba (knjiga I, II. i III)**

Naručilac: Elektroprivreda Zagreb, OOUR Toplinske mreže

Autori (građevinsko-hidrotehnički dio): I. Pavić, dipl. inž.

mr. M. Petrićec,  
dipl. inž.  
B. Štajer, dipl. inž.

U građevinskom dijelu rada definirano je idejno rješenje trase tranzitnog vrelovoda i objekata na trasi, troškovi izvedbe građevinskih radova na realizaciji vrelovoda te provedene hidrauličke analize nestacionarnih stanja u vrelovodu. Idejno rješenje trase TV izrađeno je i tehno-ekonomski obrađeno na istom nivou razrade za dvije varijante vodenja — sjevernim i južnim koridorom. Za obje varijante vodenja trase prikupljena su nužna mišljenja i uvjeti komunalnih i drugih radnih organizacija i institucija.

Opseg (građevinski dio): 85 stranica, 13 slika i 27 priloga.

### **TE-TO Zagreb, Rješenje deponiranja ugljena s obzirom na mogućnost zagađanja podzemnih voda**

Naručilac: Elektroprivreda Zagreb, OOUR TE-TO Zagreb

Autor: I. Pavić, dipl. inž.

U radu je provedena analiza mogućeg utjecaja deponiranja ugljena na podzemne vode i definirano konceptijsko rješenje realizacije deponiranja, unutrašnjeg transporta ugljena i načina kontrolirane odvodnje oborinskih voda.

Opseg: 50 stranica i 19 priloga.

**Višenamjensko uređenje i korištenje voda u slivu Krke — gospodarsko tehničke analize**

Naručilac: Elektroprojekt Zagreb

Autor: mr. M. Petrićec, dipl. inž.

Na osnovi cost-benefit analiza, provedeno je rangiranje i izbor najpovoljnije varijante izgradnje sliva Krke s općedruštvenog stajališta. U analize su uključene potrebe i zahtjevi vodoprivrede (poljoprivreda, vodoopskrba i zaštita od poplava), te pretpostavke iskorištenja sistema za potrebe energetike.

Opseg: 115 stranica teksta, slika i priloga.

**Višenamjensko uređenje i korištenje voda u slivu Zrmanje — gospodarsko tehničke analize**

Naručilac: Elektroprojekt Zagreb

Autor: mr. M. Petrićec, dipl. inž.

Na osnovi rezultata cost-benefit analiza, provedeno je rangiranje i izbor najpovoljnije varijante izgradnje sliva Zrmanje s opće-društvenog stajališta. U analize su uključene potrebe (poljoprivreda, vodoopskrba) i zahtjevi vodoprivrede (biološki minimum) te pretpostavke iskorištenja sistema za energetske potrebe.

Opseg: 120 stranica teksta, slika i priloga.

**TE-TO Zagreb — odlaganje šljake i pepela s transportom i izrada prijedloga lokacije za odlaganje**

Naručilac: Elektroprivreda Zagreb

Autori: M. Zelić, dipl. inž.  
Lj. Aleksić, dipl. inž.Suradnici: B. Štajer, dipl. inž.  
N. Šimundić, dipl. inž.  
RGN Fakultet Zagreb  
APZ »PLAN« Zagreb

Planiranom izgradnjom novoga generatora pare učinka 500 t/h, loženog ugljenom, u TE-TO Zagreb javlja se problem odlaganja šljake i pepela jer na užem i širem području nisu predviđene površine za tu namjenu.

Na osnovi najvažnijih kriterija, u studiji su predložene moguće lokacije te napravljen izbor preliminarnih lokacija. Za svaku je lokaciju predloženo osnovno rješenje deponija, transporta unutar deponije, vanjskog transporta i zaštite deponije. Vrednovanjem pojedinih lokacija prema definiranim kriterijima i troškovima, obavljeno je rangiranje lokacija i dan najpovoljniji prijedlog s tehničkim rješenjem.

U studiji su prikazane i mogućnosti iskorištenja šljake i pepela u građevinarstvu i nekim drugim privrednim granama, te dan prijedlog daljnjih aktivnosti pri rješavanju problema odlaganja šljake i pepela.

Opseg: 188 stranica teksta sa slikama i tabelama i 24 priloga.

**Izveštaj o određivanju kapaciteta Đulinog ponora i predponorskog retencionog prostora pri pojavi preljevskih voda na brani Bukovnik (HE-Gojak)**

Naručilac: Elektroprivreda Zagreb

Autor: A. Russo, dipl. inž.

Zadatak ovog izvještaja je određivanje kapaciteta pretponorske retencije i količine vode koju Đulin ponor može apsorbirati. Analiza je provedena primjenom metode protjecanja vode kroz privremeno jezero (retenciju) u kraškim terenima, a kontrola rezultata proračuna količine vode koja ponire u Đulin ponor je obavljena proračunom izdašnosti izvora Gojačke Dobre.

Opseg: 31 stranica i 4 crtana priloga.

**Projektni zadatak za kompleksno rješenje Save od Siska do Jamene**Naručilac: Republička vodoprivredna interesna zajednica Zagreb  
Elektroprivreda Zagreb

Autori: iz Instituta za elektroprivredu:

K. Klak, dipl. inž.  
K. Plantić, dipl. inž.  
A. Russo, dipl. inž.  
D. Hatić, dipl. inž.

Iz Vodoprivredne radne organizacije za vodno područje sliva Save — Zagreb:

B. Vujašinić, dipl. inž.  
mr. Z. Blažević, dipl. inž.  
M. Braun, dipl. inž.  
D. Šustić, dipl. inž.  
mr. B. Milović, dipl. inž.  
R. Radovinović, dipl. inž.  
G. Čosić-Flajsig, dipl. inž.  
mr. M. Širac, dipl. inž.  
D. Maričić, dipl. inž.

U području doline Save, na pravcu od Siska do Jamene, za potrebe uređenja voda i zemljišta te gradnje različitih objekata izvedeno je dosada više istražnih radova, studija i projekata. Za potrebe izrade projektnog zadatka ti su podaci prikupljeni i sortirani po područjima. Prikazane su klimatološke, hidrološke, hidrografske, psamološke, hidrogeološke, topografske, vodoprivredne, prometne i energetske podloge, dan je pregled obrane priobalnih naselja od poplava, pregled šumskih površina i aktivnosti na njima, pregled gospodarskih i pravnih osnova o održavanju objekata te uređenja i prava korištenja voda i rijeke. Na temelju analize tih podloga, izrađen je projektni zadatak za osnovni projekt kompleksnog rješenja Save od Siska do Jamene.

Opseg: 278 stranica i 28 priloga.

**Obrada podataka nultog stanja na području utjecaja HE Dubrava**

Naručilac: Elektroprivreda Zagreb

Autori: K. Plantić, dipl. inž.  
B. Gregur, dipl. inž.

Na temelju »Programa za verifikaciju neporemećenog stanja na području mogućeg utjecaja HE Dubrava« verificiran je prikaz obrade i rezultata definiranih u Studiji utjecaja na okolinu HE Dubrava (SUNO HED, Elektroprojekt-Zagreb, ožujak 1984. godine) za vremensko razdoblje od 1970. do 1980. godine te prikupljeni podaci i obavljene adekvatne obrade za razdoblje od 1981. do 1985. godine, tj. do početka izgradnje HE Dubrava.

Opseg: 240 stranica.

**HE Varaždin, Tehničko promatranje u 1985. godini**

Naručilac: Elektroprivreda Zagreb, OOUR HE Varaždin

Autor: M. Zelić, dipl. ing.

Suradnik: prof. mr. R. Gomaz, dipl. inž. geod.

U elaboratu su sadržane i obrađene aktivnosti cjelokupnoga tehničkog promatranja HE Varaždin u jednogodišnjem razdoblju. Analizirano je stanje podzemnih voda na užem i širem području objekata, nanos u akumulaciji, vertikalna i horizontalna pomicanja objekata, oštećenja i sanacije objekata (pukotine betonskih konstrukcija, procjeđivanje kroz beton, erozija slapišta). Na temelju provedenih analiza, dana su zaključna mišljenja i prijedlozi za poboljšanje sigurnosti i trajnosti objekata.

Opseg: 80 stranica teksta, 22 tablice, 23 fotografije te 50 priloga.

**HE Varaždin, Tehničko promatranje u 1986. godini**

Naručilac: Elektroprivreda Zagreb, OOUR HE Varaždin

Autor: M. Zelić, dipl. inž.

Suradnik: prof. mr. R. Gomaz, dipl. inž. geod.

Elaborat sadrži obrade svih mjerenja i opažanja provedenih radi praćenja i ocjene stanja pojedinih objekata i postrojenja HE Varaždin u cjelini.

Analizirano je stanje podzemnih voda užega i šireg područja, nanos u akumulaciji, procjeđivanje, pomicanje objekata, oštećenja betonskih i drugih objekata. Na temelju provedenih analiza, dana su mišljenja i zaključci za osiguranje trajnosti i sigurnosti eksploatacije HE Varaždin.

Opseg: 65 stranica, 15 slika, 22 tablice, fototeka sa 22 fotografije te 47 priloga.

## Ostali radovi

- Sudjelovanje u evaluaciji ponuda za NE Prevlaka
- Revizija investicijskog programa VES Brodarci
- Revizija investicijskog programa HE Kraljevac
- Revizija idejnog projekta HE Drenje
- Izvještaj o pregledu studije »Matematični model Save« — odsek »D« — sedanje stanje
- Izvještaj o pregledu studije »Matematični model Save« — odsek »D« — končno stanje
- Izvještaj o snimanju kontrolnih profila i prećanju efekata podvodnog regulacijskog praga u koritu r. Save u 1987. godini kod TE-TO Zagreb.

## STUDIJ VISOKONAPONSKE OPREME I PRIJENOSNIH MREŽA

### Mrežni plan izgradnje, komande lanca HE na Dravi i Muri (I. faza)

Naručilac: RO Elektroprivreda — Zagreb, Služba studija razvoja, pripreme i nadzora izgradnje, Zagreb

Autori: Zoran Selanec, dipl. inž.  
Srećko Bojić, dipl. inž.  
Dimitrije Avdejev, dipl. inž.  
Srećko Juretić, tehn.

Završeno u rujnu 1987. godine.

Mrežnim su planom obuhvaćene aktivnosti od donošenja odluke o gradnji komande lanca do puštanja objekta u redovni rad.

Obrada mrežnog plana obavljena je na računskom stroju i time je omogućena lakša daljnja razrada praćenja i ažuriranja realizacije aktivnosti.

Radi cjelovitijeg prikaza, u prilogu elaborata dan je i gantogram te grafički prikaz svih obradenih aktivnosti.

### Rješenje održavanja postrojenja i opreme lanca hidroelektrana na Dravi i Muri (I. faza)

Naručilac: RO Elektroprivreda — Zagreb, Služba studija razvoja, pripreme i nadzora izgradnje, Zagreb

Autor: Miroslav Blažičko, dipl. inž.  
Srećko Bojić, dipl. inž.  
Duro Stanković, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1987. godine.

U sklopu I. faze projekta obrađene su dvije tematske cjeline:

- analiza postojećih organizacija održavanja hidroelektrana
- prijedlog nomenklature postrojenja, uređaja i tehničke dokumentacije lanca u HE na Dravi i Muri.

Uvođenjem novih tehnoloških rješenja (povećano učešće automatike, regulacije, daljinsko upravljanje i kompjutorsko vodenje) u sistemu održavanja hidroenergetskih objekata nužno se nameće potreba usvajanja suvremenijih oblika održavanja, i to zbog ekonomskih razloga (uštede, racionalnijeg ulaganja i trošenja raspoloživih sredstava) i zbog nužne specijalizacije radne snage za rad na nivo-razvijenim sistemima i uređajima.

Proces usavršavanja organizacije održavanja pokazuje se nužnim u tehnološkom povezivanju više elektrana na jednom vodotoku ili slivu u funkcionalnu cjelinu čiji je zadatak optimalna proizvodnja bazirana na izgrađenim i raspoloživim kapacitetima te hidrološkim prilikama.

Analizom postojećih organizacija održavanja obuhvaćeno je nekoliko skupina hidroelektrana: HE na Trebišnjici, HE na Neretvi, HE na Dravi u SR Sloveniji te HE na Dravi u SR Hrvatskoj radi uočavanja svih karakteristika postojećeg stanja u organizaciji i načinu održavanja postrojenja i objekata.

Iako analiza upozorava na dominantnost klasičnog sistema održavanja (samostalnost i održavanje postrojenja i opreme uglavnom vlastitim snagama) opaženo je mnoštvo zanimljivih pokazatelja i iskustava koje treba iskoristiti pri postavljanju suvremenijeg sistema — plansko-preventivnog održavanja organizacije održavanja lanca HE na Dravi i Muri.

Suvremeni pristup plansko-preventivnom održavanju kao kvalitativnom pomaku u sistemu održavanja postrojenja i uređaja, zasnovanom na maksimalnoj primjeni informatičkih dostignuća, praktički je nezamisliv bez postavljanja sistema nomenklature postrojenja, uređaja i objekata te bez tehničke dokumentacije.

Predloženi sistem nomenklature postrojenja i uređaja baziran je na tehničko-tehnološkoj klasifikaciji i na taj je način stvorena jednoznačna veza između pojedinih dijelova postrojenja i uređaja, primjenjiva i u ostalim pratećim sistemima — sistemu skladištenja, sistemu nomenklature tehničke dokumentacije, katalogu rezervnih dijelova i dr.

### Konzalting-aktivnosti u izgradnji TE Plomin 2

Suradnici: mr. Boris Kalan, dipl. inž.  
Hrvoje Bezlaj, dipl. inž.

Konzalting-aktivnosti na području MRU opreme odnosile su se na komentar projektnog rješenja sistema upravljanja elektroenergetskim postrojenjem te na prijedlog liste mjerenja za garantna ispitivanja te na ostala projektna rješenja.

### QC-QA-aktivnosti tokom remonta '87 NE Krško za I&C opremu

Izvršio: mr. Boris Kalan, dipl. inž.  
Dimitrije Avdejev, dipl. inž.

U toku remonta NE Krško obavljene su QC/QA-aktivnosti za opremu i sisteme mjerenja, regulacije i upravljanja prema radnim nalogima i programu NE Krško. Na kraju remonta dana je stručna ocjena kvalitete obavljenih remontnih radova.

### Program primopredaje elektroopreme i sistema na gradilištu elektrane

Izvršilac: mr. Boris Kalan, dipl. inž.

Završeno u studenom 1987. godine.

U sklopu programa razrađeni su svi zahtjevi za primopredaju sistema upravljanja, dojava, mjerenja, daljinskog upravljanja i lokalne obrade podataka na gradilištu hidroelektrane »Đale«. Obradeni su primjenjivi propisi, dokumentacija i izvještaji o terenskim i primopredajnim ispitivanjima za pojedine sisteme.

Opseg: 150 stranica.

**Ispitivanje i kontrola uzemljivača HE Rijeka sa RS i TS 110/35 kV Katarina**

Naručilac: Elektroprivreda — Rijeka, OOUR Kvarnerske elektrane, Rijeka

Autor: Josip Kučak, dipl. inž.

Suradnici: Damir Sever, tehn.  
Srećko Juretić, tehn.

Završeno u rujnu 1987. godine.

Trafostanica 110/35 kV Katarina izgrađena je 1961. godine. Izgradnjom HE Rijeka 1968. god. u Vodovodnoj ulici na Rječini, TS Katarina postala je rasklopište (RS) hidroelektrane. Rekonstrukcija i proširenje RS i TS Katarina 110/35 kV obavljeno je 1981. god.

U skladu s tehničkim mjerama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja, provedeno je ispitivanje i kontrola uzemljivača.

Ispitivanje metodom U-I pri sniženom naponu obavljeno je u sljedećem opsegu:

- mjerenje impedancije uzemljivača
- proračun raspodjele struje jednopolnoga kratkog spoja
- određivanje potencijala uzemljivača
- mjerenje napona dodira i koraka.

U najnepovoljnijem slučaju jednopolnoga kratkog spoja u 110 kV RS i TS Katarina dani su rezultati mjerenja napona dodira i koraka.

Opseg: 22 stranice i 10 priloga.

**Ispitivanje uzemljivača TS 30/10(20) kV Brezovica**

Naručilac: ELKOM-TSN Maribor, TOZD Elementi-naprave, Maribor

Autor: Josip Kučak, dipl. inž.

Suradnici: Tomislav Veselić, inž.  
Damir Sever, tehn.

Trafostanica 30/10(20) kV Brezovica smještena je u naselju Brezovica, na površini 52 × 42 m. Za investitora, »Elektru« Zagreb, gradnju je izveo TOZD Elementi-naprave iz Maribora.

Priključak TS Brezovica na 30 kV-tnu mrežu izveden je kao ulaz-izlaz, bliskoga prolaznog voda Klara-Kalinovica.

Svi položeni 20 kV-tni kabeli oznake XHP A u prvoj će etapi biti pod naponom 10 kV.

Uzemljivač je ispitan U-I metodom pri sniženom naponu u sljedećem opsegu:

- mjerenje impedancije uzemljivača
- mjerenje napona dodira i koraka unutar i izvan ograde trafostanice.

U prvoj etapi predviđen je rad mreže s izoliranom nul-točkom uz kapacitivnu struju 30 A.

U drugoj će etapi na strani 30 kV stanica imati nul-točku transformatora uzemljenu preko malog otpora, s ograničenjem struje jednopolnoga kratkog spoja na 150 A.

Rezultati ispitivanja određeni su za obje vrste uzemljenja nul-točke 30 kV-tne mreže.

Opseg: 14 stranica i 5 priloga.

**Kontrola i ispitivanje uzemljivača termoelektrane-toplane Zagreb**

Naručilac: Elektroprivreda — Zagreb, OOUR Termoelektrana — Toplana Zagreb

Autor: Josip Kučak, dipl. inž.

Suradnici: Đuro Juretić, el. tehn.  
Ivan Konfic, el. tehn.

Završeno u rujnu 1987. godine.

Termoelektrana-Toplana Zagreb u Kruševačkoj ulici smještena je na lijevoj obali Save, na području Žitnjaka i na površini oko 500 × 500 m. Instalirana snaga proizvodnih jedinica jesu dva bloka od 40 MVA i jedan blok od 150 MVA. Proizvedena se električna energija transportira u mrežu pomoću rasklopnog 110 kV-tnog i 30 kV-tnog postrojenja. Prva etapa sa dva bloka po 40 MVA puštena je u rad krajem 1962. godine.

TE-TO Zagreb proširena je 1979. god. za 120 MW. Na rasklopno 110 kV-tno postrojenje priključeno je pet dalekovoda i jedan kabel za TS Trpimirova. Iz 30 kV-tnog postrojenja izlazi 11 kabela za napajanje grada električnom energijom.

U skladu s Tehničkim propisima za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja, obavljena je kontrola i ispitivanje uzemljivača. Uzemljivači su ispitani niskonaponskom U-I metodom u sljedećem opsegu:

- mjerenje impedancije uzemljivača
- proračun raspodjele struje jednopolnoga kratkog spoja
- određivanje potencijala uzemljivača
- mjerenje napona dodira i koraka.

Rezultati mjerenja obrađeni su za najnepovoljniji slučaj jednopolnoga kratkog spoja u 110 kV-tnoj mreži.

Opseg: 23, stranice i 14 nacrti.

**Mjerenje sklopnih prenapona u 400 kV mreži u TS Ernestinovo (II. dio)**

Naručilac: Elektroslavonija, Osijek, OOUR Elektroprijenos, Osijek

Autor: Ante Šekso, dipl. inž.

Završeno u veljači 1987. godine.

Ovaj je dio dodatak osnovnoj studiji (I. dio završen je u prosincu 1986. god.). U ovoj su studiji prema želji naručilaca, dani kompleti mjernih oscilograma koje je snimio naš institut (mjerenja su provedena u suradnji s Institutom »N. Tesla« iz Beograda) i neki dodatni prilozima. Tako je priložena grupa oscilograma kojima je sniman sinhronizam polova 400 kV-tnog prekidača (snimio »R. Končar«). Kao poseban prilog dali smo kratki osvrt na prijelazne napone na tercijaru s dvije vrste zaštite (zaštita prema preporuci JUGEL-a i zaštita ZnO odvodnikom firme ASEA). Dani su usporedni oscilogrami za obje vrste zaštite pri uklapanju neopterećenog autotransformatora 400 kV-tnim prekidačem.

Opseg: 90 stranica sa 61 oscilogramom (IE), 22 oscilograma (RK) i 12 slika.

**Mjerenja tranzijentnih napona u sekundarnim krugovima u TS 400/110/30 kV Zagreb i (Tumbri)**

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autor: Ante Sekso, dipl. inž.

Mjerna ekipa: Josip Mužny, dipl. inž.  
Stjepan Zubić, tehn.

Završeno u ožujku 1987. godine.

Rad je predan naručiocu kao preliminarni izvještaj za studiju »Mjerenje tranzijentnih napona u sekundarnim krugovima električnih postrojenja i smjernice za ostvarenje EMC«. Zbog nemogućnosti mjerenja tranzijentnim rekorderom (pokušaj suradnika EGS-a Maribor nije potpuno uspio) prezentirali smo rezultate dobivene našim memorijskim osciloskopom tipa Tektronix 466. Rezultati dobiveni u četiri mjerne konfiguracije prikazani su tablično jer zbog malog broja uzoraka nije uobičajena statistička obrada. Pri sklapanju 400 kV-tnim rastavljačima prenaponi u sekundarnim krugovima nisu bili visoki (maksimalna izmjerena vrijednost iznosi 210 V vršno). Međutim, zbog nemogućnosti snimanja cijele prijelazne pojave zaključci se ne mogu smatrati konačnima, pa ispitivanja treba nastaviti odgovarajućom opremom.

Opseg: 22 stranice sa 4 tablice, 9 slika i 37 oscilograma.

**Utjecaj okoline na razdjelne transformatore i vodove na drvenim stupovima (zbornik seminara)**

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Urednik: Ante Sekso, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1987. godine.

U Zborniku su objavljena predavanja sa seminara organiziranog u lipnju 1987. u Splitu, u suradnji s distributivnim organizacijama Hrvatske i FESB-om Split. Glavni predavač bio je poznati svjetski znanstvenik prof. dr. Mat Darveniza (Australija), koji je u svojim radovima opisao električna svojstva vodova na drvenim stupovima, njihovu zaštitu od groma, od izgaranja zbog povećanih struja odvoda u zonama jakoga primorskog onečišćenja, te metode projektiranja grmljavinski otpornih vodova i transformatora na drvenim stupovima. U

Zborniku su i dva rada domaćih autora koji opisuju tehnološku zaštitu drva za stupove (Krznarić) i pitanja izolacijskog nivoa distributivnih vodova u zonama onečišćenja (Sekso). U Zborniku je dan opširan popis literature s tog specijalističkog područja (44 reference), a na kraju su dani zaključci seminara i smjernice za rad.

Opseg: 116 stranica sa 11 slika, 17 dijagrama i 22 tablice.

### Proračun kratkog spoja u mreži SR Hrvatske za 1990. godinu

Naručitelj: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.

Završeno u ožujku 1987. godine.

U studiji je proveden proračun najvećih struja početnoga tropskog i jednopolnoga kratkog spoja u mreži SR Hrvatske za 1990. godinu. Ona se nastavlja na studiju kratkog spoja u mreži Hrvatske u 1985. godini, izrađenoj u IE Zagreb 1981. godine. Stoga označava kontinuitet praćenja prilika kratkog spoja u 400, 220 i 110 kV-tnoj prijenosnoj mreži SR Hrvatske.

Proračuni tropskog i jednopolnoga kratkog spoja obuhvaćaju sve grane koje se neposredno stječu u sva promatrana postrojenja, s tim da rezultati jednopolnoga kratkog spoja zbog nesimetričnosti kvara obuhvaćaju struju u bolesnoj i zdravim fazama te rezultatnu struju  $3 I_0$ . Također je proveden proračun udarnih struja i vremenskih konstanti najvećih istosmjernih komponenti struja tropskog kratkog spoja. I, konačno, s obzirom na to da se u najviše slučajeva problemima uzemljenja pridaje najveće značenje, izračunate su i vrijednosti faktora uzemljenja i najvećih struja koje povećavaju potencijal uzemljivača postrojenja.

Uzimajući u obzir postojeću organizaciju elektroprivrednih poduzeća na području SR Hrvatske, provedeni su proračuni za svaku mrežu posebno, tj. za mrežu »Elektroprenosa«, Zagreb; »Elektroprijenos« Osijek; »Elektroprijenos« Opatija i »Elektroprenosa«, Split, uz ekvivalentiranje ostale mreže na pojedine mreže Elektroprenosa zbog nastojanja da rezultati proračuna kratkog spoja odnosno redukcije budu upotrebljivi na regionalnom nivou.

Uvidom u rezultate proračuna kratkog spoja proizlazi da se najveće početne struje kratkog spoja u mreži Hrvatske za 1990. godinu mogu očekivati u sljedećim iznosima, prema naponskim nivoima:

14,1 kA/400 kV; 21,6 kA/220 kV; i 38,1 kA/110 kV.

Opseg: 139 stranica sa 30 slika i 10 tablica sa sredenim rezultatima proračuna kratkog spoja.

### Proračun konstanta i raspodjele najvećih struja jednopolnog spoja u vodovima 110 kV Osijek 1 — Osijek 3 — Osijek 2

Naručilac: »Dalekovod«, OOUR Inženjering, Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.

Završeno u ožujku 1987. godine

Proveden je proračun raspodjele najvećih struja jednopolnoga kratkog spoja u 110 kV-tnim vodovima Osijek 1 — Osijek 3 — Osijek 2 za 1990. godinu zbog nove situacije koja nastaje uvođenjem TS 110/10 kV Osijek 3 u DV 110 kV Osijek 2 — Osijek 1 s novim priključnim vodom u dvosistemskoj izvedbi dužine 4,2 km.

Opseg: 34 stranice teksta sa 6 slika i dvije tablice.

### Proračun raspodjele najvećih struja jednopolnoga kratkog spoja u DV 110 kV Švarča — Vojnić, za mrežu 1995.

Naručilac: Elektroprivreda Zagreb, OOUR Elektroprenos, Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.

Završeno u rujnu 1987. godine.

Proveden je proračun raspodjele najvećih struja jednopolnoga kratkog spoja u DV 110 kV Švarča-Vojnić, za mrežu predviđenu u 1995. godini. Promatrani se vod može razmatrati u tri dionice: u prvoj dionici, u dužini 3,5 km, obješen je na stupove »bačva«, zatim u dužini 6,3 km ide kao jednostruki vod sa stupovima »jela«, a na kraju je ponovo instaliran na dvosistemski vod sa stupovima »bačva«, u dužini 9,0 km, paralelno sa DV 110 kV Vojnić-HE Lučica.

Opseg: 23 stranice teksta sa 2 + 2 slike, jednom tablicom protokom računskog stroja.

### Proračun raspodjele struja jednopolnog kratkog spoja u mreži elektroprenosa Zagreb za 1990. i 1995. godinu

Naručilac: Elektroprivreda Zagreb, OOUR Elektroprenos Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.

Završeno u srpnju 1987. godine.

Elaborat o raspodjeli najvećih početnih struja jednopolnoga kratkog spoja duž 110 kV-tnih vodova u mreži »Elektroprenosa«, Zagreb obuhvaća vodove u tri područja. To su:

1. vodovi područja »Žerjavinec«, pretpostavljeno stanje izgrađenosti mreže u 1995. godini
  - 1.1. DV 110 kV Žerjavinec-Dubec
  - 1.2. DV 110 kV Žerjavinec-Resnik,
  - 1.3. DV 110 kV Žerjavinec-Dugo Selo,
  - 1.4. DV 110 kV Žerjavinec-Jertovec,
  - 1.5. DV 2 × 110 kV Resnik-Dubec,
  - 1.6. DV 2 × 110 kV + kabel Dubec-Ksaver;
2. vodovi područja »Tumbri-Rakitje«, pretpostavljeno stanje izgrađenosti mreže 1990. godine
  - 2.1. DV 110 kV Tumbri-Rakitje,
  - 2.2. DV 110 kV Tumbri-Zdenčina,
  - 2.3. DV 2 × 110 kV Samobor-Brežice,
  - 2.4. DV 2 × 110 kV Brežice-Krško,
  - 2.5. DV 110 kV Tumbri-Rakitje/4,
  - 2.6. DV 110 kV Tumbri-Švarča;
3. vodovi područja »Bjelovar-Virje«, pretpostavljeno stanje izgrađenosti mreže 1995. godine
  - 3.1. DV 110 kV Bjelovar-Mlinovec,
  - 3.2. DV 110 kV Mlinovec-Virje,
  - 3.3. DV 110 kV Virovitica-HE Đurdevac,
  - 3.4. DV 110 kV Virje-HE Đurdevac.

Opseg: 100 stranica teksta sa 3 + 20 slike, 16 tablica i 37 stranica protokola računskog stroja.

### Ispitivanja prijevoznom visokonaponskom ispitnom stanicom

Naručilac: Elektroprivredne organizacije SRH

Autor: Kolektiv studijske jedinice

Radovi u toku.

Posljednjih nekoliko godina Institut za elektroprivredu se, uz pomoć organizacija SRH, dobro opremio za ispitivanja elemenata električnih postrojenja na terenu. Brojna prijenosna ispitna oprema omogućuje izvođenje svih ispitivanja potrebnih za cjelovitu ocjenu stanja električne opreme elektrana, transformatorskih stanica, nadzemnih vodova i kabela. Na taj je način organiziran pokretni visokonaponski laboratorij čiji je osnovni dio prijevozna visokonaponska ispitna stanica. Namijenjena je naponskom ispitivanju komponenti visokonaponske opreme na terenu, i to ispitivanju izmjeničnim i istosmjernim ispitnim naponom. Izmjeničnim se naponom uglavnom ispituju jednominutni podnosivi naponi opreme i ispravnosti odvodnika prenapona, a istosmjernim se naponom uglavnom ispituje ispravnost izolacije kabela nakon polaganja. Visine ispitnih napona su takve da stanica omogućuje:

- ispitivanje jednominutnih podnosivih izmjeničnih napona opreme do najviših napona opreme 123 kV
- ispitivanje odvodnika prenapona i sekcija odvodnika do nazivnih napona od vodnika, odnosno sekcija od 110 kV
- ispitivanje izolacije kabela na kabelima nazivnog napona do 110 kV.

Prijevoznom visokonaponskom ispitnom stanicom obavljena su 1986. godine mnogobrojna ispitivanja odvodnika prenapona i izolacijske čvrstoće opreme u elektroprivrednim postrojenjima, pa je potvrđena njezina velika praktična vrijednost.



## Razni radovi

Naručilac: Elektroprivredne i druge organizacije

Autor: Kolektiv studijske jedinice

### Ispitivanje uzemljivača

Na nizu trafostanica različitih naponskih nivoa obavljena su ispitivanja uzemljivača i kontrolna mjerenja napona dodira i koraka pri očekivanim strujama zemljospoja ili jednopolnih kratkih spojeva.

### Ispitivanje kabela

Ispitani su kabeli radi određivanja kvalitete i karakterističnih konstanti. Mjerena su svojstva izolacije izmjeničnim, istosmjernim i udarnim naponima i dielektrički gubici. Rezultati mjerenja poslužit će za usporedbu različitih konstrukcija i izvedbi kabela.

Uz ispitivanje u proizvodnji na novim kabelima obavljena su ispitivanja kabela nakon polaganja.

Značenje takvih ispitivanja je veliko jer se pravodobno mogu otkriti greške učinjene prilikom polaganja i izbjeći kasniji prekidi pogona.

Ispitivane su kabelaške glave i spojnice. Ispitivanja su obuhvatila naponska ispitivanja izmjeničnim i udarnim naponima te nepropusnost na mjestima brtvljenja. Također su ispitivane kabelaške mase i razna ulja.

### Ispitivanje i atestiranje zaštitnih sredstava

Prema propisima JUS-a gumene rukavice i gumene čizme za električare moraju se ispitati svakih šest mjeseci, a ako su neupotrijebljene na skladištu, svakih 12 mjeseci. Sva ta zaštitna sredstva koja su zadovoljila atestiranja su u visokonaponskom laboratoriju. Također su ispitane i atestirane izolacijske rasklopne motke za uzemljenje te izolacijske ploče pri radu u postrojenju pod naponom.

### Ispitivanje prototipa opreme i odvodnika prenapona u laboratoriju

Ispitivani su prototipovi neke opreme. Pritome je osobito uspješna bila suradnja WN laboratorija i proizvođača jer se nije samo formalno upozorilo na nedostatke nego su se davali i prijedlozi na njihovo otklanjanje sve dok navedena ispitivanja nisu pokazala da proizvod potpuno zadovoljava propise i naznačenu primjenu. Nakon toga naručitelj je od Instituta dobio atest za ispitivani proizvod.

Ispitivanje odvodnika prenapona obuhvaća kontrolu izmjeničnoga i udarnoga prorađnog napona.

U sklopu tih ispitivanja obavljena su i dodatna ispitivanja odvodnika prenapona udarnim naponom u laboratoriju, pošto su prethodna terenska ispitivanja tih odvodnika prijevoznom visokonaponskom ispitnom stanicom ustanovila sumnjive vrijednosti prorađnih izmjeničkih napona.

### Uređaj za ispitivanje kabela IPKN-10

Ispitivanje tim uređajima obavlja se istosmjernom strujom, što ima prednosti jer je uređaj lakši i pogodniji za pronalaženje eventualne greške u kabelu. Za što točnije ustanovljavanje mjesta pogreške potrebno je, naime, da na tom oštećenom mjestu bude što manji otpor izolacije, tj. što bolji spoj. To se postiže tzv. propaljivanjem kabela tako da se, pošto je ispitivanjem ili pak za vrijeme pogona ustanovljena pogreška u izolaciji kabela, dovoljno jakom strujom i dovoljno visokim naponom propaliti kabel dok se na povrijeđenom mjestu ne postigne karbonizirani spoj optimalnog otpora. Nakon toga nije teško odrediti mjesto pogreške bilo kojom poznatom metodom.

Prema tome, uređaj služi za ispitivanje izolacije kabela napona 10 kV poslije polaganja. On također omogućuje brzo i točno pronalaženje mjesta pogreške u kabelima bilo kojom od poznatih metoda, a može se upotrijebiti u granicama svojih karakteristika i u druge svrhe.

### Uređaj za ispitivanje kabela IPKN — 1

Uređaj je namijenjen ispitivanju kabela do 1 kV; u nekim slučajevima njime se mogu propaljivati i kabeli do 10 kV a da prije toga nisu obrađeni visokonaponskim dijelom uređaja IPKN — 10.

### Uređaj IR 2S 50 A

Ovaj uređaj služi za ispitivanje i udešavanje sekundarnih neusmjerenih nadstrujnih releja i njihovih vremenskih članova. Proizvodi struju 5,15 i 50 A, čija se vrijednost može kontinuirano mijenjati. Može se koristiti i kao izvor reguliranog napona od 0 do 300 V.

Priključuje se na izmjenični napon 220 V.

Uređaj služi za regulaciju i mjerenje s dodatnim uređajima (IR — 1000 A ili IR — 2000 A).

### Uređaj IR — UZ

Uređaj služi za ispitivanje i udešavanje sekundarnih usmjerenih nadstrujnih, zemljospojnih i sličnih releja i njihovih vremenskih članova.

Uz dodatak IR — 1000 i IR — 2000 A mogu se obaviti primarna ispitivanja spomenutih releja. Fazni pomak između struje i napona može se grubo mijenjati po 60° induktivno, a unutar grubih stupnjeva kontinuirano, te se na taj način može ustanoviti i osjetljivost releja pri faznim pomacima.

Uređaj se priključuje na trofaznu mrežu 380/220 V.

### Uređaj IR — 1000 i IR — 2000 i više

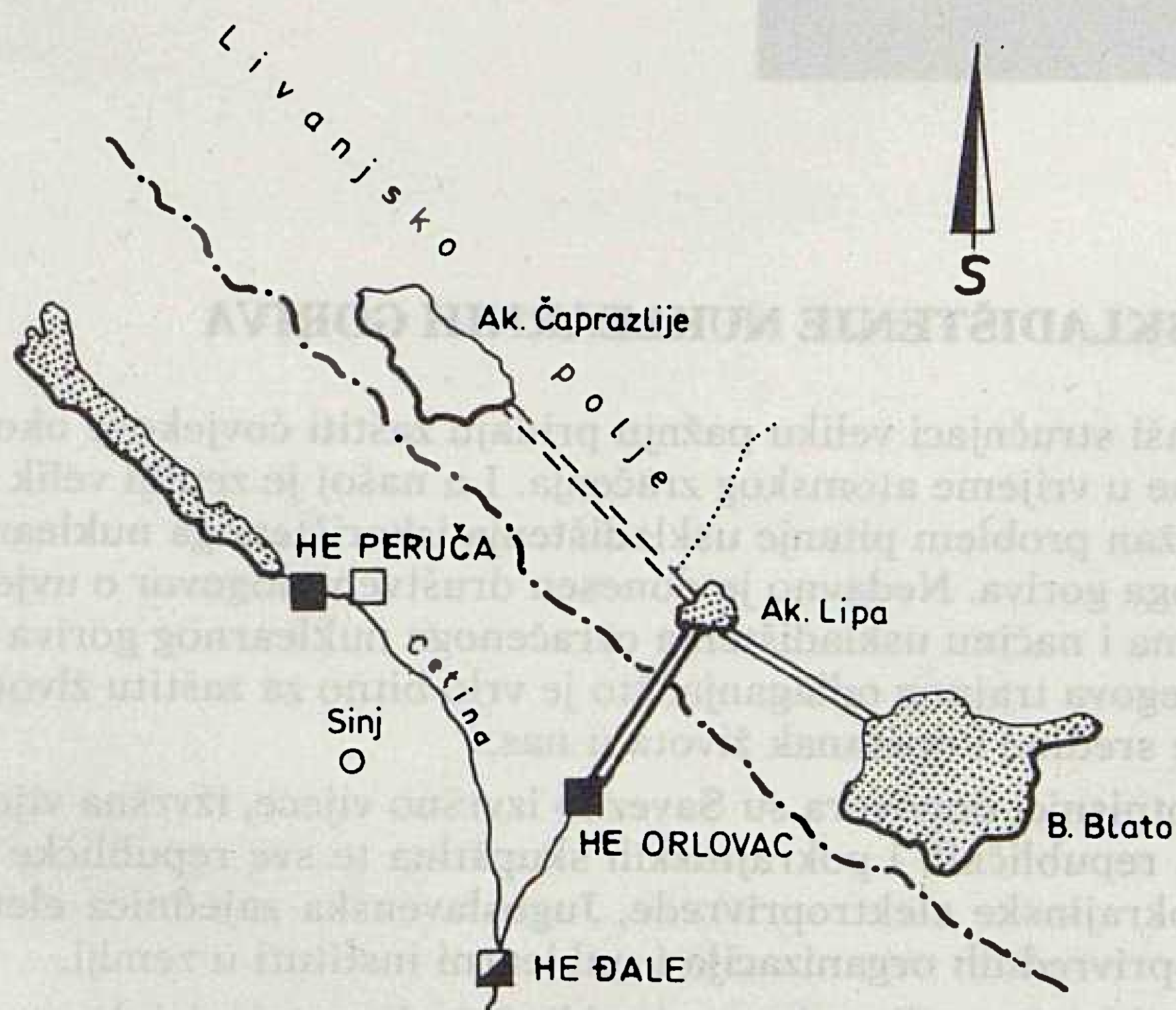
Ti su uređaji dodatni uređaji za IR — 2S 50 A i IR — UZ, pa imaju kontinuiranu regulaciju i mjerenje stanja do 1000 A, 2000 A i više.

## DOGRADNJA HIDROELEKTRANE ORLOVAC

Konačno je u ožujku 1988. godine potpisan sporazum o dogradnji HE Orlovac. Sporazum su potpisali Medurepublički koordinacijski odbor izvršnih vijeća SR Hrvatske i Medurepublički koordinacijski odbor izvršnih vijeća SR Bosne i Hercegovine.

Dogradnjom HE Orlovac predviđena je gradnja retencije Čaprazlije i kanalske mreže, čime će se povećati akumulacijske vode »Buškog blato«.

HE Orlovac, instalirane snage 237 MW, projektirana je tako da se koristi vodama šireg sliva Cetine, uglavnom na području SR Bosne i Hercegovine. Izgradnja HE Orlovac tekla je u izuzetnim okolnostima. Istodobno su nastale teškoće u osiguravanju sredstava za izgradnju, a Skupština općine Livno odbila je izdati potvrdu o tzv. javnom interesu u uređenju dijela livanjskog polja (Čaprazlije), što je sastavni dio kompletnog projekta HE Orlovac.



Situacija HE Orlovac

Izdavanje potvrde o »javnom interesu« odgodeno je zato što je prije toga bilo potrebno istraživati hoće li retencija Čaprazlija onemogućiti eksploataciju ležišta lignita na području Čelebića. U međuvremenu su provedena odgovarajuća istraživanja i izrađene zajednički financirane i revidirane studije iz kojih je proistekao zaključak da će izgradnja retencije Čaprazlije vjerojatno boljšati, a ne pogoršati uvjete eksploatacije ležišta lignita Čelebić.

Bez obzira na takav stav, investitor — Elektroprivreda Dalmacije Split nastavila je radove za izgradnju hidroelektrane na bazi već obuhvaćenih voda akumulacije Buško blato i voda centralnog dijela Livanjskog polja. Hidroelektrana Orlovac puštena je u rad 1973. godine.

Nedavno potpisanim sporazumom predstavnika SR Hrvatske i SR Bosne i Hercegovine omogućit će se izgradnja retencije Čaprazlije i sistema mreže kanala, čime će HE Orlovac povećati godišnju proizvodnju za 135 GWh. Valja naglasiti da je vode Čaprazlije na širem slivu Cetine moguće iskoristiti samo u HE Orlovac.

I. R.

## IDEJNI PROJEKT HIDROELEKTRANE LEŠĆE

Gojačka Dobra je prva veća pritoka Kupe u koju utječe desetak kilometara uzvodno od Karlovca. Taj vodotok dug je 52 km, apsolutni pad mu je 75,5 m, a srednji protok na ušću 36 m<sup>3</sup>/s. Vodotok opskrbljuje vodom HE Gojak, derivacijsko postrojenje koje radi od 1959. godine. Daljnje iskorištavanje vodotoka Gojačke Dobre programirano je gradnjom HE Lešće. Predviđeno je da se ta elektrana sagradi u idućem srednjoročnom planu i da počne raditi 1995. godine.

HE Lešće, instalirane snage 36 MW i moguće godišnje proizvodnje 93 GWh električne energije, bit će pribransko postrojenje s lučkom betonskom branom i akumulacijskim prostorom od 10,2 m<sup>3</sup>. Stručna revizijska komisija elektroprivrede Hrvatske prihvatila je idejni projekt HE Lešće koji su izradili stručnjaci »Elektroprojekta« Zagreb. Investitor »Elektroprivreda« Zagreb povjerila je izradu glavnog projekta poduzeća »Elektroprojekt« iz Zagreba.

I. R.

## PROIZVODNJA TURBINA VELIKIH SNAGA

Ubrzani razvoj energetike u našoj zemlji zahtijeva od strojogradnje proizvodnju parnih turbina većih jediničnih snaga. SOUR »Jugoturbina« Karlovac danas je jedini domaći proizvođač parnih turbina. Prva turbina napravljena je 1955. godine prema konstrukcijskom projektu domaćih stručnjaka, a snaga joj je bila 12,5 MW.

Zbog slabije potražnje turbina manjih snaga »Jugoturbina« je preuzela zadatak organiziranja proizvodnje parnih turbina velikih jediničnih snaga. Nakon višegodišnjih priprema početkom 1982. godine počela je gradnja tvornice za proizvodnju turbina velikih snaga. Gotovo je završena prva etapa te tvornice i već su počele pripreme za proizvodnju turbina od 210 i 300 MW. Turbina od 210 MW bit će ugrađena u TE »Plomin 2«, a dvije turbine po 300 MW rade se za TE »Kolumbara B« Srbija.

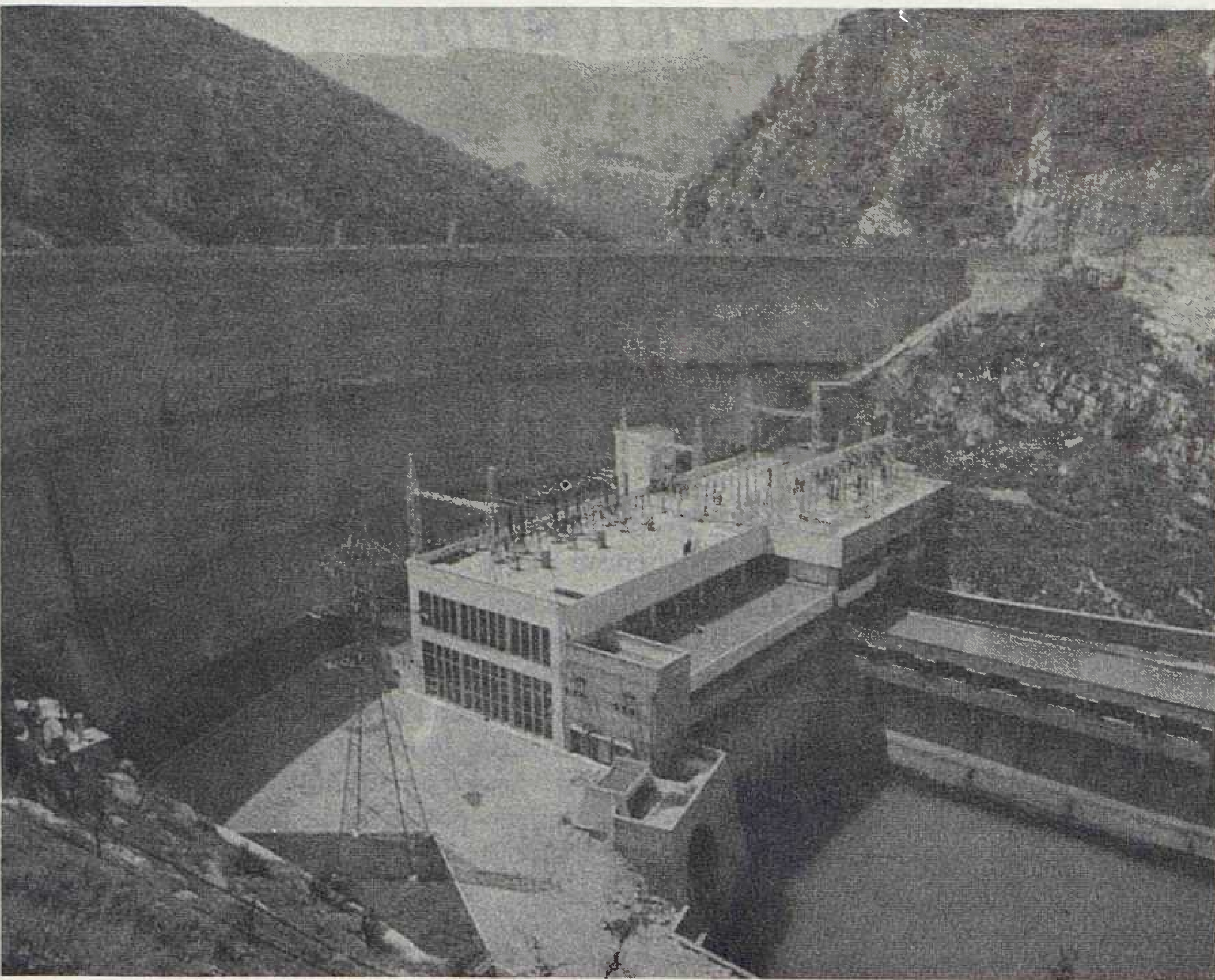
U gradnji nove tvornice osim »Jugoturbine« sudjeluje i ukupna elektroprivreda Jugoslavije. Zajednička komisija elektroprivrede Jugoslavije i »Jugoturbine« pozitivno je ocijenila stupanj dovršenosti i tehnološko-proizvodne opremljenosti tvornice velikih turbina u kojoj će se moći proizvesti turbine i do 1 300 MW.

Elektroprivredne organizacije nedavno su s »Jugoturbinom« potpisale ugovor o rekonstrukciji postojećih kapaciteta u zemlji, bez obzira na proizvođača i veličinu turbina koja će konstruirati stručnjaci »Jugoturbine«.

I. R.

## ENERGETSKO ISKORIŠTENJE TOKA VRBASA

Elektroprivreda Bosne i Hercegovine izradila je program iskorištenja hidroenergetskog potencijala srednjeg toka Vrbasa. Utvrđeno je da se na tom dijelu Vrbasa i njegovih pritoka može izraditi još desetak hidroelektrana instalirane snage veće od 700 MW i godišnje proizvodnje 1 500 GWh. Osnovno hidroenergetsko rješenje slivnog područja Vrbasa predviđa sljedećih hidroelektrana: Dobrašin, Daljan, Babinno Selo, Han-Skela, Podmilačje, Krupa, Banja Luka, Trn,



Laktaši (na Vrbasu), zatim Šipovo na Plivi, Ugar na istoimenom pritoku i Rabići na Vrbanji.

Najprivlačniji i najbogatiji vodom je srednji tok Vrbasa, i to onaj dio od Jajca do Banje Luke. Na tom su dijelu izrađene hidroelektrane »Jajce II« (1954) i HE »Boćac« (1981), pa je razumljivo da se i u narednom razdoblju na toj dionici predviđa gradnja nekoliko velikih izvora električne energije. Lokacija i izvor snage tih elektrana odredit će se ubrzo, čim bude gotova najnovija vodoprivredna razrada Vrbasa.

I. R.

## JUGOSLAVENSKI NAFTOVOD — SAMOSTALNA ORGANIZACIJA

Konačno su se naftaši nakon punih osam godina suglasili o konstituiranju samostalne organizacije Jugoslavenski naftovod — JUNA, sa sjedištem u Rijeci. U postupku konstituiranja donesen je samoupravni sporazum o udruživanju rada radnika, izabran radnički savjet i donosen statut. Na osnovi prikupljene dokumentacije, Okružni privredni sud iz Rijeke izdao je 23. ožujka 1988. rješenje da se u sudski registar upiše radna organizacija s nazivom Jugoslavenski naftovod — JUNA.

Osnovna djelatnost nove radne organizacije jest cjevovodni prijevoz, odnosno prijevoz nafte naftovodom na domaće i inozemne naručioce, a sporedna su joj djelatnost usluge u pomorskom prometu, lučke usluge u tankerskoj luci Omišalj te istovar, pretovar i skladištenje nafte i naftnih derivata.

Radom Jugoslavenskog naftovoda rukovodit će poslovodni odbor sastavljen od članova osnivača naftovoda i predstavnika RO Jugoslavenskog naftovoda — »JUNA«.

I. R.

## USKLADIŠTENJE NUKLEARNIH GORIVA

Naši stručnjaci veliku pažnju pridaju zaštiti čovjekove okoline u vrijeme atomskog zračenja. I u našoj je zemlji velik i važan problem pitanje uskladištenja iskorištenoga nuklearnoga goriva. Nedavno je donesen društveni dogovor o uvjetima i načinu uskladištenja ozračenoga nuklearnoga goriva i njegova trajnog odlaganja, što je vrlo bitno za zaštitu životne sredine i opstanak života u nas.

Potpisnici dogovora su Savezno izvršno vijeće, izvršna vijeća republičkih i pokrajinskih skupština te sve republičke i pokrajinske elektroprivrede, Jugoslavenska zajednica elektroprivrednih organizacija i nuklearni instituti u zemlji.

Najkasnije godinu dana od zaključivanja potpisnici dogovora utvrdit će opravdanost izgradnje zajedničkoga centralnog skladišta ili zajedničkih regionalnih skladišta za trajno odlaganje radioaktivnih otpadaka niske i srednje aktivnosti.

Međutim, dok se ne stvore odgovarajući uvjeti za smještaj i preradu, investitori nuklearne elektrane i OUR-i nuklearnih elektrana suglasili su se da ozračeno nuklearno gorivo privremeno ostane u nuklearnoj elektrani odnosno u postrojenju.

Zajednice elektroprivrednih organizacija obavezuju se da će u roku šest mjeseci od zaključenja dogovora organizirati zajedničko prikupljanje, izučavanje i sređivanje podataka o izboru lokacije izradu dokumentacije za gradnju postrojenja za skladištenje ozračenoga nuklearnoga goriva.

I. R.

## TRIDESET GODINA RADA HE NA TREBIŠNJICI

Članovi hidroelektrane na Trebišnjici proslavili su 25. ožujka 1988. 30 godišnjicu osnivanja poduzeća i 20. godišnjicu rada hidroelektrane Trebinje I. U sklopu obilježavanja tih

godišnjica održana je svečana sjednica radničkog savjeta. Na brani Grančarevo postavljena je spomen-ploča i prikazan film koji podjseća na trenutke kad je predsjednik Republike Josip Broz Tito pustio u rad HE Trebinje I.

Na održanoj svečanosti podnesen je opširan referat o radu i razvoju radne organizacije hidroelektrane na Trebišnjici.

Od puštanja u rad prvih proizvodnih kapaciteta prve faze, proizvodnja koja je 1965. godine iznosila samo 266 milijuna kWh električne energije, dosegla je u rekordnoj 1986. godini proizvodnju od 2 milijarde i 570 milijuna kWh električne energije. Tako je od 1965. do 1987. proizvedeno 40 milijardi i 570 milijuna kWh električne energije. To je važno ne samo za elektroenergetski sustav B i H, nego i za sustav cijele Jugoslavije.

Hydroenergetsko iskorištenje voda Trebišnjice proizvedeno je tako da su u prvoj fazi završene dvije hidroelektrane, i to HE Trebinje I i HE Dubrovnik, ukupne instalirane snage 396 MW i moguće godišnje proizvodnje 2 milijarde i 56 milijuna kWh.

Nakon toga u HE Trebinji I ugrađen je treći agregat snage 70 MW i pušten u rad 1975. godine. Godine 1979. završena je i puštena u rad PHE Čapljina, instalirane snage 420 MW i moguće proizvodnje 620 milijuna kWh.

I. R.

## TRAŽENJE NAFTE U JUŽNOM JADRANU

Potkraj ožujka 1988. godine započeli su radovi naših naftaša na prvoj zajedničkoj bušotini u podmorju južnog Jadrana.

Prvi put u zemlji u istražnim radovima na nalazištima nafte udružile su financijska sredstva četiri domaće organizacije naftne industrije, i to RO »Jugopetrol« Kotor (40% posto), »Naftaplin« Zagreb i »Naftagas« Novi Sad (po 27,5% posto), te »Petrol« Ljubljana (5%).

»Naftoplinova« samopodizna platforma »Panon« krenula je na novu lokaciju Južni Jadran I, udaljenu samo nekoliko kilometara od Ulcinja.

Prije odabira lokacije »Panonova« sidrišta provedena su opsežna geoseizmička istraživanja, a bitne su i pokusne bušotine koje je napravila RO »Jugopetrol« sa stranim partnerima »Buttesonom« i »Chevronom«. Polovicom 1986. godine obavljena su seizmička snimanja na području podmorja Crne Gore. Tada je snimljeno 2 525 kilometara profila. Potkraj 1987. godine interpretirani su geofizički podaci i na temelju dobivenih rezultata uočeno je nekoliko za dubinske istražne bušotine povoljnih lokacija.

Na sastanku tehničke komisije, koju sačinjavaju potpisnice Samoupravnog sporazuma o zajedničkom istraživanju dijela podmorja Crne Gore, precizno je utvrđena lokacija prve istražne bušotine. Ona se nalazi 7,5 km južno od Ulcinja, gdje je dubina mora samo 60 metara.

To istraživanje potpuno vodi samopodizna platforma »Panon« RO »INA — Naftaplin« iz Zagreba. Tom je platformom moguće bušenje čak do dubine 7 500 metara, ali samo na područjima na kojima dubina mora nije veća od 93 metara.

Sporazumom je predviđeno da se za pet godina izbuši pet bušotina u tri etape. Prvim bušenjem, započetim u ožujku 1988, predviđeno je da se za šest mjeseci dopre do oko 5 800 metara duboko.

I. R.

## SURADNJA RO DALEKOVOD I ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA

Nastavlja se suradnja elektroprivrednih organizacija s naučnim institucijama, fakultetima, institutima i istraživačkim organizacijama. Nedavno su predstavnici Radne organizacije »Dalekovod« i Elektrotehnički fakultet iz Zagreba potpisali Samoupravni sporazum o dugoročnoj poslovno-tehničkoj suradnji u znanstveno-istraživačkom, stručnom i obrazovnom radu. Njegov je cilj neposredno povezivanje proizvodne i znanstveno-istraživačke djelatnosti.

Zaključen je i prvi ugovor između »Dalekovoda« i Elektrotehničkog fakulteta o ustupanju razvoja indukcijskih uređaja.

Prema sporazumu, stručne ekipe Elektrotehničkog fakulteta radile su na prototipu indukcijske peći, a »Dalekovod« u svojim halama preuzima serijsku proizvodnju indukcijskih peći visoke frekvencije za zagrijavanje i taljenje metala za potrebe jugoslavenskoga i svjetskog tržišta.

Te su se peći dosad uvozile ili ih je ekipa Elektrotehničkog fakulteta proizvodila pojedinačno. One se ne griju klasičnim gorivom. U kotlu zagrijavanom električnom energijom može se postići temperatura prema izboru, ovisno o vrsti metala koji se tali. Pritome se postižu uštede energije od 30 do 40 posto. Glavna prednost takvih peći jest to što se u prostoru cijeloga elektromagnetskog polja, za razliku od klasičnih peći, stvara jednaka temperatura, što jamči ravnomjerno taljenje. Za te peći postoji veliko zanimanje na domaćemu i inozemnom tržištu. Predviđa se da će više od 60 posto proizvodnje proizvođači plasirati na konvertibilno tržište.

I. R.

## IZGRADNJA ENERGETSKIH KAPACITETA U 1988.

Zbog nedostatka financijskih sredstava elektroprivreda republika i pokrajina plan izgranje energetskih postrojenja u 1987. godini znatno je podbacio. U 1987. godini završena su i puštena u rad sljedeća postrojenja: TE Drmno, instalirane snage 348 MW; HE Mostar, 75 MW i HE Đerdap II, 54 MW — ukupno 407 MW.

Početak 1988. godine u izgradnji su bili sljedeći elektroenergetski kapaciteti: hidroelektrane u BiH — HE Višegrad, HE Dabar i Dabar-Fatnice (tunel); u Hrvatskoj HE Dale, HE Dubrava i akumulacija Lepenica; u Sloveniji HE Vrhovno i HE Fala (deveti i deseti agregati); — u Srbiji HE Zavoj i HE Đerdap II (priobalje). Ukupna instalirana snaga tih hidroelektrana je 751 MW, a proizvodnja 3 182 GWh.

U grupi termoelektrana grade se: u Bosni i Hercegovini TE Kakanj (već je u pogonu) i TE Ugljevik; u SR Hrvatskoj TE Plomin 2; u SR Makedoniji TE Bitola III; u SR Srbiji TE Drmno II i TE Kolubara B1 i B2, a u AP Vojvodini TE-TO Zrenjanin. Ukupna instalirana snaga termoelektrana u gradnji iznosi 2 098 Mw.

I. R.

## ODSUMPORAVANJE DIMNIH PLINOVA U TE PLOMIN 2

Izgradnja TE »Plomin 2« uvjetovana je ugradnjom uređaja za odsumporavanje dimnih plinova. Zaključkom Skupštine ZEOH i SIZ-a potrošača električne energije potkraj 1986. godine raspisan je međunarodni natječaj za izbor tehnologije pročišćavanja dimnih plinova. U lipnju 1987. godine in-

vestitor je vrednovao ponude i napravljen je izvještaj o ocjeni pojedinih tehnologija odsumporavanja plinova s prijedlogom za izbor najpovoljnije tehnologije. Na natječaj je ukupno stiglo 15 ponuda.

Komisija Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske za ocjenu postupka izbora tehnologije promotrila je izvještaj investitora i donesena je odluka o izboru tehnologije. Razmijenjena su i mišljenja s ekspertima Ujedinjenih naroda, nakon čega je odlučeno da se u uži izbor i za daljnju upotrebu odaberu dvije tehnologije koje zadovoljavaju postavljene kriterije.

Za TE »Plomin 2« najpodesnije su tehnologije koje zadovoljavaju ove uvjete:

1. natječajem zahtjevana razina emisije je  $800 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$  dimnog plina,
2. njihovom se primjenom u okolini ne smije povećati onečišćenost drugim oblicima emisije niti se povećati za okolinu (što se ponajprije odnosi na gips.)

I. R.

## IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

### O ISKORIŠTENJU ISTOSMJERNIH LINIJA U ELEKTROENERGETSKIM SISTEMIMA

U sklopu opće rasprave koja se vodi u SSSR-u o konfiguraciji ujedinjenoga elektroenergetskog sistema (OEE) na području cijele zemlje, u časopisu »Električestvo« br. 7 1987. pojavio se članak s naslovom »O iskorištenju linija istosmjernne struje u elektroenergetskim sistemima« autora V.V. Erševiča i V.D. Šlimoviča. Članku bi, možda, bolje odgovarao npr. naslov »Vizija razvoja OEE SSSR-a« i on je upravo zbog toga najzanimljiviji.

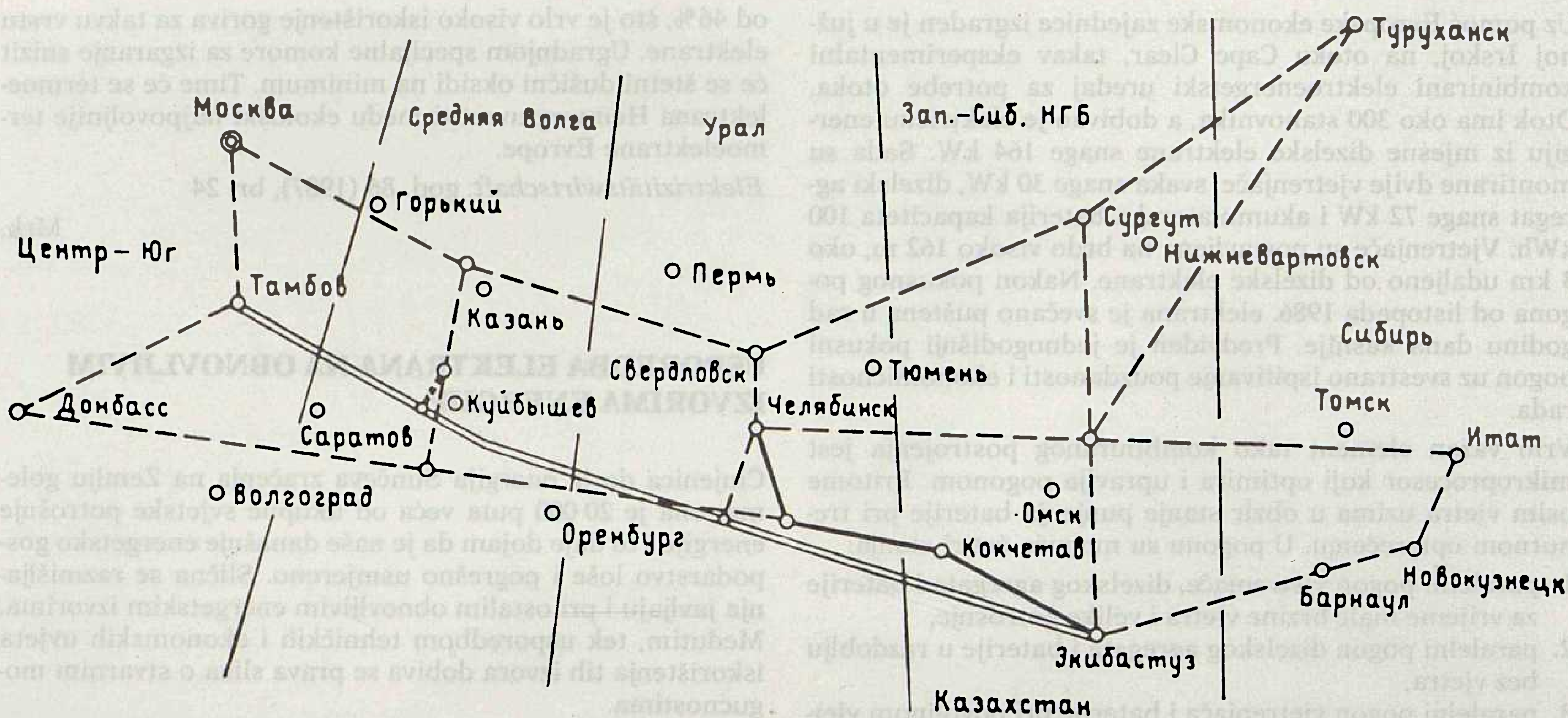
Autori razmatraju ulogu istosmjernih visokonaponskih veza i njihov zadatak u gradnji OEE. Takvim bi se vezama pojačala prijenosna moć glavnog pravca OEE istok-zapad, povezali bi se odvojeni elektroenergetski sistemi i periferna područja te uspostavile upravljive međuveze. Premda se prema elektroenergetskom programu pretpostavlja gradnja izvora tako da rajoni budu izbalansirani, OEE ipak treba imati mogućnost prijenosa od 12 do 15 GW. Glavni razlog gradnje OEE jest nejednakost strukture proizvodnje i potrošnje u evropskom dijelu SSSR-a i u Sibiru. Najveći broj nuklearnih elektrana izgrađen je u evropskom dijelu SSSR-a, koji obiluje bazičnom energijom. Osim toga, manevarske mogućnosti sibirskih rijeka ne mogu se potpuno iskoristiti. Gradnjom jakih veza između ta dva sistema energija bi noću tekla u Sibir, a danju iz Sibira u Evropu. Efekt gradnje veza istok-zapad može se uspoređivati s gradnjom odgovarajućih elektrana u evropskom dijelu SSSR-a, no njihova je gradnja opravdana tek ako su udaljenosti prijenosa vrlo velike. Za vezu evropskog dijela SSSR-a sa Srednjom Azijom, na udaljenosti 3 do 4 tisuće kilometara, ekonomično bi bilo izgraditi istosmjernu vezu prijenosne snage do 20 GW. Takav je planirani istosmjerni vod 1 500 kV Ekibastu — Tambov. Poseban je problem povezivanje sjevernog dijela srednje Azije sa OEE, jer pritom ne dolazi u obzir ni gradnja termoelektrana zbog dopreme goriva s velike udaljenosti, a ni gradnja nuklearnih elektrana (zbog potresa). Osim toga, energetska su centri i industrijska čvorišta međusobno vrlo udaljeni, a klimatski su uvjeti vrlo teški. Ta područja treba povezati s OEE istosmjernim ili trofaznim vezama, imajući na umu činjenicu da su istosmjernne veze veće od 1 000 km ekonomičnije. Priključiti treba i udaljene

hidroelektrane, npr. postojeće — Kolimsku i Viljusku, te projektiranu, Adičansku (na pritoku rijeke Jane). Vodovi bi bili dugi 1–1,5 tisuća km, prijenosne moći oko 500 MW. Pritom bi se vrlo dobro mogao primijeniti istosmjerni prijenos 600 do 800 kV. Na taj bi se način moglo vezati i Zakavkazje, a kabelom i otok Sahalin.

Problem upravljanja OEE u normalnome i havariranom režimu postaje sve važniji što se sistem brže razvija. U traženju rješenja zaključeno je da ne treba inzistirati na sinhronom radu cijelog OEE. U SSSR-u se prave projekti istosmjernih prijenosa i istosmjernih stanica za povezivanje (leđa uz leđa) radi provedbe što efikasnije regulacije. Razmatrana je npr. regulacija snage u prstenu Tomske-Nižnevartorsk-Surgut-Tjumen-Ural-Kustanaj-Ekibastuz-Barnaul-Tomska, duge nekoliko tisuća kilometara. Projektom je predviđena varijanta istosmjernne veze  $\pm 375 \text{ kV}$ , duga 900 km, prijenosne snage 1,5 GW i uspoređena s trofaznim duplim vodovima 500 kV. Prednost je dokazala istosmjerna varijanta. Takva konfiguracija prstena zahtijeva vrlo brzu regulaciju, a to se može postići samo istosmjernom varijantom. Ako se prihvati masovna primjena istosmjernih veza u SSSR-u, ona mora biti razmotrena u skladu s dugogodišnjim razvojem OEE. Do 2000. godine OEE se mora pojačavati trofaznim vodovima 750 kV i 1150 kV i istosmjernim vezama. Nakon toga treba prijeći ili na trofazni napon 2 000 kV ili na masovnu primjenu istosmjernog sistema.

Premda je danas nemoguće predvidjeti dugoročni razvoj, ipak se vide prednosti istosmjernog sistema, pa se valja orijentirati na njegovu gradnju. Već sada je na početnim etapama potrebno imati na umu konačna rješenja. Izgradnjom istosmjernne mreže 1500 kV pomakao bi se rok prijelaza na trofazne napone više od 1 150 kV. Smatra se da bi postojeći naponski nivoi bili dovoljni do te razvojne etape na kojoj bi se potrebna snaga u mreži SSSR-a udvostručila.

U povodu tog članka već su u istom broju časopisa tiskane diskusije triju autora. J.A. Nikulin zamjera autoru članka što govori o elektroenergetski izbalansiranim sistemima, a ipak predlaže prijenose velikih snaga. On smatra da rješenje treba tražiti u gradnji odgovarajućih elektrana na povoljnijim lokacijama i dalje razvijati trofazne mreže napona 220 kV, 330 kV, 500 kV i 750 kV te time izbjeći skupe istosmjernne veze. Činjenica je da je izgradnja istosmjernog voda



1500 kV Ekibastuz-Tambov 1985. izbačena iz plana 12. petoljetke. Planirano je da vod prenosi jeftinu energiju s ugljenih područja Karagande u evropski dio SSSR-a, i da ima prijenosnu snagu 6 000 MW. No taj prijenos u sljedećih 10 godina ne može biti iskorišten jer neće biti dovoljno energije za prijenos prema Evropi. Ta veza nije opravdana ni s gledišta pokrivanja vršnih opterećenja energijom sibirskih hidroelektrana. Uz ostalo, treba uzeti u obzir i gubitke. Nije riječ samo o prijenosu na istosmjernom vodu dugom 2414 km, već i o gubicima u trofaznim vodovima za skupljanje energije u centru Ekibastuz i odvođenje energije iz centra Tambov prema Moskvi i Kijevu. Predviđeni je istosmjerni vod polovicom svoje duljine paralelan s djelomično sagrađenim trofaznim dalekovodom 1150 kV. Nelogično je da takva dva dalekovoda još nepotvrđenih eksploatacijskih svojstava teku paralelno. Potrebe Urala pokrivat će se, kao i dosada, 500 kV-tnim vodovima iz evropskog dijela SSSR-a, a termoelektrane kod Ekibastuza grade se takvim tempom da upravo zadovoljavaju potrebe Kazakstana i Srednje Azije. Umjesto istosmjernog sistema na potezu Čeljabinsk-Ufa-Penza-Mihajlov treba forsirati trofazni vod 1150 MW prijenosne snage 5500 MW. Orijentacija na trofaznu vezu znači uštedu novca i vremena. Osim toga, bliža je realizaciji bez neočekivanih tehničkih problema (tiristori).

V.A. Venikov svakako inzistira na izradi varijanata rješenja s trofaznim i istosmjernim linijama. Upozorava da pri planiranoj konfiguraciji mreže valja računati s činjenicom da je rok trajanja dalekovoda mnogo dulji od roka trajanja nuklearnih elektrana. Uz strogo tehničke aspekte, u obzir treba uzeti i socijalno-ekonomske i ekološke. Kad se razmatra tako grandiozan projekt kao što je projekt OEE SSSR-a, to ne može biti djelo samo jedne projektne organizacije, već na njemu mora raditi više njih, uz razradu alternativa.

M.N. Rozanov polazi od činjenice da će, s obzirom na geografski oblik Sovjetskog Saveza, osnovna mreža imati smjer istok-zapad, pa najprije treba planirati njezinu konfiguraciju. Svaka mreža vrlo visokog napona (1150 i 1500 kV) mora biti logično ugrađena u osnovnu mrežu o kojoj, naravno, treba imati jasnu sliku. Ona će svakako utjecati i na mrežu nižih napona, 220 i 500 kV, sa čime također treba računati pri planiranju. Autor predlaže da se osnovna mreža istok-zapad sagradi kao sistem triju paralelnih veza vrlo visokog napona (slika) s poprečnim vezama. Na istoku bi krajnja točka bila Turnhansk i Itat, a na zapadu Moskva i Donbas. Stanice bi bile udaljene oko 500 km. Pojedine bi se linije iz-

gradile kao trofazne 1150 kV ili kao istosmjerne 1500 kV. Toj bi se mreži, prema potrebi mogla superponirati trofazna 1800 kV-tna i istosmjerna 2200 kV-tna mreža. Crtkane linije na prikazanoj shemi mreže predočuju trofazne 1150 kV-tne vodove, a dvostruka puna linija istosmjerni 1500 kV-tni dalekovod Ekibastuz-Tambov. Najdulja poprečna veza Surgut-Ekibastuz ima 1300 km. Puna linija Ekibastuz-Čeljabinsk označava trofazni vod 1150 kV koji se upravo gradi. Završena je i od 1985. radi dionica (500 km) do Kokčetava. Posebnu pažnju u takvom sistemu treba pridati zaštiti i automatici.

Ta živa diskusija o OEE i ulozi istosmjernih veza umnogome podsjeća na slične diskusije u sovjetskoj tehničkoj literaturi 1957/58. godine u povodu članka N.M. Meljgunova o perspektivi primjene istosmjernog prijenosa u SSSR-u. Borba mišljenja vodila se oko pitanja gradnje istosmjernog voda Volgograd-Danbas ( $\pm 400$  kV, duljine 470 km). Diskusiju je 1959. prekinuo premijer N. Hruščov i dao odobrenje za gradnju istosmjernog voda koji je u pogonu od 1965. god. Na kraju napominjemo da je prikaz trofaznog 1150 kV-tnog voda Ekibastuz-Kokčetev izišao u časopisu Energija br. 3/87, a diskusija o OEE u broju 5 i 6/87.

Mrk.

## KOMBINIRANE ELEKTRANE — VJETRENJAČE — DIZELSKI AGREGAT

Dobivanje električne energije pomoću vjetrenjača pokazalo se vrlo interesantnim i korisnim kao dodatni izvor uz dizelski agregat. Ako potrošač nije priključen na električnu mrežu već se napaja iz dizelskih agregata, električna je energija vrlo skupa, pa je pogon kombiniran s eolskim elektranama već danas ekonomičan. U SR Njemačkoj se razvijaju takvi kombinirani sistemi na modularnom principu. U obzir dolazi kombinacija vjetrenjača — dizelski agregat — akumulatorska baterija ili vjetrenjača — solarne ćelije — akumulatorska baterija. Radi jednoličnog dobivanja energije prikladno je izgraditi dvije do tri elektrane na vjetar koje rade paralelno. Paralelan rad dvaju vjetrenih konvertera izveden je prema narudžbi za Jordaniju (pumpanje vode) i Kapverdske otoke. Vjetrenjače su standardnog tipa (MAN — Aero-man), 20 kW, s asinhronim generatorima i izlaznim naponom 380 V.

Uz pomoć Evropske ekonomske zajednice izgrađen je u južnoj Irskoj, na otoku Cape Clear, takav eksperimentalni kombinirani elektroenergetski uređaj za potrebe otoka. Otok ima oko 300 stanovnika, a dobivao je električnu energiju iz mjesne dizelske elektrane snage 164 kW. Sada su montirane dvije vjetrenjače, svaka snage 30 kW, dizelski agregat snage 72 kW i akumulatorska baterija kapaciteta 100 kWh. Vjetrenjače su postavljene na brdo visoko 162 m, oko 3 km udaljeno od dizelske elektrane. Nakon pokusnog pogona od listopada 1986. elektrana je svečano puštena u rad godinu dana kasnije. Predviđen je jednogodišnji pokusni pogon uz svestrano ispitivanje pouzdanosti i ekonomičnosti rada.

Vrlo važan element tako kombiniranog postrojenja jest mikroprocesor koji optimira i upravlja pogonom. Pritome osim vjetra uzima u obzir stanje punjenja baterije pri trenutnom opterećenju. U pogonu su moguća četiri stanja:

1. paralelni pogon vjetrenjače, dizelskog agregata i baterije za vrijeme male brzine vjetra i velike potrošnje,
2. paralelni pogon dizelskog agregata i baterije u razdoblju bez vjetra,
3. paralelni pogon vjetrenjača i baterije pri povoljnom vjetru,
4. samo pogon baterije u razdoblju slabog vjetra i malog opterećenja.

Kombinacija izvora energije iz vjetrenjača-solarnih ćelija i baterije nabavljena je i za malo mjesto u pustinji Jordanije.

Postrojenje se sastoji od dvije vjetrenjače snage po 20 kW, fotovoltaičkog generatora nazivne snage 15 kW i akumulatorske baterije kapaciteta 250 kWh.

Upravljanje se obavlja pomoću mikroprocesora koji ima zadatak da regulira i nadzire bateriju, upravlja pogonom pretvarača frekvencije, regulira snagu i frekvenciju, ukopčava i isključuje uređaj za kompenzaciju te regulira priključak i napajanje iz solarnih ćelija.

*ETZ*, god. 108 (1987), br. 22

Mrk.

## PRVI NJEMAČKI PARK VJETRENJAČA PUŠTEN U RAD

U sklopu njemačkoga razvojnog energetskega programa izgrađen je i u ljetu 1987. pušten u rad prvi njemački park vjetrenjača — elektrana. Park je smješten na obali Sjevernog mora u pokrajini Schleswig-Holstein, a zauzima površinu od 20 ha (oko 14 nogometnih igrališta). Vjetrenjače su raspoređene u tri reda po 10, dakle, ukupno je 30 postrojenja. Njih 20 pripada tipu »Aeroman«, a snaga im je po 30 kW, 5 od 55 kW, tipa »Enercon 2«, a 5 po 25 kW, tipa »Elektromat«. Dakle, ukupna im je instalirana snaga 1 MW, a predviđa se proizvodnja 2 GWh godišnje. Ukupni troškovi parka iznose 5,3 milijuna maraka.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 86 (1987), br. 23

Mrk.

## NJEMAČKA PLINSKA TURBINA PRVI PUTA U SVIJETU U PUNOM POGONU

U termoelektrani Hemweg (Nizozemska) u ljetu 1987. puštena je pod puno opterećenje najveća plinska turbina u svijetu snage 140/155 MW, proizvod BBC-a. Od polovine 1988. plinska će turbina imati ulogu predturbine ispred kotla postojećeg termobloka. Time će se stupanj djelovanja cijelog uređaja znatno povećati i postići će se ukupno iskorištenje

od 46%, što je vrlo visoko iskorištenje goriva za takvu vrstu elektrane. Ugradnjom specijalne komore za izgaranje snizit će se štetni dušični oksidi na minimum. Time će se termoelektrana Hemweg uvrstiti među ekološki najpovoljnije termoelektrane Evrope.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 86 (1987), br. 24

Mrk.

## USPOREDBA ELEKTRANA NA OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE

Činjenica da je energija Sunčeva zračenja na Zemlju golema, ona je 20 000 puta veća od ukupne svjetske potrošnje energije i to daje dojam da je naše današnje energetske gospodarstvo loše i pogrešno usmjereno. Slična se razmišljanja javljaju i pri ostalim obnovljivim energetskega izvora. Međutim, tek usporedbom tehničkih i ekonomskih uvjeta iskorištenja tih izvora dobiva se prava slika o stvarnim mogućnostima.

Voda je najstariji obnovljivi i dosada najčešće iskorištavan izvor energije. Njezino je iskorištenje na pojedinim kontinentima vrlo različito, što se vidi iz tablice 1.

Tablica 1.

Kontinent	Raspoložive vodne snage %	Izgrađene vodne snage %
Evropa	6	54
Azija	46	9
Afrika	17	3
Amerika	29	20
Oceanija	2	14

Gotovo polovina raspoloživih vodnih snaga svijeta nalazi se u Aziji, a najslabije su iskorištene vode Afrike.

Energija vjetra vrlo je velika, ali zbog svoje rasprostranjenosti teže iskoristiva, slično kao direktno zračenje Sunca. Vjetrenjače, naime, rade većinom pri brzini vjetra od 5 m/s do 20 m/s. Redovno su za njihovu gradnju najpovoljnija primorska i planinska područja. Taj energetskega izvor podložen je velikim kolebanjima, ali je u tome ipak povoljniji od Sunčeva zračenja. Vjetar puše i noću, a prilike su povoljnije zimi, kad je potrošnja energije najveća. Međutim, treba istaknuti da se napajanjem javne električne mreže iz vjetrenjača ne smanjuje potreba gradnje klasičnih elektrana jer električna energija mora biti raspoloživa i u razdobljima bez vjetra. Smatra se da je u svijetu 1986. godine bilo oko 16 000 elektrana — vjetrenjača priključenih na mrežu. Ukupna im je snaga bila oko 1100 MW. Naročito ih je mnogo instalirano u Kaliforniji, približno 8 000, ukupne snage 650 MW.

Dobivanje električne energije iz Sunčeve energije zračenja može se postići na dva načina: direktno, pomoću solarnih ćelija, ili indirektno, u solarno-termičkim elektranama (za evropske prilike manje zanimljivima). Praktički se mora smatrati da solarna ćelija veličine 10 × 10 cm može dati snagu od 1 W. Radi uštede goriva, danas postoje samo pokusne solarne elektrane. Najveća evropska solarna elektrana na poluotoku Pell-worm ima 300 kW, a zauzima površinu 28 000 m<sup>2</sup>. Sunčevo je zračenje zapravo nepostojaniji izvor energije od vjetra. Iskorištenje takve energije zahtijeva velike površine i velike elektroenergetske spremnike koji danas ne postoje. Ako bismo nuklearnu elektranu snage 1 300 MW sa 7 000 sati iskorištenja i negdje u srednjoj Evropi željeli zamijeniti solarnom, solarnim bi se ćelijama morala pokriti površina 12 × 12 km. Dodatno bi trebalo ugra-

diti baterijski uređaj velike snage za pokrivanje noćnih i zimskih manjkova. Mnogo su povoljnije prilike, naravno, u zemljama s mnogo sunca, pa je Sunčeva elektrana prikladna za pogon neovisan o mreži, ponajprije u zemljama u razvoju.

U tablici 2. navedena je potrebna površina tla po kW za neke elektroenergetske izvore. Potrebna površina za solarnu elektranu svakako je najveća.

**Tablica 2.**

Vrsta elektrane	Površina m <sup>2</sup> /kW
solarna	15
eolska	3
termoelektrana	0,01 – 0,02

Različite vrste elektrana imaju i različito iskorištenje primarne energije. Osim toga, zanimljiv je odnos između energije koju može dati takva elektrana u toku svoga životnog trajanja i energije potrebne da se ona realizira. Taj je odnos naročito velik za hidroelektrane, a malen za solarne elektrane, što se vidi i iz tablice 3. Naprimjer, taj odnos za hidroelektrane govori da takva elektrana za tri godine rada proizvede jednako toliko energije koliko je bilo potrebno za njezinu gradnju i pogon. Naprotiv, elektrana sa solarnim ćelijama za 20 godina svog rada proizvede toliko električne energije koliko je bilo potrebno da se proizvede.

**Tablica 3.**

Vrsta elektrane	Vijek trajanja (godina)	Iskorištenje (u %)	Odnos energije
protočna hidroelektrana	50	85 – 90	13 – 18
eolska elektrana (vjetrenjača)	25	25 – 35	2 – 10
solarne ćelije s monokristalima	20	11 – 16	0,5 – 1
solarne ćelije s tankim slojem TE na ugljen za zaštitom okoliša	20	4 – 7	1 – 5
nuklearna elektrana	25	38 – 42	3 – 8
	30	33 – 40	9 – 13

S obzirom na troškove proizvedenog kWh, svakako je najskuplja energija solarne elektrane. Razlike su mnogo manje za manje snage, osobito u usporedbi s dizelskim agregatom. No pritom treba uzeti u obzir i dodatne troškove akumulatorske baterije uz solarne i eolske elektrane. Troškove po kWh iz različitih elektrana i akumulatorskih baterija za nazivne snage 10 i 1 000 kW daje tablica 4.

**Tablica 4.**

Elektrana	US dolara po kWh	
	10 kW	1 000 kW
dizelska	0,70 – 1,40	0,14 – 0,22
solarna	0,55 – 0,90	0,60 – 1,00
eolska	0,22 – 0,26	0,08 – 0,1
termoelektrana	—	0,065 – 0,08
hidroelektrana	—	0,032 – 0,045
akumulator Pb	0,50 – 0,75	0,35 – 0,45
akumulator NaS	0,25 – 0,40	0,14 – 0,22

Troškovi su dani u dolarima. Treba, međutim, primijetiti da je 1 000 kW za termoelektrane i hidroelektrane vrlo mala snaga, pa je cijena razmjerno visoka. Već za snagu 100 MW cijena po kWh pada na 0,032 – 0,04 dolara, u termoelektranama i na 0,019 – 0,023 dolara u hidroelektranama.

ETZ, god. 108 (1987), br. 22

Mrk.

## VELIKI PRIJENOSI U KINI

U Pekingu je u listopadu 1987. održan internacionalni skup o visokonaponskom prijenosnom sistemu u Kini. Skup su zajednički organizirali američki IEEE (društvo elektroinženjera) i kineski CSEE (kinesko društvo elektroinženjera). Valja istaknuti da je to prvi put IEEE organizirao neki skup izvan SAD. Time je prekinuta tradicija, pa je slična konferencija predviđena 1991. u Indiji. U Pekingu je prodiskutirano 150 radova, od čega su 70 bili radovi kineskih stručnjaka. Glavna je tema bila razvoj visokonaponske prijenosne tehnike u Kini. Razmatrani su trofazni sistemi veći od 500 kV i istosmjerni viši od ±500 kV. Danas se realnim istosmjernim prijenosnim naponom smatra napon ±800 kV, s vizijom od ±1200 kV za prijenos od 10 000 MW s gornjeg toka rijeke Brahmaputre.

Kina je 1986. imala 94 GW instalirane snage elektrana, što je približno jednako instaliranoj snazi u SR Njemačkoj. No pritom treba uzeti u obzir da Kina ima milijardu stanovnika, a SR Njemačka 60 milijuna. Prema tome, može se zaključiti da je Kina u elektrifikaciji još vrlo zaostala zemlja.

Geografski položaj vodnih snaga i ugljenih nalazišta, s jedne te primorski razmještaj velikih industrijskih gradova, s druge strane, zahtijeva gradnju dugih vodova velike prijenosne snage.

Od velikih projekata upravo je pri završetku istosmjerni prijenosni sistem snage 1 500 MW od hidroelektrane Gešuba na rijeci Jangce do Šangaja. Dug je 1 100 km. Razmotren je projekt prijenosa 15 000 do 18 000 MW s elektrana u klancima rijeke Jangce, u alternativama trofaznoga i istosmjernoga sistema. U obzir je paralelno uzet trofazni sistem 500 kV s istosmjernim ±600 kV prema 750 kV, samo trofaznim.

Taj se problem prije toga dugo razmatrao u referatima kineskih stručnjaka. Referati predstavnika SAD, Kanade, Francuske, SR Njemačke i ostalih zemalja odnosili su se na komponente prijenosa, npr. tiristorske modele, i na uvjete pogona. Prikazana su dosadašnja iskustva stečena pri gradnji 2 000 MW-tne istosmjerne veze Francuska-Velika Britanija i istosmjernog otcjepa linije Italija-Sardinija na Korzici.

ETZ, god. 109 (1988), br. 2

Mrk.

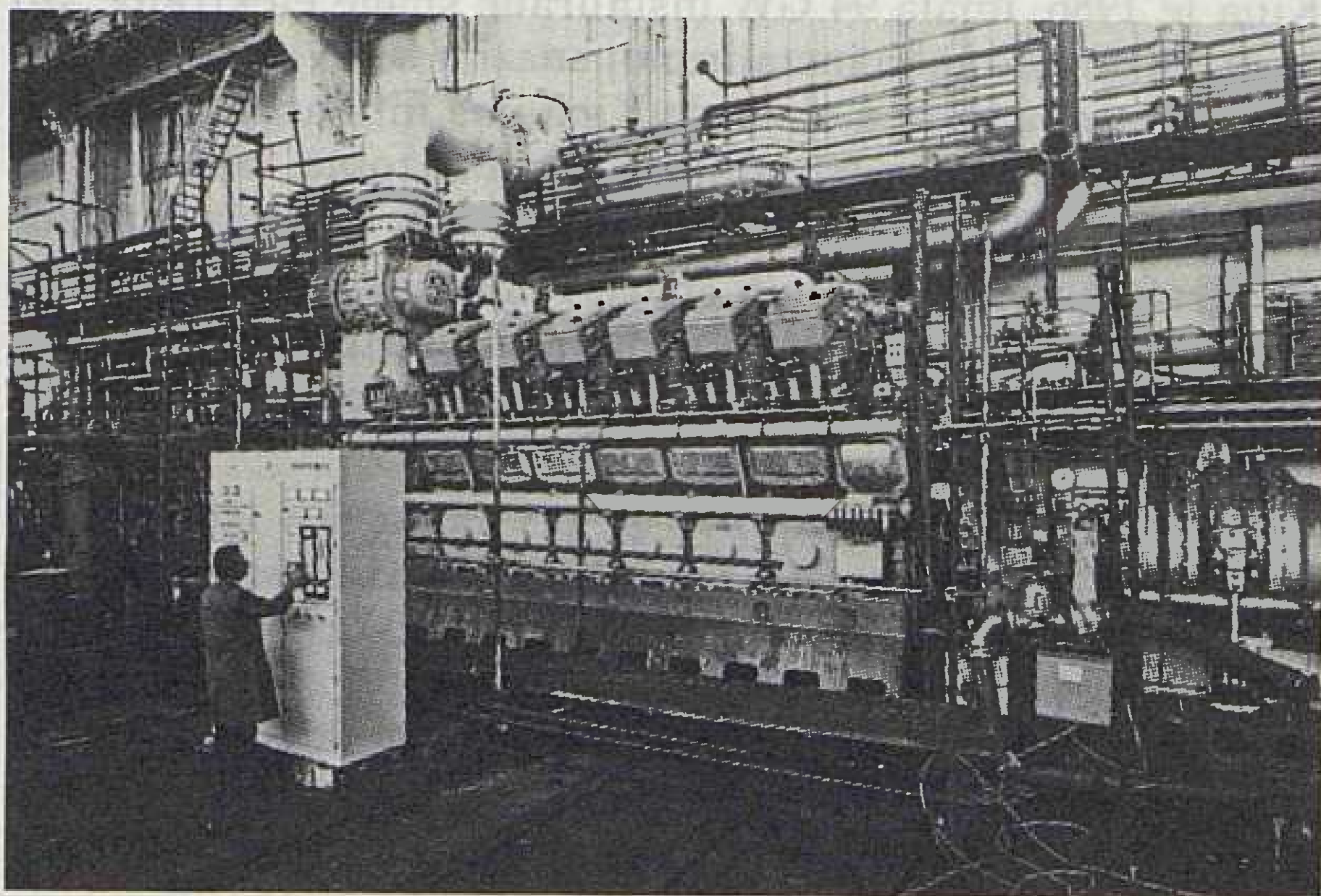


# »JUGOTURBINA«

INDUSTRIJA METALNIH PROIZVODA, OPREME I POSTROJENJA SOUR o. sub. o.  
47000 KARLOVAC, VIII divizije 10, Jugoslavija Tel. (047) 31-533; Telex: 23736

## PROIZVODNI PROGRAM:

- ENERGETSKA OPREMA I POSTROJENJA: parne turbine za pogonjenje generatora u nuklearnim i klasičnim termoelektranama i toplanama, te za pogonjenje ostalih radnih strojeva; turbokompresori, dizel agregati i kompletna energetska postrojenja.
- BRODSKA OPREMA: glavni i pomoćni dizel motori, parne turbine, pumpe i automatika
- PUMPE I PUMPNA POSTROJENJA
- POSTROJENJA ZA PROČIŠĆAVANJE KOMUNALNIH I INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA
- KLIZNI LEŽAJEVI
- ELEKTRONIKA, AUTOMATIKA I BIROTEHNIKA
- PROJEKTIRANJE I IZGRADNJA INDUSTRIJSKIH I DRUGIH GRAĐEVINSKIH OBJEKATA
- GRAĐEVINSKI OKOV, ČAVLI I DRUGI ŽIČANI PROIZVODI
- PROIZVODI OD TERMOPLASTIČNIH MASA



Dizel motor 12 ZV 40 od 6220 KW za havarijsku stanicu u NE — SSSR

## »JUGOTURBINA«

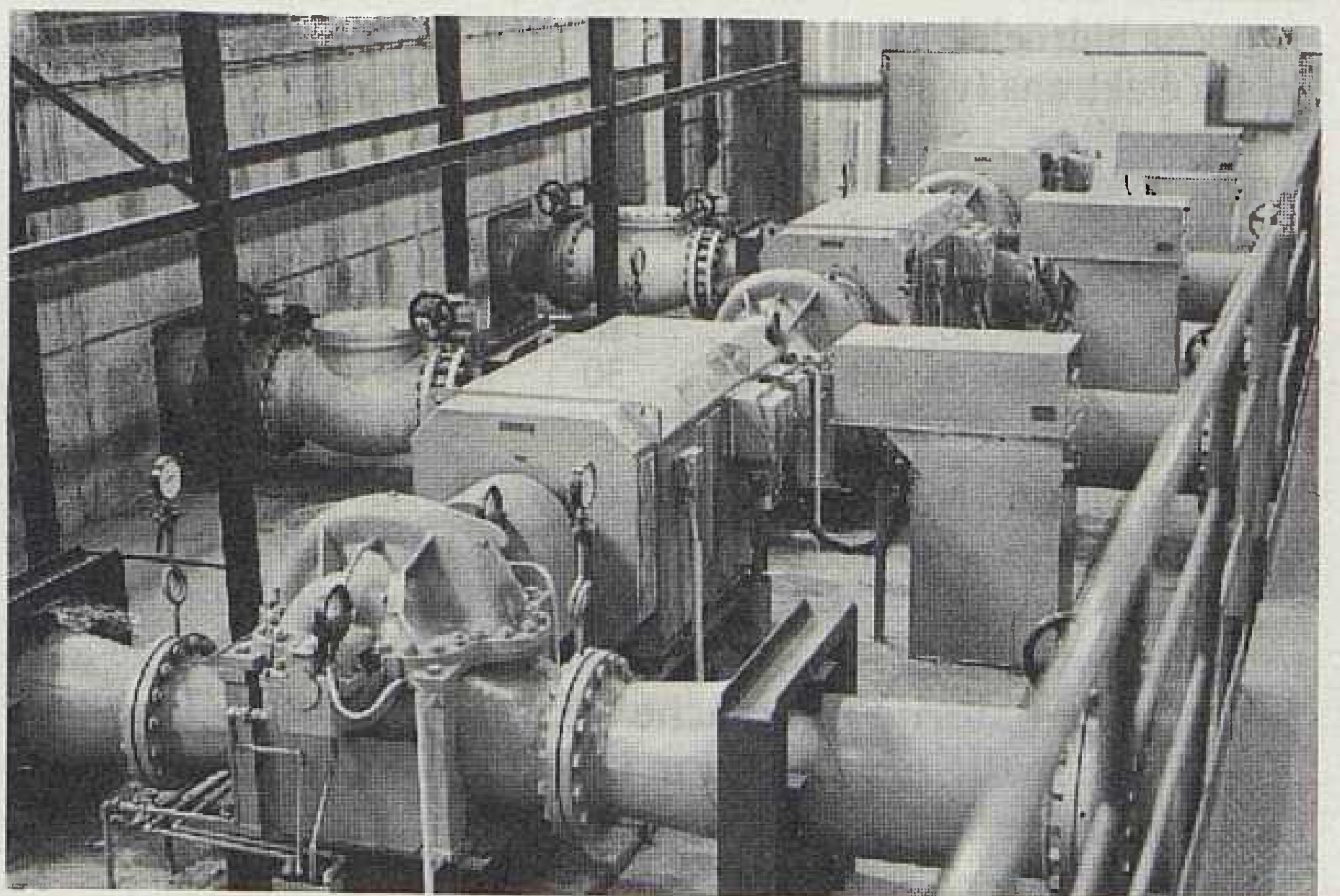
— TRGOVINA I INŽENJERING n. sol. o.  
47000 KARLOVAC, Trg Braće M. i J. Benić 2,  
Jugoslavija Tel. (047) 26-022; Telex 23745

## DJELATNOSTI:

- INŽENJERING (Konzalting, projektiranje, isporuka opreme i izgradnja objekata) za ENERGETSKA, HIDRO I INDUSTRIJSKA POSTROJENJA
- IZVOZ — UVOZ, ZASTUPSTVO, TRGOVINA NA VELIKO I MALO

## REFERENCE NA SVIM KONTINENTIMA:

500 turboagregata  
1.400 dizel motora  
65.000 pumpnih agregata



Pumpna stanica u TO Ljubljana

## PUMPE ZA ENERGETSKA POSTROJENJA (TERMoeLEKTRANE-TOPLANE)

Proširenje postojećeg programa napojnih, kondenzatnih i rashladnih pumpi zadovoljit će uvjete termoelektrana i toplana, snage do 1200 MW. Nekoliko stotina instaliranih pumpi od kojih neke besprijekorno rade već više od 20 godina u najvećim energetskim postrojenjima u zemlji (Zagreb, NE Krško, Ljubljana, Zenica, Obrenovac, Plomin, Lučani, Brestalnica, Kakanj, Skopje, Zrenjanin, Banja Luka, Kosovo itd) i 70 pumpi koje rade u termoelektranama u Kampuru, Kandli i Barauni — Indija, Rhodos i Linoperamata u Grčkoj kao i saradnja sa vodećim svjetskim firmama, garantiraju uspjeh u razvoju i proizvodnji pumpi za energetiku.

IZDAVAČI

Godište 37 (1988)

Zagreb 1988

Br. 5

Zajednica elektroprivrednih  
organizacija Hrvatske  
Institut za elektroprivredu, Zagreb  
SIZ za znanstveni rad Hrvatske

## SADRŽAJ

- Udovičić B. — Pešut D. — Vuk B.:* Planiranje razvoja energetskeg sistema (Pregledni rad) . . . . . 439
- Čorak D. — Mužek Z. — Jelavić V.:* Usmjeravanje energetske opskrbe urbane sredine (Prethodno saopćenje) . . . . . 447
- Granić G. — Bradarić M. — Topić J. — Bilčar N. — Alerić S.:* Planiranje razvoja elektroenergetskog sistema (Pregledni rad) . . . . . 453
- Jelavić B. — Klepo M. — Zeljko M. — Tomašić D.:* Planiranje eksploatacije elektroenergetskog sistema (Originalni znanstveni rad) . . . . . 457
- Petričec M.:* Pristup planiranju višenamjenskih hidrotehničkih objekata (Pregledni rad) . . . . . 467
- Mužek Z. — Komerički Z.:* Analiza društvene opravdanosti gradnje jedinice za zajedničku proizvodnju topline i električne energije u uvjetima neizvjesnosti (Prethodno saopćenje) . . . . . 475
- Magdić M. — Staničić L. — Jurišić S.:* Investicije, financiranje, cijena električne energije (Pregledni rad) . . . . . 483
- Malbaša N.:* Kritički osvrt na ulogu studije o utjecaju na okolinu u rješavanju ekoloških problema (Pregledni rad) . . . . . 495
- Jelavić V. — Čurković J.:* Matematički modeli za procjenu utjecaja termoenergetskih postrojenja na okolinu (Pregledni rad) . . . . . 503
- Tonković Z.:* O naponskom slomu i prilikama u zapadnom dijelu jugoslavenskoga elektroenergetskog sistema (Pregledni rad) . . . . . 513

## IZDAVAČKI SAVJET

Dr Ivo Hrs, dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Josip Antić, dipl. inž., »Elektroprimorje« Rijeka — Anđelko Modrčin, dipl. inž., »Elektroprivreda« Rijeka — Anđelko Dujmović, dipl. inž., »Elektroslavonija« Osijek — Dragutin Stanić, dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Split — mr Damir Subašić, dipl. ecc., Republički komitet za energetiku — Zdenka Jelić, prof., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Mladen Zeljko, dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Zagreb

## UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: dr Zorko Cvetković, dipl. inž.  
Urednik: Zdenka Jelić, prof.

Urednici rubrika: »Energetski sistemi«, Nikola Bilčar, dipl. inž. — »Hidroelektrane«, Krunoslav Begović, dipl. inž. — »Termoelektrane i Toplane«, Mladen Nadinić, dipl. inž. — Prijenos električne energije, Zdenko Tonković, dipl. inž., Zagreb — »Razvod, distribucija i potrošnja električne energije«, Josip Antić i Mladen Ježić, dipl. inž., — »Ekonomika elektroprivrednih poduzeća, ekonomskofinancijska i tarifna pitanja, te ekonomika poslovanja«, dr Jure Šimović, dipl. oec. i Željko Vodopija, dipl. oec. — Tehnički urednik: Branko Mališ — Lektor: Vladimir Strojny, prof. — Metrološka recenzija: Mladen Zeljko, dipl. inž.

Časopis je oslobođen plaćanja poreza na promet rješenjem Republičkog sekretarijata za prosvjetu, kulturu i fizičku kulturu SR Hrvatske broj 886/1-1979.

## Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica Proleterskih brigada 37

Pošt. pretnac 293, telefoni 511-455, 513-822 (328)

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 6000 dinara, a za poduzeća i ustanove 24000 dinara (za studente 3000) dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 4000.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

Institut za elektroprivredu (za »Energiju«) broj 30101-603-565

Tisak i klišej: RO »Zrinski« TIZ, Čakovec

<i>Rajić Ž. — Baldasari D.:</i> Kompenzacija jalove snage i energije u distributivnim mrežama (Prethodno saopćenje) . . . . .	517	<i>Krejči M. — Štingl H. — Selanec Z. — Kučak J. — Avdejev D. — Bezlaj H.:</i> Consulting-usluge za gradnju energetskih postrojenja i osiguranje kvalitete (Pregledni rad) . . . . .	565
<i>Žutobradić S. — Mehičić K. — Šimunec R.:</i> Tehničko-informacijski sustav distributivnih mreža SR Hrvatske (Prethodno saopćenje) . . . . .	523	<i>Zelić M.:</i> Praćenje rada hidroenergetskih objekata (Stručni rad) . . . . .	569
<i>Filipović—Grčić B.:</i> Novi pristup proračunu podešenja i analizi rada relejne zaštite u visokonaponskim mrežama (Pregledni rad) . . . . .	527	<i>Bojić S. — Blažičko M. — Stanković Đ.:</i> Suvremeni pristup održavanju grupe hidroelektrana u slivu (Stručni rad) . . . . .	573
<i>Jung M. — Tonković Z. — Nevečerel D. — Jerbić G.:</i> Utjecaj elektroenergetskih vodova na okolinu (Pregledni rad) . . . . .	533	<i>Balog M. — Bradač V. — Vojvodić R.:</i> Doprinos sigurnosti i raspoloživosti NE Krško provedbom pogonskih ispitivanja (Stručni rad) . . . . .	577
<i>Kunaj H. — Barilar D.:</i> Značenje i osnove metode optimizacije hladnog kraja termoelektrana (Originalni znanstveni rad) . . . . .	541	<i>Koruza J.:</i> Zbrinjavanje radioaktivnog otpada nuklearnih elektrana (Pregledni rad) . . . . .	581
<i>Nadinić B.:</i> Utvrđivanje energetskih karakteristika termoenergetskih postrojenja (Pregledni rad) . . . . .	551	<b>Vijesti iz elektroprivrede</b> . . . . .	591
<i>Mužny J. — Sekso A. — Mihalic D.:</i> Karakteristike mjerne opreme i statističke metode pri ispitivanju izolacijskih sistema u visokonaponskom laboratoriju i na terenu (Pregledni rad) . . . . .	557	<b>Iz strane stručne literature</b> . . . . .	593
		<b>Nove knjige</b> . . . . .	595
		<b>Oglasi</b> . . . . .	597

# PLANIRANJE RAZVOJA ENERGETSKOG SISTEMA

Prof. dr. Božo Udovičić — mr. Damir Pešut — mr. Branko Vuk, Zagreb

UDK 621.31.001

PREGLEDNI RAD

Daje se sistematizacija matematskih modela za planiranje razvoja energetskog sistema. Planiranju razvoja energetskih sistema prilazi se kao zanimljivom procesu u kojemu se, ovisno o funkciji planiranja, primjenjuje adekvatni tip modela. Iznose se osnovne osobine pojedinih tipova modela za predviđanje potrošnje i određivanje strukture opskrbe energijom.

**Ključne riječi:** energetski sistem, planiranje, matematski modeli.

## 1. ZNAČENJE RAZVOJA ENERGETIKE U RAZVOJU DRUŠTVA

Svakom je razvoju privrede i društva potrebna odgovarajuća energija. U nastojanju za dobrim gospodarenjem energijom, kao i svakim drugim materijalnim dobrom, teži se minimiziraju potrošnje energije za ostvarenje jednakih koristi od utrošene energije.

Nepravodobni razvoj energetike postaje limitirajući faktor razvoja privrednih djelatnosti jer neopskrbjenost energijom vodi velikim poremećajima u proizvodnji i znatnim gubicima.

Razvoj potrošnje energije vezan je za velik broj utjecajnih faktora specifičnih za svako područje (porast stanovništva, razvoj znanosti i tehnike, privredni razvoj, zemljopisni položaj, standard). Osim što je djelovanje faktora na svakom području, a i unutar istog područja različito, vremenski se mijenja intenzitet djelovanja. Posljedica toga je činjenica da ostvarenja potrošnje osciliraju oko neke osnovne linije trenda.

Za razvoj energetike vrlo je važan izbor optimalne strukture, što je izvanredno kompleksan problem. Rješenje optimalne strukture ne ovisi samo o energetskim izvorima zemlje, već o međusobnim ovisnostima između primarnih i transformiranih oblika energije, o potrebnim oblicima energije koji se — na današnjem stupnju razvoja — ne mogu supstituirati drugim oblicima energije, o potrebnom transportu i ekonomičnosti transporta oblika energije, mogućnostima i potrebama uvoza pojedinih oblika energije, lokaciji potrošača, karakteristikama potrošnje, utjecaju na druge privredne grane i na okolinu itd. Zato je i razumljivo da se danas pogotovo u razvijenim zemljama, stalno proučava stanje i razvoj energetike.

Planiranje razvoja energetike ima osobitu ulogu zbog ovisnosti razvoja društva o sigurnim, dovoljnim i odgovarajućim količinama potrebnih oblika energije te zato što energetika angažira (zahtijeva, traži) golema financijska sredstva. Stoga su temeljne postavke od kojih se polazi pri rješavanju energetskih

problema to da ti problemi nisu neki posebni problemi koje je potrebno tretirati drukčije nego ostale segmente društveno-ekonomskog razvoja zemlje ili da se oni mogu sagledavati izvan konteksta totaliteta toga razvoja. U skladu s tim, ciljevi razvoja energetike moraju biti usklađeni s ciljevima ukupnoga društveno-ekonomskog razvoja, a kriteriji za njihovo programiranje proizlaze iz tih ciljeva. Razumljivo, razvojni su ciljevi po svojoj prirodi uvijek međusobno konfliktni, a ta je konfliktnost naročito očita pri usporedbi razvojnih programa s razvojem energetike zbog investicijske intenzivnosti u energetici.

Da bi se smanjili konflikti među privrednim i energetskim granama, potrebno je što detaljnije znanstveno i stručno objektivizirati probleme i kriterije, pa stoga pri programiranju razvoja energetike treba početi od sljedećih kriterija:

- sigurnosti opskrbe potrošača uz minimalne troškove
- racionalnog korištenja domaćih resursa, uz pravilnu valorizaciju uvoznih oblika energije
- postići što bolju fleksibilnost potrošnje oblika energije
- maksimalno sprečavati monopolistički utjecaj pojedinih oblika energije
- postići zadovoljavajuće uvjete u zaštiti okoline.

Navedeni su kriteriji nakon svega što se dogodilo sedamdesetih i osamdesetih godina na međunarodnom tržištu pojedinih oblika energije, a posebno nafte i njezinih derivata postali nužnost.

Događaji koji su se zbili nisu bili posljedica iscrpljenosti rezervi pojedinih oblika energije nego posljedica ekonomsko-političkih odnosa u svijetu.

Osim toga, važno je i sa stajališta svake pojedinačne energetske grane da postoji sasvim jasno određena privredna i, kao njezin sastavni dio, energetska politika, osobito zbog investicija u energetiku, koje imaju dvije bitne karakteristike: prvo, zahtijevaju relativno mnogo sredstava u odnosu prema ostalim privrednim granama, i drugo, potrebno je relativno više

vremena za aktiviranje tih investicija nego što je to slučaj u drugim privrednim granama. Stoga nagle promjene u ciljevima energetske politike mogu izazvati velike poremećaje i gubitke u pojedinoj energetskej grani, a sa stajališta nacionalne privrede mogu biti i neracionalne ako se ne sagledaju svi kratkoročni i dugoročni efekti takvih odluka privredne politike u području energetike.

Iz toga proistječe da energetska politika mora uzeti u obzir i to da ne šteti energiju ili da ne racionalizira energiju u jednom dijelu nacionalne privrede (supstitucijom, novim tehnološkim rješenjima i sl.), da time u drugom dijelu privrede povećava troškove (energetske i ostale), ako to prije toga nije opredjeljenje privredne politike kao cjeline.

Obično potrošač pri izboru oblika energije u svojim energetskeim proračunima računa samo s direktno iskorištenom energijom. Nacionalna privreda u cjelini pri racionalnom korištenju energije mora računati i s indirektno korištenom energijom.

Energetska politika, dakle, mora u sklopu opće privredne politike omogućiti sinhronizaciju interesa djelatnosti pridobivanja i korištenja energije. Prihvatanje maksimalističkih zahtjeva bilo kojeg od ta dva subjekta može u privredivnaje unijeti velike teškoće.

Značenje energetike zahtijeva ekonomiziranje cjelokupnim tokom energije (od istraživanja do krajnjeg korištenja) svakim energentom posebno i energetikom ukupno.

U mnogim je zemljama većina napora danas usmjerena na ekonomiziranje samo naftom, što bez uočavanja kompleksnih energetskeih problema, sirovina i, još više od toga, cjeline privredne situacije daje polovične, neprimjerene mjere energetske odnosno privredne politike. Tako donešene mjere mogu donijeti korist pojedinim dijelovima privrednog sistema, ali mu ukupno mogu više štetiti nego koristiti.

U izboru novih tehnologija u energetici osim minimuma troškova (ili maksimalne dobiti) i energetske efikasnosti potrebno je uzeti u obzir i dodatne kriterije, među kojima su najvažniji ekološki, sociološki i znanstveno-razvojni. Svaki navedeni kriterij mora biti uključen u polazne proračune, a njihovim se uvažavanjem povećavaju potrebna investicijska ulaganja.

Povećanje investicijskih troškova posljedica je dodatnih zahtjeva za zaštitu okoline: tla, zraka, vode, estetskog izgleda, snošljive buke, odlaganja otpadaka itd. Osim toga, izgradnjom velikih energetskeo-industrijskih postrojenja (niže specifične investicije) postižu se negativni sociološki efekti, pa je potrebno graditi manja dislocirana postrojenja, koja su po pravilu investicijski skuplja od velikih. Konačno, da bi jedna zemlja ili društvo imalo dobar znanstveno-tehnološki razvoj, to društvo mora osigurati financijska sredstva za takav razvoj.

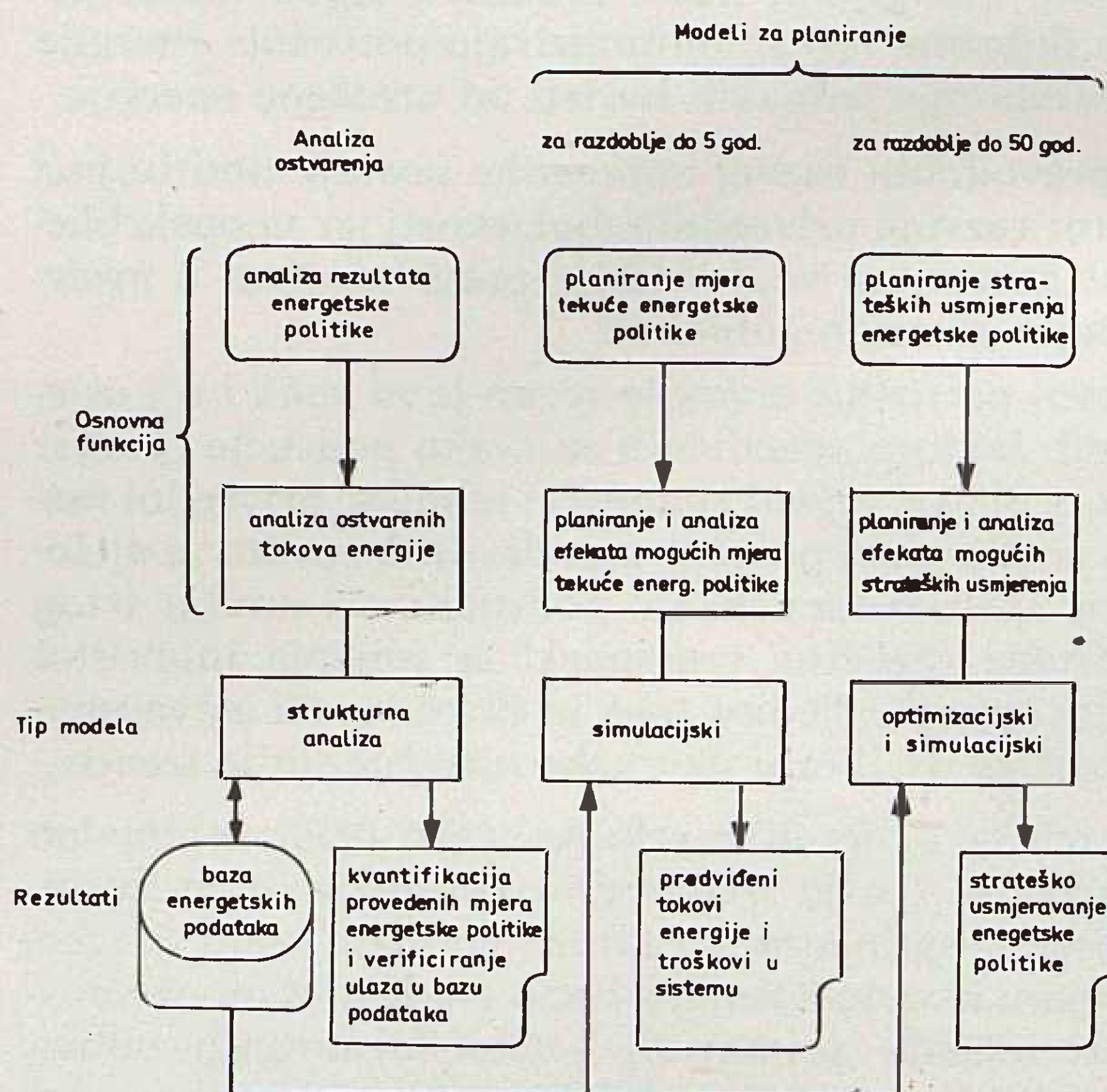
## 2. KONCEPT PLANIRANJA RAZVOJA ENERGETSKOG SISTEMA

### 2.1. Postupci za analiziranje i planiranje rada i razvoja energetskeog sistema

Poznati je niz događaja nakon naftne krize iz prve polovice sedamdesetih godina upozorio vlade mnogih zemalja na nužnost racionalizacije energetske potrošnje i unapređenja odnosa prema ukupnoj energetici zemlje.

Energetski je sistem zemlje (republike ili regije) doista kompleksan i vrlo je važno dokraja sagledati sve akcije u programu istraživanja i unapređenja energetike, njihov doseg i međusobnu povezanost. Sasvim je sigurno da analiziranje i planiranje rada i razvoja energetskeog sistema ima vrlo važnu ulogu u interaktivnom odnosu s ostalim aktivnostima takvog programa kao što su racionalizacija potrošnje energije te istraživanje novih izvora energije i novih tehnologija za pretvorbu i upotrebu energije.

Planiranje razvoja energetskeog sistema (misli se na razvoj od 5 do 50 godina unaprijed) samo je dio međusobno povezanih postupaka za analiziranje i planiranje energetskeog sistema, (sl. 1).



Slika 1. Osnovne funkcije i povezanost modela za analizu i planiranje energetskeog sistema

#### 2.1.1. Baza podataka

Prema namjeni, ti se postupci dijele na modele za analizu ostvarenja i modele za planiranje, a bitnu ulogu u njihovoj međusobnoj povezanosti ima baza podataka. Naime, prijeko je potrebno raspolagati sistematiziranim i verificiranim podacima o ostvarenjima u prošlosti da bi se brzo i pouzdano mogle izraditi sve potrebne analize ostvarenja, koje su, pak, nužan preduvjet planiranja.

Stoga je potrebno, kao prvo i osnovno, uspostaviti sistem prikupljanja, verifikacije i obrade podataka o potrošnji energije i radu energetskeg sistema koji bi:

- bio baziran na unificiranim metodološkim osnovama
- obuhvatio sve relevantne »izvore« podataka
- bio automatiziran u provođenju i verifikaciji, što znači uspostavu takvog sistema na informatičkoj mreži računala i odgovarajućoj bazi podataka, s osobljem osposobljenim za unos podataka na mjestima »izvora«
- bio podloga za praktički sve analize ostvarenja potrošnje energije i rada energetskeg sistema i njegovih podsistema.

### 2.1.2. Analiza ostvarenja

Osnovni postupak u analizi ostvarenih energetskeg tokova jest rekonstrukcija energetske bilance. Međutim, osim tog postupka, važno je uspostavljanje veze između ostvarene energetske potrošnje po pojedinim sektorima i onih ekonomskih, društvenih i tehnoloških utjecajnih veličina koje su bile odrednice upravo takve potrošnje. Osim toga, bitna je i analiza tehnoloških pokazatelja rada u podsistemima transporta energije, energetske transformacije i proizvodnje primarnih oblika.

Takvi modeli za analizu ostvarenja omogućuju kvantifikaciju efekata provedenih mjera energetske politike i verificiranje svih veličina koje ulaze u bazu energetskeg podataka.

### 2.1.3. Modeli za planiranje energetskeg sistema do pet godina

U tu grupu pripadaju modeli za kratkoročno planiranje (do godine dana) i srednjoročno planiranje (do pet godina).

Zadatak modela za srednjoročno planiranje jest predviđanje korisnih energetskeg potreba za to razdoblje i određivanje strukture zadovoljenja tih potreba na temelju pretpostavki o kretanju pariteta cijena pojedinih energenata, njihovoj raspoloživosti, temperaturnim i hidrološkim uvjetima. Naravno, modeli su simulacijski, neke se zakonitosti reakcije potrošnje finalnih oblika energije utvrđuju ekonometrijskom analizom prošlosti, a mnoge su odrednice energetskeg razvoja u tom razdoblju već unaprijed definirane na temelju strateških usmjerenja razvoja energetike.

Kratkoročnim je modelima moguće planirati optimalni rad energetskeg sistema po mjesecima za godinu dana ili za sezonu unaprijed, sagledati efekte pojedinih taktičnih usmjerenja energetske politike, kao što su npr. analize mogućih efekata pojedinih pariteta cijena energenata, ili utvrditi osjetljivost potrošnje energenata na promjenjive temperaturne i hidrološke uvjete i slično.

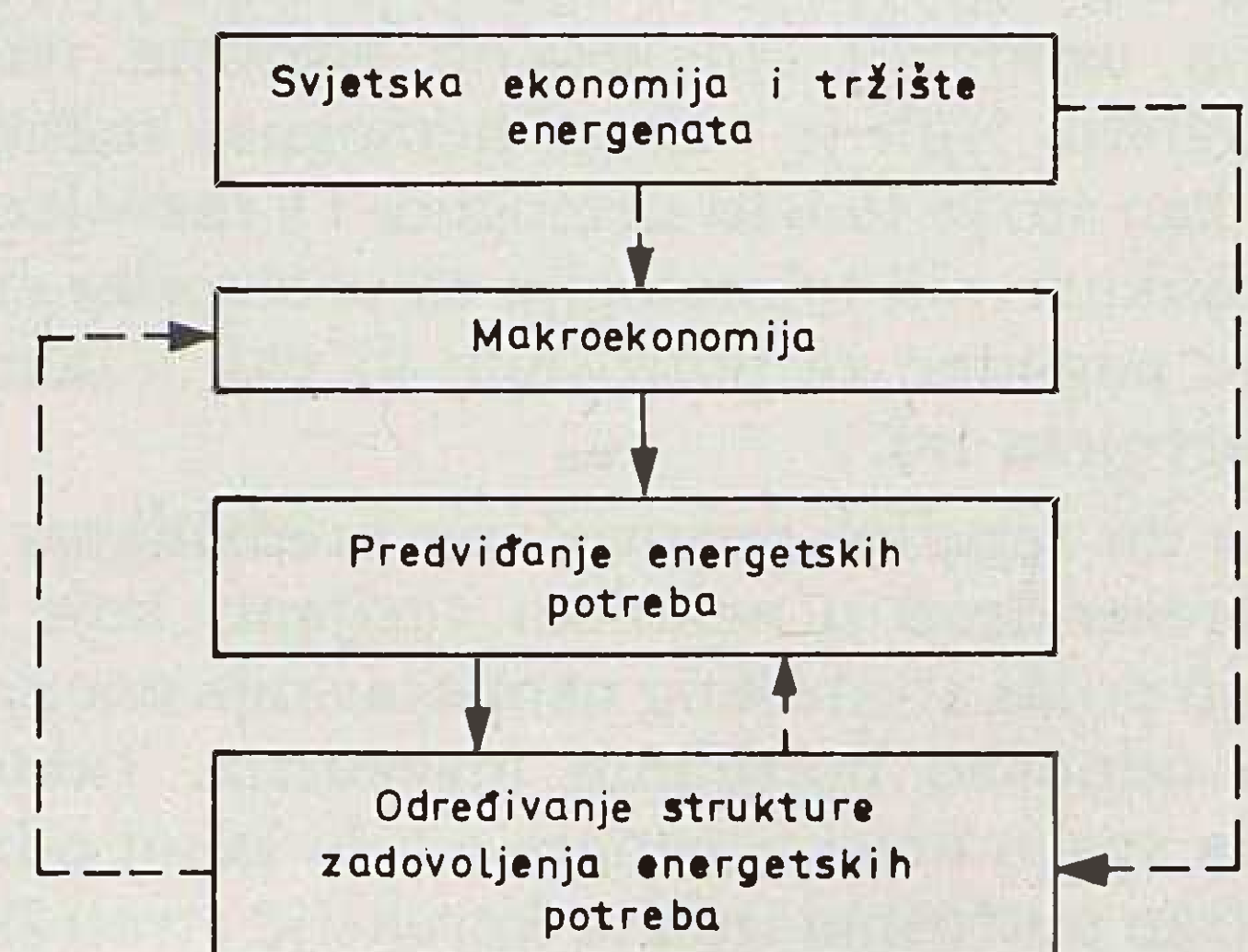
### 2.1.4. Modeli za planiranje energetskeg sistema do pedeset godina

Ti modeli treba da na temelju pretpostavki društveno-ekonomskog i tehnološkog razvoja zemlje (republike, regije) odrede buduće energetske potrebe i strukturu njihova zadovoljenja. Simulacijski modeli u tom slučaju služe za analize potencijalno mogućih strateških usmjerenja energetske politike, da bi se iz takve analize uočili potencijalno mogući efekti, financijski ili isključivo energetske. Optimizacijski modeli, pak, određuju optimalnu strukturu zadovoljenja energetskeg potreba, ovisno o postavljenoj funkciji cilja i tehnološkim i ekološkim ograničenjima. Rezultat primjene tih modela jesu iscrpne energetske-ekonomske analize koje su podloga za izbor strateškog usmjerenja energetske politike zemlje (republike, regije).

Detaljnije ćemo o tim modelima pisati u sljedećem tekstu.

## 2.2. Postupci za planiranje razvoja energetskeg sistema

Osnovni koncept postupka za planiranje energetskeg sistema (sl. 2) počinje indirektnim uvažavanjem ili direktnim modeliranjem utjecaja svjetskog tržišta energije i općenito svjetske ekonomije na makroekonomske pokazatelje promatrane zemlje (republike, regije). Nadalje, na temelju modela makroekonomskog razvoja i uopće društvenoga i tehnološkog razvoja mogu se predvidjeti energetske potrebe, a zatim odrediti strukturu njihova zadovoljenja. Upravo je to određivanje strukture u jednostavnijim simulacijskim modelima bazirano na određenim pretpostavkama, tzv. potencijalnim scenarijima razvoja, i daje odgovor na to koji su efekti i razlike između pojedinih usmjerenja energetske politike. Optimizacija strukture metodološki je složenija, a kao odgovor daje optimalnu strukturu zadovoljenja energetskeg potreba, uz zahtjev minimuma ukupnih troškova u sistemu, minimuma troškova za uvoz energije i opreme ili minimuma troškova proizvodnje energije iz vlastitih izvora i slično, također na temelju pretpostavki iz scenarija.



Slika 2. Osnovni koncept energetskeg planiranja

Na slici 2. punom su linijom označene veze i koraci u postupku planiranja koji su postavljeni kao formalni matematički modeli, a crtkanim su linijama predočeni utjecaji i povratne veze koje se u postupku (zasada još uvijek najčešće) ne modeliraju, ali se uvažavaju u pretpostavkama (elementima) scenarija.

### 2.2.1. Dugoročno predviđanje potrošnje energije

#### 2.2.1.1. Općenito o problemima predviđanja

Svako predviđanje, pa tako i predviđanje potrošnje energije, krije veliku neizvjesnost jednostavno zato što se povijest nikad ne ponavlja. Usprkos toj činjenici, predviđanje potrošnje energije temeljna je komponenta u postupku planiranja razvoja jer se prema njoj određuje potrebna izgradnja energetske sustava. Greške u predviđanju potrošnje, a prema tome i u dinamici izgradnje energetske postrojenja, mogu bitno utjecati na sigurnost opskrbe potrošača energijom u slučaju podizgrađenosti sustava, odnosno u slučaju preizgrađenosti — nepotrebnog investiranja i angažiranja znatnih financijskih sredstava iz ionako ograničene društvene akumulacije. Posljedice obiju greški mogu biti velike: u prvom slučaju nedostatak energije može izazvati veliki poremećaj u proizvodnji većeg broja privrednih organizacija, zbog ovisnosti njihova procesa proizvodnje o energiji. Nepotrebno investiranje smanjuje društvenu akumulaciju za financiranje razvoja ostalih privrednih grana, što znači neusklađenost razvoja privrede i slabljenje ukupnoga društvenog rasta. Iz svega se toga vidi koliko veliko značenje treba pridati predviđanju potrošnje energije, kontinuiranom praćenju ostvarenja i preispitivanju predviđenih nivoa potrošnje, razvoju novih i usavršavanju postojećih metoda predviđanja.

Što se, zapravo, očekuje od nekog modela za predviđanje potrošnje energije? Česta je zabluda da je to, ili da to može biti, egzaktna vrijednost potrošnje u nekoj sljedećoj godini. Da je to nemoguće, pokazuje niz hipoteza i pojednostavnjenja koja su neizbježna u modeliranju.

Među prvim hipotezama je nemogućnost takvog predviđanja privrednog rasta zemlje zbog vrlo teškoga modelskog uzimanja u obzir globalnih svjetskih privrednih tokova koji, nesumnjivo, više ili manje utječu i na svaku pojedinu zemlju. Nadalje, slično je i s cijenama osnovnih energetske sirovina na svjetskom tržištu. Njih je naime, nemoguće točno predvidjeti, kao što je to isto nemoguće i s razvojem pojedinih konkurentnih tehnologija za pretvorbu energije u oblike pogodne za potrošnju, ili pak s demografskim razvojem itd.

Očito je da rezultat dugoročnog predviđanja uvijek treba prezentirati u nekoliko varijanti koje poslije određuju pojas strateškog usmjerenja energetske razvoja odnosno potrebnih investicija. Također je jasno da svaka nova spoznaja o bilo kojoj odrednici energetske potrošnje izaziva korekcije strateškog usmjerenja, pa je stoga potrebno obnavljanje dugoročnih predviđanja barem svakih pet godina. Revizi-

ja svakih deset godina, na primjer, bila bi u današnjim uvjetima brzih tehnoloških promjena i socijalno-ekoloških pokreta vrlo skupa jer, sasvim sigurno, ne bi omogućila pravodobne taktične korekcije, koje bi morale osigurati približavanje poželjnoj strukturi energetske opskrbe.

Unatoč tome što, dakle, nijedna metoda ne može dati egzaktno predviđanje, moguće je razlikovati neke preciznije ili barem prikladnije metode.

#### 2.2.1.2. Metode dugoročnog predviđanja

Danas se primjenjuju dvije osnovne grupe metoda i njihovih modela za predviđanje potrošnje energije. To su prospektivne i normativne metode.

Prospektivne metode (prospektivan = dalekovidan) baziraju se na sofisticiranim analizama zakonitosti ponašanja potrošnje energije u prošlosti i mogu se razvrstati u dvije grupe: statističke i ekonometrijske metode.

Statističke metode na regresionim analizama prošlosti provode ekstrapolaciju za budućnost, pri čemu su jedine eksplicitne varijable potrošnje energije vrijeme i usporedne veličine za druge zemlje.

Statističke su se metode najčešće primjenjivale za predviđanje potrošnje pojedinih energenata — električne energije, tekućih goriva, ugljena i slično. Unatoč tome što su ti postupci nakon naftnog šoka 1973. godine često kritizirani, zbog svoje jednostavne primjene upotrebljavaju se i danas.

Ekonometrijske su metode takve metode u kojima su eksplicitne varijable cijena energenata i društveni proizvod po stanovniku, a osnivaju se na ekonomskom modeliranju odnosa ponude i potražnje, uz utvrđivanje svih vrsta elastičnosti.

Kao i u statističkim metodama i u ekonometrijskima je osnovni nedostatak to što elastičnosti potrošnje energije, utvrđene u prošlosti, u daljnjoj budućnosti najčešće ne vrijede zbog bitnih strukturnih promjena i razvoja tehnologije. Dobra ilustracija je današnja i buduća dugoročna potrošnja motornih goriva. Naime, danas utvrđena elastičnost potrošnje motornih goriva o njihovoj cijeni sigurno neće vrijediti već nakon 2000. godine jer će se bitno smanjiti potrošnja goriva po jedinici prevaljenog puta (tehnološki napredak), a vrlo će se vjerojatno bitno promijeniti i udio putovanja osobnim automobilima u odnosu prema, naprimjer, udjelu putovanja avionima i željeznicom (strukturne promjene).

Međutim, ekonometrijske su metode, sasvim sigurno, kvalitetno oruđe energetske analiza i predviđanja potrošnje energenata za kraća razdoblja, npr. za godinu ili nekoliko godina unaprijed.

Normativne su se metode počele razvijati upravo nakon naftnog šoka 1973. godine, kada su statističkim i ekonometrijskim postupcima dugoročnog predviđanja potrošnje energije upućene ozbiljne kritike. Normativni postupci dugoročnog predviđanja potrošnje energije primjenjuju se sve češće, a zapravo bi se moglo reći da su još uvijek u razvoju.

Osnovna karakteristika takvih postupaka je činjenica da se potrošnja energije strukturno analizira u nekoj odabranoj godini iz prošlosti. Ta se godina naziva baznom godinom, a zatim se prema nekoliko scenarija za odabrane godine u budućnosti provodi sinteza po svim strukturnim elementima.

Strukturno raščlanjivanje odnosi se na društvene i privredne aktivnosti stanovništva analiziranog područja, npr. na poljoprivredu i građevinarstvo, industriju, promet, domaćinstvo, uslužnu djelatnost, s jedne strane, a na sve finalne energentne važne za analizirano područje, a to npr. mogu biti fosilna goriva za toplinske potrebe, električna energija, motorna goriva, ogrjevno drvo, Sunčeva energija i slično, s druge strane.

Za svaki se podsistem društveno-ekonomskih aktivnosti stanovništva definiraju sve bitne odrednice potrošnje energije. Na baznoj se godini »baždare« normativi potrošnje po jediničnoj vrijednosti odabranih odrednica potrošnje. Prema nekoliko scenarija, za budućnost se pretpostavi razvoj osnovnih odrednica potrošnje, ali i normativi potrošnje. Na taj se način uvažava utjecaj strukturnih promjena svih odrednica energetske potrošnje i promjene normativa potrošnje izazvane npr. tehničko-tehnološkim razvojem, promjenom životnih navika i standarda.

Predviđanje budućih energetske potreba uvijek se provodi na temelju nekoliko scenarija. Svaki je scenarij skup pretpostavljenog razvoja odrednica potrošnje. Gotovo se uvijek analize budućih pravaca razvoja bitnih odrednica potrošnje energije mogu naći u specijaliziranim studijama kao što su studija budućega privrednog razvoja, demografske studije, studije prometa, stambenih potreba i slično. Ako za neku odrednicu potrošnje energije ne postoji analiza budućeg razvoja, dovoljno je obaviti procjenu ili ocjenu analognu zemljama koje su već prošle tu razinu razvoja. Na istim se osnovama temelji i ocjena budućih normativa potrošnje energije.

Završni korak predviđanja normativnim postupkom jest primjena iznosa odrednica potrošnje u pojedinoj godini iz budućnosti na modelske jednadžbe, na temelju čega slijede potrošnje finalnih oblika energije po pojedinim sektorima potrošnje i ukupno.

Osnovna kvaliteta normativnog predviđanja jest činjenica da uzima u obzir:

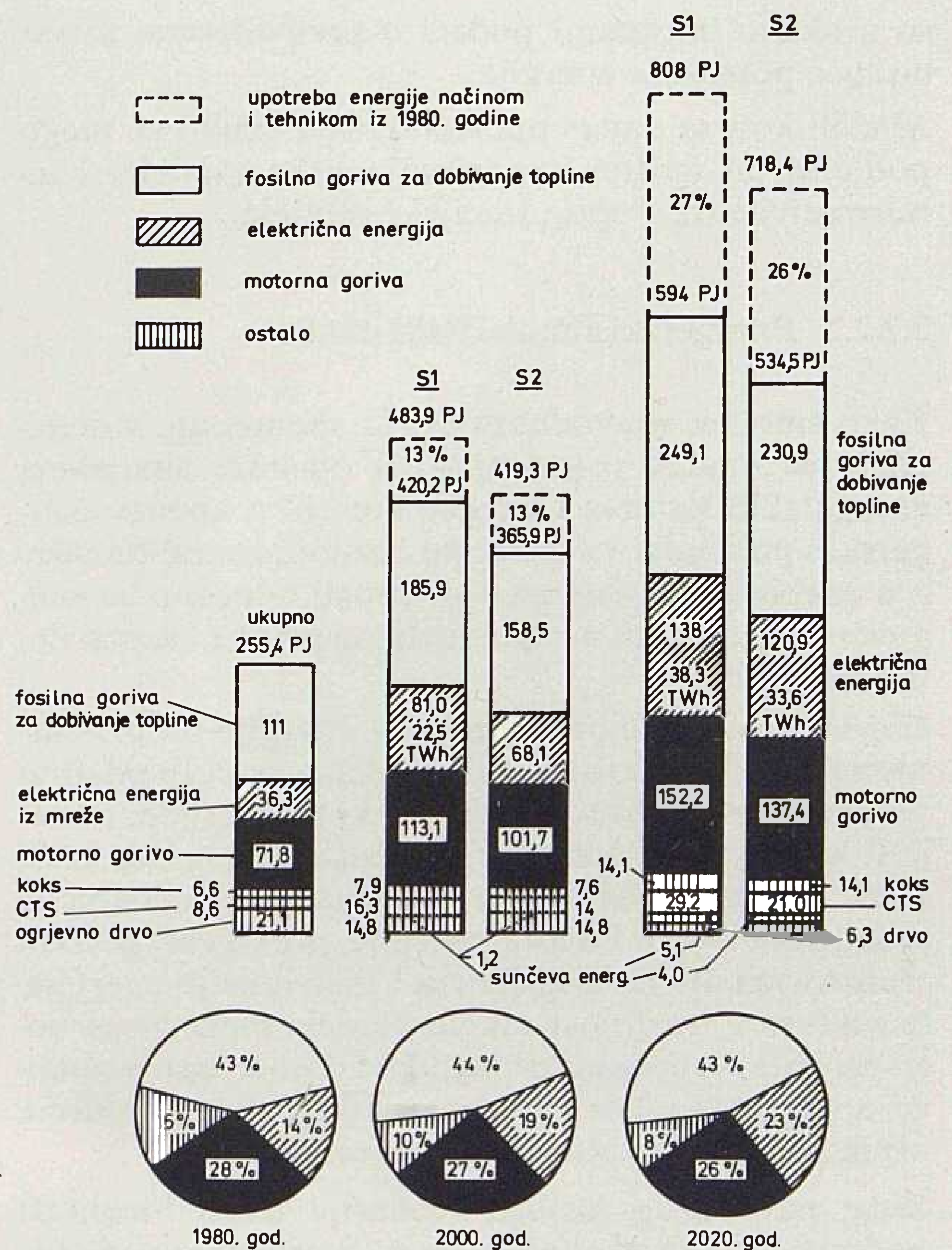
- utjecaj strukturnih promjena odrednica potrošnje, prije svega strukture društvenog proizvoda privrede u cjelini i industrije posebno
- utjecaj tehnološkog razvoja u smislu efikasnije upotrebe energije,

a zatim omogućuje:

- istodobno sagledavanje svih energenata i sektora potrošnje.

Na slici 3. dan je radi ilustracije rezultat normativnog predviđanja potrošnje energije SR Hrvatske do 2020. godine.

Unatoč tome što su normativni postupci prema matematičkom obliku krajnje jednostavni, njihova je primjena povezana s raspoloživošću vrlo velikog bro-



Slika 3. Predviđena potrošnja pojedinih oblika finalne energije u SR Hrvatskoj

ja podataka i pretpostavkom da se modelom služi energetičar ekspertnog znanja.

## 2.2.2. Određivanje strukture energetske opskrbe

### 2.2.2.1. Općenito o modelima za određivanje strukture energetske opskrbe

Nakon predviđene energije potrebne za buduću opskrbu potrošača na određenom području potrebno je predvidjeti i razvoj ostalog dijela energetske opskrbe, tj. valja odrediti razvoj postrojenja za eksploataciju nalazišta primarnih oblika energije, postrojenja za energetske transformacije i postrojenja za transport i distribuciju energije do neposrednih korisnika. S obzirom na to da u današnjim energetskim sistemima postoji relativno velik broj različitih postrojenja na svim nabrojenim razinama i da se danas koristi više od dvadesetak različitih energetske oblika, koji se u nekim slučajevima mogu, a u nekim ne mogu međusobno supstituirati, odmah postaje jasno da su međusobni odnosi komplicirani i da je za svako ozbiljnije planiranje budućeg razvoja potreban modelski pristup. To znači da se sadašnji i mogući budući odnosi u energetskom sistemu definiraju matematičkim relacijama čiji je rezultat velik broj informacija o sistemu, ali istodobno zahtijevaju i niz kvalitetno pripremljenih ulaznih podataka, od kojih



su svakako najvažniji podaci o predviđenom nivou buduće potrošnje energije.

Modeli koji se danas upotrebljavaju grubo se mogu podijeliti na opisne (tzv. simulacijske modele) i na normativne (tzv. optimizacijske modele).

### 2.2.2.2. Energetski simulacijski modeli

Kako smo već u uvodnom dijelu spomenuli, simulacijski se modeli primjenjuju u opisnim analizama energetskih sistema i vrlo su korisni u analizi energetskih podataka za ispravno razumijevanje ponašanja energetskog sistema u prošlosti odnosno za »odgovor« sistema na pretpostavljene prilike (scenarije) u budućnosti.

Cilj tih modela je prikaz tokova energije od primarnih oblika do potrošača za određene, po volji odabrane ulazne pretpostavke. Osim tokova energije, ti modeli kao rezultat proračuna mogu dati i prikaz troškova koji se pojavljuju u sistemu od eksploatacije primarnih izvora i uvoza energije, preko energetskih transformacija do transporta i distribucije energije. Struktura i detaljnost takvih modela može se po volji mijenjati odnosno prilagođavati potrebama analize, a izlazni rezultat direktno ovisi o pretpostavkama oblikovanim pri formiranju scenarija.

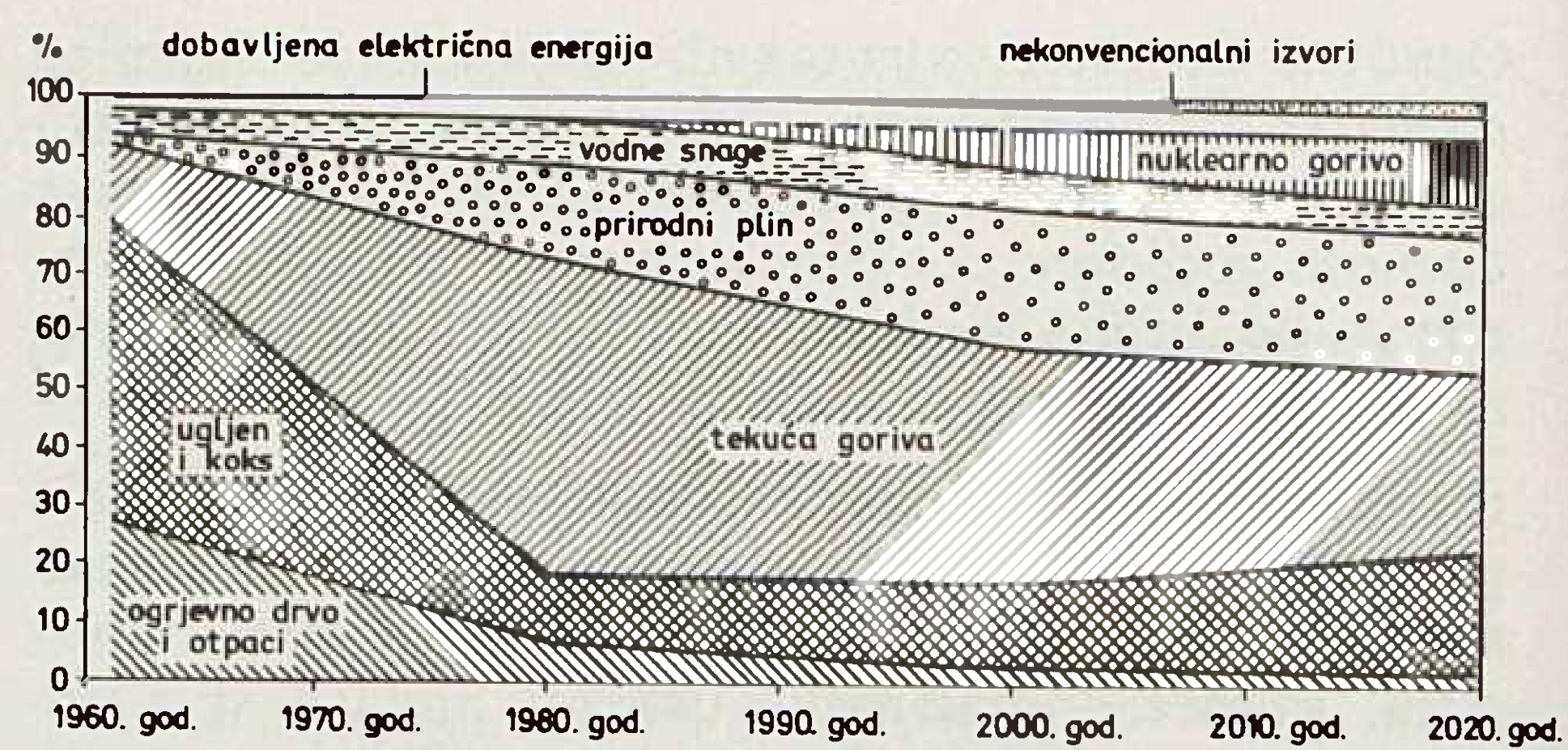
Zbog navedenog razloga scenarije treba formirati maksimalno oprezno tako da se promjene uvode postupno jer se tako može pratiti reflektiranje učinjenih promjena na cjelinu sistema, a uvođenjem velikog broja promjena u odnosu prema početnom scenariju gubi se uvid u intenzitet i uzročnost izazvanih promjena, iako je rezultat simulacije potpuno korektan. Dakle, postavljanjem određenih ulaznih scenarija, primjenom tih modela može se dobiti niz korisnih informacija o ponašanju sistema u budućim hipotetskim uvjetima. One se mogu iskoristiti za strateško planiranje razvoja energetskog sistema.

Treba, međutim, napomenuti da simulacijski modeli ne daju rezultate koji bi preferirali rješenja u smislu najnižih ukupnih troškova, pa se za to ne mogu ni primjeniti, osim ako se do takve spoznaje ne dođe primjenom više konzistentno pripremljenih scenarija.

Kao primjer primjene simulacijskog modela na energetski sistem SR Hrvatske navodi se prikaz razvoja udjela oblika energije u ukupno potrebnoj energiji u proteklome i budućem razdoblju koji je određen na temelju simulacije budućih prilika (sl. 4).

### 2.2.2.3. Energetski optimizacijski modeli

Općenito se može reći da se energetski optimizacijski modeli upotrebljavaju za planiranje razvoja energetskih sistema, uz uvjet da izabrana ciljna funkcija postigne minimalnu vrijednost. Kao cilj minimuma mogu se postaviti ukupni troškovi energetskog sistema, ukupne investicije, devizni izdaci itd., a dodatno se mogu postavljati bilo kakva ograničenja. Sve od-



Slika 4. Udjeli energije u ukupno potrebnoj energiji u SRH

nose u energetskom sistemu potrebno je definirati matematskim jednadžbama, a za rješavanje tako opisanog problema primjenjuje se matematičko programiranje, specijalno linearno programiranje.

Prvi primijenjeni energetski optimizacijski modeli mogu se nazvati statičkim jer se njima optimalna energetska struktura određivala za nekoliko izabranih (ili presječnih) godina u budućnosti. Pritom nije uzet u obzir razvoj između tih godina odnosno i promjene nastale u tim razdobljima. Primjena takvih modela zapravo se svodila na optimizaciju scenarija pripremljenog za promatranu buduću godinu, pa su i rezultati bili slični ili identični onima koji su se dobivali simulacijskim metodama. Može se reći da je upotreba tih modela danas gotovo napuštena.

Današnji optimizacijski modeli analizom obuhvaćaju cjelokupno buduće razdoblje i određuju takav razvoj buduće energetske strukture kojim će se postići minimum izabrane funkcije cilja u cjelokupnome promatranom razdoblju. Za primjenu takvih modela potrebno je definirati generalne tehničko-ekonomske parametre (efekasnost, životni vijek, troškove, investicije itd.) za sva postrojenja koja se u analiziranom sistemu uzimaju u obzir. Također je potrebno definirati maksimalnu mogućnost gradnje u pojedinim budućim razdobljima uzimajući u obzir sve ograničavajuće faktore, potrebno je definirati energetske rezerve promatranog područja klasificirane prema troškovima eksploatacije za sve primarne oblike energije i potrebno je definirati gornje granice godišnje eksploatacije primarnih energetskih resursa.

Treba reći da kvaliteta izlaznih rezultata optimizacijskih modela direktno ovisi o ispravno zadanim troškovima, odnosno o odnosu tih troškova i ispravnoj pretpostavci budućeg razvoja cijena energije na svjetskom tržištu, što se, međutim, donekle može eliminirati njihovim variranjem.

Skup izlaznih rezultata dobiven simulacijskim i optimizacijskim modelima morao bi se primjenjivati kao podloga za donošenje planova razvoja energetskog sistema u budućnosti, ali se postupak mora, kako smo već spomenuli, kontinuirano novelirati da bi se uzele u obzir promjene koje će se javljati u budućnosti, a koje se danas ne mogu sagledati ili se sagledavaju pogrešno.

### 2.2.3. Kompleksne metode planiranja razvoja energetskeg sistema

Da bi neka metoda postala standardno prihvaćena, potrebno je da prođe nekoliko godina od njezinih privh akademskih postavki i testiranja. Upravo se u toj početnoj fazi nalazi niz postupka, koje smo nazvali kompleksnim metodama koje se razvijaju na sveučilištima i institutima širom svijeta.

Za sve je te metode karakteristično da su vrlo složene i da formalno modeliraju sve interaktivne utjecaje u procesu planiranja, (sl. 2). Ti se postupci baziraju na pretpostavci da ćemo već u bliskoj budućnosti raspolagati moćnom informatičkom infrastrukturom, osposobljenim osobljem energetičara i svih stručnjaka s područja privrednog planiranja te iscrpnim bazama podataka i ekspertnih znanja. Osim vrlo velike složenosti, u modeliranju utjecaja i povratnih veza, najčešće sofisticiranim input — output postupkom, takvi se postupci redovno primjenjuju i u optimizacijskim tehnikama, a u modeliranju utjecaja kreću se i do razine svjetskih ekonomskih odnosa (sl. 2).

S današnjeg stajališta ti su modeli isuviše akademski i složeni i njihova primjena zahtijeva napor neprimjeren rezultatu koji se u startu može očekivati od bilo kojeg postupka dugoročnog predviđanja. Primjenjivost tih postupaka u budućnosti će ovisiti o već spomenutom razvoju informatike i kadrova.

### 3. ZAKLJUČAK

Planiranje razvoja energetskeg sistema nedvojbeno ima bitno mjesto u planiranju društveno-ekonomskog razvoja zemlje (republike, regije).

Za ispunjenje tog zadatka nužno je uspostavljanje cjelovitog sistema postupaka za analiziranje i planiranje u energetici, koji omogućuje izvođenje svih analiza kao podloga za donošenje mjera energetske politike.

U takvom konceptu statističko vođenje podataka nije samo sebi svrha, nego je garancija kvalitetnijeg planiranja budućnosti.

Nadgradnja baze energetske podataka jesu modeli za planiranje razvoja energetskeg sistema. Filozofsku dilemu da je sve što je jednostavno loše, a sve što je kompleksno beskorisno, u slučaju energetskeg modela i baza podataka treba rješavati ovisno o društveno-ekonomskoj razini razvoja sredine za koju se modeli primjenjuju.

### LITERATURA

- [1] B. UDOVIČIĆ: »Energija, izvori i pretvorbe energije, energetske bilance, energija, društvo i okolina«, I. dio: Energija i izvori energije, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1987; II. dio: Energetske pretvorbe i bilance, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1988; III. dio: Energija i društvo Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1988.

- [2] D. PEŠUT, I. ŠIMURINA: »Struktura potrošnje električne energije i projekcija do 2020. godine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.
- [3] H. POŽAR, D. PEŠUT: »Studija jedinstvene metodologije za izradu energetske bilance i izbora optimalne strukture«, Knjiga prva, Metoda za izradu energetske bilance i energetske simulacijski model, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1979.
- [4] H. POŽAR, B. VUK: »Studija jedinstvene metodologije za izradu energetske bilance i izbora optimalne strukture«, Knjiga druga, Matematički model za optimizaciju energetske strukture, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1979.
- [5] B. VUK, N. BILČAR, I. ŠIMURINA: »Efikasnost korištenja energije u industriji«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1987.
- [6] J. TOPIĆ, D. PEŠUT, L. STANIČIĆ, I. ŠIMURINA: »Analiza potrošnje energije u domaćinstvima«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1987.
- [7] A. M. KHAN, A. HÖLZL: »Evolution of Future Energy Demands till 2030 in Different World Regions: An Assessment Made for the Two IIASA Scenarios«, IIASA, Laxenburg, Austria, 1982.
- [8] Materijali sa tečaja: Interregional Training Course on Energy Demand Forecasting for Nuclear Power Planning, Argonne, Illinois, USA, jesen 1985.

#### EXTENSION PLANNING OF POWER SYSTEM

In the paper is presented a systematization of mathematical models for extension planning of power system. Planning is considered as a complex process and in relation to planning function it is applied adequate model. Presented are base characteristics of some models for estimation of consumption and determination of power supply structure.

#### PLANUNG DER ENTWICKLUNG DES ENERGETISCHEN SYSTEMS

Hier schildert man die Systematisierung der mathematischen Modelle für die Planung der Entwicklung des energetischen Systems. Die Planung der Entwicklung der energetischen Systeme betrachtet man als einen interessanten Prozess in dem man abhängig von der Planungsfunktion adäquate Modell — Typen anwendet. Man spricht über die Grundeigenschaften einzelner Modell — Typen für die vorgesehenen Verbräuche und Bestimmung der Energieversorgung — Struktur.

#### ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Дана систематизация математических моделей планирования развития энергетической системы. Планированию развития энергетических систем подходят как к занятому процессу, в котором в зависимости от функции планирования применяется адекватный тип модели. Приводятся основные особенности различных типов моделей предсказания потребления и определения структуры снабжения энергией.

Naslov pisaca:

**Prof. dr. Božo Udovičić, dipl. inž.**  
**Mr. Damir Pešut, dipl. inž.**  
**Mr. Branko Vuk, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb,**  
**Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-05-17



# SOUR **MONTING** RO ENERGETIKA ZAGREB

RO ZA IZGRADNJU I MONTAŽU  
OBJEKATA I ENERGETSKIH POSTROJENJA

41000 ZAGREB, Kesterčankova 1

*Predstavništva:*

**MONTING RO ENERGETIKA**  
**38000 PRIŠTINA**

Dardanja 9/a pt 277  
Telefon: 038/42-900

»INGRA-MONTING«  
**DÜSSELDORF**

Telefon: 21184788  
Telex: 172114560

»MONTING«-ZAGREB  
**PRAG**

Telefon: 297223; 292918  
Telex: 122065

Telefoni:

Centrala 041/217-700

Direktor 222-499

Komercijalni sektor 214-960

Tehnički sektor 218-798

Financijski sektor 218-479

Telex: 21473 Mont yu

## VRŠI IZGRADNJU I MONTAŽU:

- termoelektrana, toplana, energana, hidroelektrana, nuklearnih elektrana, te u sklopu istih montira sva pripadajuća postrojenja, kao kotlovska, turbinska, postrojenja za tretman industrijskih voda, mazutna gospodarstva i drugu pripadajuću opremu
- naftna, petrokemijska i procesna postrojenja
- metalurška, rudarska i postrojenja za proizvodnju obojenih metala
- čeličnih konstrukcija, unutrašnjih i vanjskih razvoda svih medija unutar termoelektrana, toplana, nuklearnih elektrana, hidroelektrana, naftnih, procesnih i metalurških postrojenja



**PROIZVODNI POGON U DUGOM SELU — PROIZVODNJA SILOSA I ČELIČNIH KONSTRUKCIJA**

- remonte i održavanje termoelektrana, hidroelektrana, nuklearnih elektrana, kotlovskih i turbinskih postrojenja, postrojenja za tretman industrijskih voda, mazutnih gospodarstva s rezervoarima, te remont i održavanja unutrašnjih razvoda
- remonte i održavanja naftnih, petrokemijskih, procesnih i metalurških postrojenja
- predsušionice i sušionice za drvo, različitih tipova i za različite režime sušenja, postrojenja za zaštitu čovjekove okoline
- antikorozivnu zaštitu čeličnih konstrukcija i opreme

## PROIZVODI:

- čelične konstrukcije, cijevne mostove, stepeništa i galerije, različitih tipova i za različite namjene
- predfabricira cjevovode svih dimenzija i kvaliteta, izrađuje fazonske dijelove za energetska i druga postrojenja
- posude, rezervoare, gazometre raznih tipova, namjena i za različite medije
- projektira u suradnji sa Institutom za drvo — Zagreb, i proizvodi predsušionice i sušionice za drvo, različitih tipova i za različite režime sušenja
- raznu specijalnu ne standardnu energetska i drugu opremu za različite svrhe i namjenu

# USMJERAVANJE ENERGETSKE OPSKRBE URBANE SREDINE

Dr. Duško Čorak — mr. Zdravko Mužek — mr. Vladimir Jelavić, Zagreb

UDK 620.91:621.3

PRETHODNO SAOPĆENJE

U članku je predložen koncept usmjerenja energetske opskrbe urbane sredine. Uz metodološke postavke komentiran je i utjecaj oscilacija osnovnih odrednica ekonomije energetske opskrbe, investicija i cijena goriva.

**Ključne riječi:** energija, urbana sredina, energetska tehnologija, optimalizacija.

## 1. UVOD

Energetske su potrebe urbanih područja znatne i imaju tendenciju daljeg rasta zbog općeg trenda povećanja broja stanovnika i povećanja industrijskih i prometnih djelatnosti u urbanim područjima. Posljedica koncentrirane energetske potrošnje i povećane gustoće naseljenosti, jest činjenica da su urbana područja i s ekološkog stajališta potencijalno najugroženija. Složeni odnosi između ekološkoga, socijalnog, ekonomskog i tehničkog razvoja i prirodnih uvjeta određenog područja razlog su da spontane akcije velikog broja neovisnih subjekata ne vode prihvatljivo, društveno adekvatnom energetskom razvoju samo na osnovi pojedinačnog sagledavanja i tržišnih informacija. Imaju li se na umu osnovna obilježja suvremene urbanizacije (izgradnja vrlo kvalitetnih zgrada čiji vijek trajanja može biti dulji od 300 godina) i uvažavajući kulturne i estetske vrijednosti postojeće arhitekture (čije je očuvanje obveza sadašnjih i budućih generacija), problem planiranja energetske opskrbe prelazi uobičajene granice dugoročnog planiranja energetike (razdoblje od 20-30 godina).

## 2. METODSKE NAZNAKE PLANIRANJA ENERGETSKE OPSKRBE URBANE SREDINE

Koncipiranje optimalne energetske strukture jest određivanje optimalne strukture primarnih i sekundarnih oblika energije, određivanje postrojenja za energetske transformacije i odgovarajućih sistema za prijenos i distribuciju energetskih oblika, uz zadovoljenje ograničenja koja se mogu javiti na promatranom području (ograničene investicijske mogućnosti, izgrađena energetska infrastruktura, ograničenje količine pojedinih energetskih oblika, ograničenja zbog onečišćenja zraka i slično). Drugim riječima, za svakog korisnika energije, bio on iz sektora opće potrošnje ili iz industrije, potrebno je utvrditi energent i sistem opskrbe energijom tako da ukupni troškovi

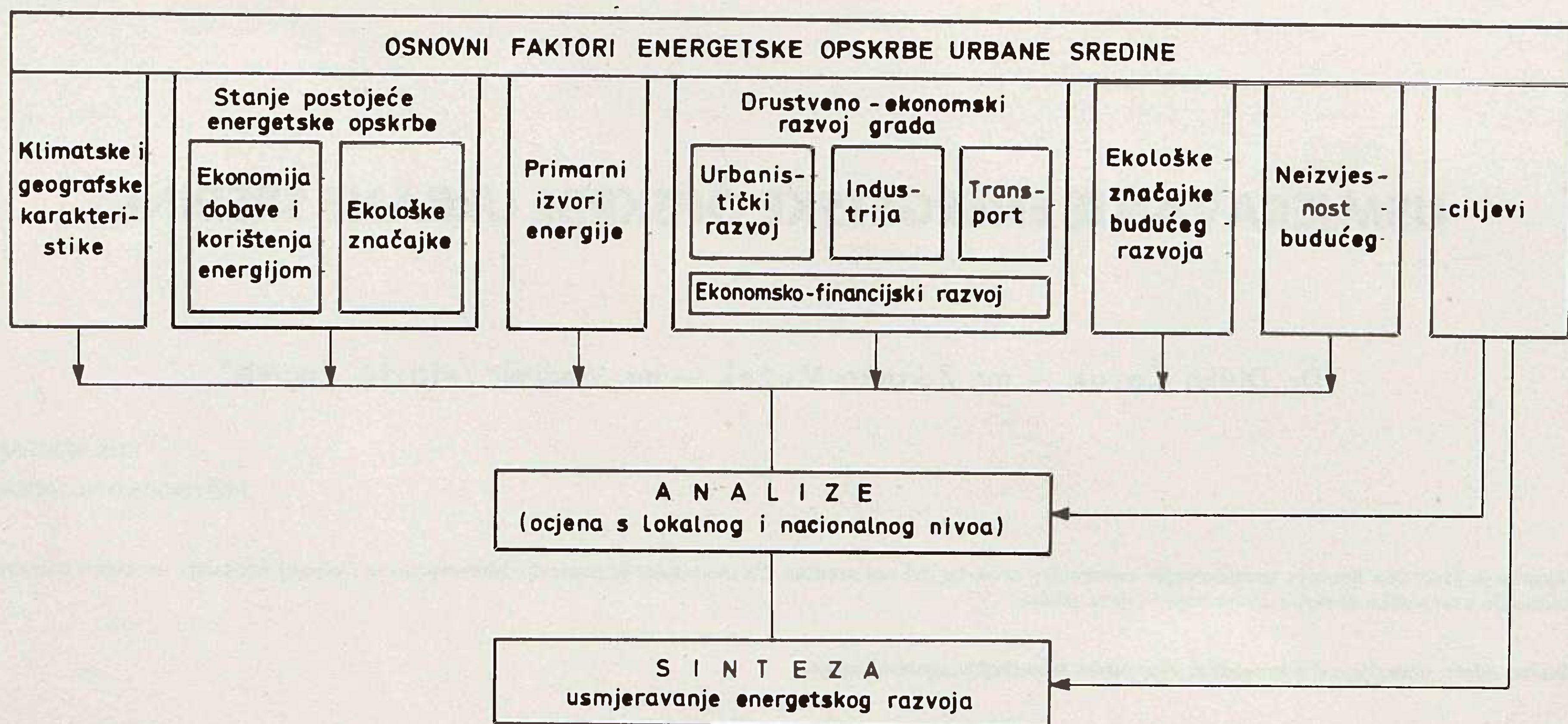
opskrbe energijom uz zadovoljenje ograničenja budu minimalni.

Najvažniji utjecajni faktori energetske opskrbe urbanih područja jesu (sl. 1):

- ciljevi razvoja
- klimatske i geografske osobine grada
- društveno-ekonomski razvoj grada
- dosadašnja energetska opskrba i postojeće stanje energetske opskrbe grada
- primarni izvori energije u svijetu i zemlji te bližoj i daljoj okolini
- tehnički i energetski razvoj u zemlji i svijetu
- ekološka obilježja razvoja
- neizvjesnost budućnosti.

Značenje pojedinih faktora nije moguće a priori ocijeniti jer svaki, ovisno o okolnostima, može odlučujuće utjecati na rješenje dugoročne energetske opskrbe. Većinu navedenih faktora moguće je kvantificirati i oni su, izravno ili posredno, varijable u određivanju energetske opskrbe. Klimatske i ostale geografske osobine te društveno-ekonomski razvoj grada određuju energetske potrebe u kvalitativnome i kvantitativnom smislu. Dosadašnja energetska opskrba i postojeće stanje energetske opskrbe, primarni izvori energije u svijetu, zemlji i okolini, tehnički i energetski razvoj u svijetu i zemlji, te ekološka obilježja razvoja čine određena ograničenja koje je potrebno obuhvatiti planom. Ekonomija dobave i korištenja energije jedan su od najvažnijih parametara pri izboru oblika energije i načina energetske opskrbe.

Ciljevi razvoja i neizvjesnost budućnosti kvalitativni su faktori. Ciljevi razvoja usmjeravaju cjelokupan razvoj zemlje i polazište su za definiranje ciljeva i kriterija razvoja energetske opskrbe urbanog područja. Osnovni kriterij na nivou urbanog područja, trebalo bi biti maksimiranje dohotka po zaposlenome i minimiziranje utroška za zadovoljenje pojedinih potreba stanovništva, odnosno minimiziranje ukupnih troškova za energetske opskrbe grada.



Slika 1. Shematski prikaz usmjeravanja energetske opskrbe urbane sredine

Neizvjesnost budućnosti je faktor koji uključuje neizvjesnost tehnološkoga, ekonomskog i političkog razvoja svijeta, zemlje i urbanog područja, razvoj novih energetske izvora itd. Navedene neizvjesnosti zahtijevaju fleksibilno planiranje u energetske domeni, odnosno izgradnju takve energetske strukture koja će biti što manje osjetljiva na poremećaje što mogu nastati u budućnosti.

Pomoćno sredstvo pri koncipiranju energetske strukture jest matematski model za optimalizaciju energetske strukture. Model se osniva na činjenici da se međusobni odnosi primarnih i transformiranih oblika energije mogu prikazati u obliku linearnih jednadžbi. Postavljanjem jednadžbi zadovoljenja potreba za različite namjene koje se javljaju (grijanje, kuhanje, topla voda, para itd.), uzimajući u obzir sve tehničke mogućnosti i sve oblike energije koji se na promatranom području mogu koristiti, dolazi se do sistema linearnih jednadžbi. Osim jednadžbi potreba, nužno je postaviti sistem jednadžbi i nejednadžbi kojima su definirana ograničenja. Postavi li se jednadžba troškova kao funkcija cilja koju treba minimizirati, dobiva se sistem u obliku pogodnom za rješavanje metodom linearnog programiranja. Matematski izražen, problem se, dakle, može zadati na sljedeći način.

Potrebno je odrediti vrijednost varijabla  $x_1 \dots x_s$  koje odgovaraju uvjetima nenegativnosti:

$$x_1 > 0 \dots x_s > 0,$$

uvjetima linearnih jednadžbi energetske potreba:

$$a_{11}x_1 + \dots + a_{1s}x_s = b_1,$$

$$a_{m1}x_1 + \dots + a_{ms}x_s = b_m$$

i uvjetnim linearnim jednadžbama ograničenja:

$$a_{m+1,1}x_1 + \dots + a_{m+1,s}x_s > b_{m+1}$$

$$a_{n,1}x_1 + \dots + a_{n,s}x_s > b_n,$$

tako da funkcija cilja (troškovi energetske opskrbe)

$$f(x_1 \dots x_s) = c_1x_1 + \dots + c_sx_s$$

ima ekstrem, tj. minimum.

Pri tome su;

- varijable  $x_1 \dots x_s$  količine pojedinih oblika energije, a simboliziraju pojedine načine energetske opskrbe
- koeficijenti  $a_{11} \dots a_{ms}$  faktori transformacije oblika energije u korisnu energiju
- konstante  $b_1 \dots b_m$  energetske potrebe iskazane kao korisna energija
- koeficijenti  $a_{m+1,1} \dots a_{n,s}$  pretvorbeni faktori u jednadžbi ograničenja, ovisno o vrsti ograničenja (investicijskim mogućnostima, faktorima istovremenosti, koeficijentima emisije itd.)
- konstante  $b_{m+1} \dots b_n$  granične vrijednosti (raspoložive količine goriva, snaga dobave, granične vrijednosti onečišćenja itd.)
- koeficijenti  $c_1 \dots c_s$  ekvivalentni godišnji troškovi pojedinih načina energetske opskrbe.

Za primjenu navedenog modela gradsko je područje prije toga potrebno podijeliti na manje konzumne cjeline homogene s obzirom na karakteristike mjerdavne za način energetske opskrbe — građevinske (stanovanje i zajednički sadržaji) i industrijske kasete. Jednadžbe energetske potreba postavljaju se za svaku građevinsku i industrijsku kasetu, a jednadžbe ograničenja postavljaju se prema potrebi za jednu kasetu, više njih ili za cijelo urbano područje.

U građevinskim se kasetama promatraju potrebe energije grijanja, pripreme potrošne tople vode, kuhanja i potrebe nesupstituabilne električne energije, a u industriji potrebe električne energije, energije grijanja, tehnološka para različitih temperaturnih nivoa i toplina visokih temperatura (različite vrste industrijskih peći).

Postupak optimiranja energetske opskrbe bitno olakšava uvođenje tzv. uvjetne građevinske kasete.

Uvjetna građevinska kasete je gradska četvrt dimenzija  $160 \times 315$  m, izgrađena alterantivno sa 4, 8, 16, 32, i 64 objekata, s tim da se varira veličina svakog objekta, tj. njegova priključna snaga.

### 3. INVESTICIJE I CIJENE GORIVA — OSNOVNE ODREDNICE EKONOMIJE ENERGETSKE OPSKRBE

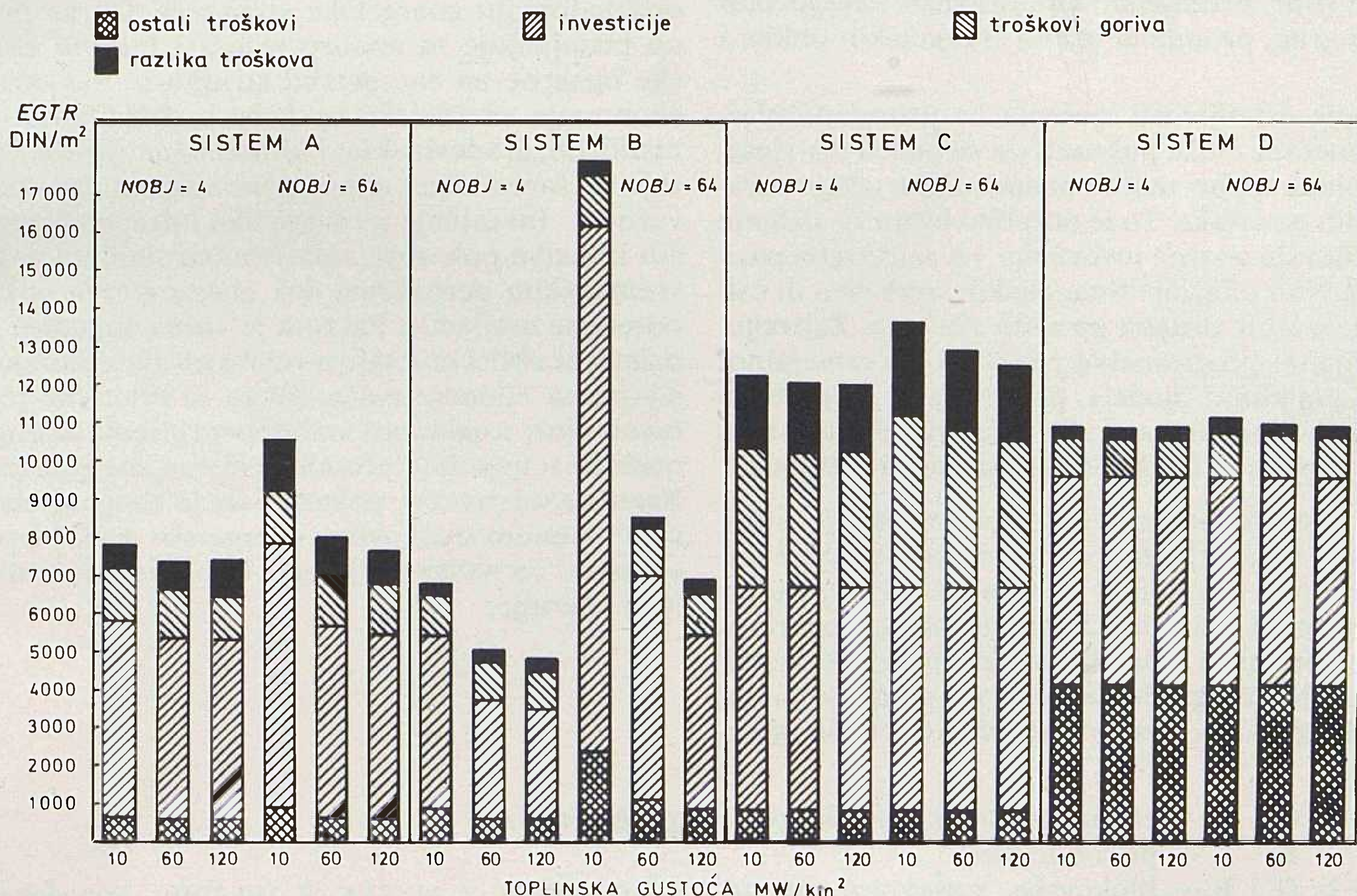
Ekonomičnost pojedinoga tehničkog sistema energetske opskrbe izravno ovisi o ukupnim investicijama (unutar granica promatranja), troškovima goriva te troškovima pogona i održavanja. Različitost tehničkih rješenja i vrsta upotrijebljenoga goriva izazivaju troškove različite po visini, dinamici i strukturi. Da bi se tako različiti energetske sistemi mogli međusobno usporediti (npr. opskrba ogrjevnom toplinom iz nuklearne elektrane s opskrbom prirodnim plinom) u različitim urbanim uvjetima (različite gustoće i tipa stanovanja), potrebno se koristiti suvremenom dinamičkom ekonomskom metodom za vrednovanje investicijskih projekata (npr. anuitetskom metodom ili metodom čiste sadašnje vrijednosti).

Ako se ukupni troškovi pojedinog sistema energetske opskrbe promatraju u osnovnoj strukturi: investicije, troškovi goriva i troškovi pogona i održavanja (kao što je pokazano na sl. 2), lako je uočiti ovisnost pojedinog tipa izdatka o toplinskoj gustoći i broju objekata za koji se planira energetska opskrba (toplinska je gustoća toplinska snaga potrebno za grijanje svih zgrada određene građevinske kasete podijeljena površinom kasete izražava se u  $\text{MJ} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ ). Vidljivo je da troškovi goriva i investicije većine suvremenih sistema energetske opskrbe stanovanja (etažni i centralizirani sistem) čine glavninu ukupnih troškova.

Investicijski troškovi nastaju u trenutku realizacije tehničkog sistema odnosno prije početka njegove eksploatacije. Stoga je moguće u trenutku donošenja odluke odnosno izrade studije usmjeravanja energetske opskrbe s velikom pouzdanošću utvrditi stvarne investicijske troškove za sva promatrana tehnička rješenja (pogotovo zato što u energetskej infrastrukturi gradova nema naglih skokova u tehnološkom razvoju). To su razlozi zbog kojih investicije ne unose veće neizvjesnosti u proces usmjeravanja planiranja energetske strukture.

Suprotno tome, u proteklih se petnaestak godina vidjelo da u području cijena energetskih oblika promjene mogu biti znatne i bitno utjecati na ekonomski bonitet pojedinoga tehničkog rješenja. Pritome je već davno uočena pojava korelacijskih veza cijena (primarnih) energenata. Od pedesetih godina ovog stoljeća ekonomski se odnosi u energetici gotovo bez izuzetka izvode iz kompleksa ekonomike naftne privred. Naime, poslije svih promjena u naftnom svijetu, bez obzira na razine cijena nafte (koje su se mijenjale neovisno o ekonomskim odrednicama), cijene ostalih primarnih energenata (ugljena, prirodnog plina) prilagodavale su se cijenama nafte, dakako, uz određeni vremenski pomak i uz određeno anuliranje kratkotrajnih ekscesnih cijena. Analiza odnosa cijena nafte na svjetskom tržištu i cijena prirodnog plina u proteklom periodu [5] te cijena nafte i cijena kvalitetnoga kamenog ugljena [6] pokazuje da valja računati s ovakvim odnosom cijena:

STRUKTURA EKVIVALENTNIH GODIŠNJIH TROŠKOVA



Slika 2. Struktura ekvivalentnih godišnjih troškova; cijena nafte 34 \$/bb1 i 18 \$/bb1

$$C_p = 0,825 \cdot C_n$$

$$C_u = 5,78 \cdot 10^{-6} \cdot C_n^3 - 3,47 \cdot 10^{-3} \cdot C_n^2 + 8,44 \cdot 10^{-1} \cdot C_n$$

gdje je:

$$C_p \text{ — cijena prirodnog plina fco granica, \$/t_{oe}}$$

$$C_n \text{ — CIF cijena nafte, \$/t_{oe}}$$

$$C_u \text{ — CIF cijan ugljena, \$/t_{oe}}$$

Moguće je, dakle, zaključiti da izbor načina energetske opskrbe pri planiranju energetske infrastrukture nije ograničen nepoznanicama odnosa cijana. U vezi sa samim nivoom budućih cijena nafte, gledanja su različita. Međutim, može se očekivati da će se one u periodu 1990 — 2010. kretati između 150 i 250 \$/t.

#### 4. OSJETLJIVOST ENERGETSKE STRUKTURE NA PROMJENE KOJE MOGU NASTATI U ENERGETICI

Kao što je spomenuto, usmjeravanje energetske opskrbe urbane sredine povezano je s nepoznanicama (uostalom, kao i svako planiranje budućnosti). Prevladavanje neizvjesnosti moguće je (i uobičajeno) analizom osjetljivosti rješenja na promjene ulaznih parametara. Koristeći se opisanim matematskim modelom za optimalizaciju energetske opskrbe urbane sredine, u prvom se koraku određuje rješenje na osnovi najvjerojatnijeg scenarija ulaznih podataka. Taj scenarij predočuje očekivani razvoj. U drugom se koraku ispituje utjecaj promjene ulaznih parametara na tako dobiveno rješenje. Primarno značenje ima istraživanje utjecaja optimističke i pesimističke alternative samo jednog parametra iz scenarija ulaznih podataka (npr. promjena raspoloživosti energetske oblika za grad, promjena cijena energetske oblika i sl.).

Istraživanje osjetljivosti rješenja na promjene ulaznih parametara može pokazati da se određena rješenja mijenjaju već pri malim promjenama prognoziranih ulaznih podataka. To je posebno bitno za sisteme koji zahtijevaju znatne investicije, pa zato treba paziti na dinamiku ulaganja financijskih sredstava ili čak predložiti odabir drugog po redu rješenja. Zahvaljujući razvijenoj programskoj podršci i sekvencijalnoj primjeni pojedinih modela, proces, iako na prvi pogled složen i mukotrpan, nije dugotrajan i težak za provedbu (svodi se na dijalog istraživača i računala).

Kao što je u prethodnom odjeljku naglašeno, ispitivanje osjetljivosti rješenja na promjene cijena energije posebno je zanimljivo pa se navodi kao primjer ovog postupka! Na slici 2. prikazana je struktura troškova toplinske opskrbe uvjetnih građevinskih kaset u uvjetima grada Zagreba pri ovim načinima opskrbe (G-grijanje, P-priprema potrošne vode, K-kuhanje):

- sistem a: G i P — etažni sistem na prirodni plin  
K — prirodni plin
- sistem b: G i P — blokovska kotlovnica na ugljen  
K — ukapljeni plin

- sistem c: G i P — etažni sistem na ekstralako loživo ulje  
K — ukapljeni plin
- sistem d: G i P — etažni sistem na mrki ugljen  
K — ukapljeni plin.

Osnovna, osjenčana polja odgovaraju strukturi pri cijenama goriva koje koreliraju s cijenom nafte 150 \$/t<sub>oe</sub>. Potpuno zatamnjena polja oslikavaju promjenu ukupnih troškova pri porastu cijene nafte od 150 na 250 \$/t<sub>oe</sub>. Vidljivo je da se rang boniteta pojedinog rješenja u promatranim uvjetima ne mijenja, odnosno da su rješenja stabilna pri promjeni cijena goriva u tom, očekivanom rasponu cijena energije. Navedeni podaci potvrđuju pretpostavku da je planiranje energetske opskrbe urbanih sredina važno oruđe u dugoročnom usmjeravanju energetske i financijske tokova i težnji prema optimalnim rješenjima.

#### 5. ZAKLJUČAK

Složene kauzalne veze između društvenoga, ekonomskog, tehničkog i ekološkog razvoja, prirodnih uvjeta i energetske razvoja određenog područja razlog su zbog kojega »nevidljiva ruka« tržišta nije dovoljna da usmjerava energetske opskrbu urbane sredine prema optimalnoj strukturi. Cilj planiranja energetske opskrbe urbane sredine jest minimiziranje troškova za zadovoljenje energetske potreba stanovništva, uvažavajući pritom prisutna ograničenja (raspoložive količine pojedinih energetske oblika, izgrađenost infrastrukture, ekološka ograničenja). Pomoćno sredstvo pri koncipiranju energetske strukture na osnovi navedenih postavki jest matematski model za optimalizaciju energetske strukture. On se praktično primjenjuje za analizu utjecaja faktora energetske opskrbe na energetske strukturu. Sagledavanje ekonomije energetske opskrbe u definiranim urbanističkim, građevinskim i klimatskim uvjetima pokazuje da investicije i cijene goriva imaju dominantnu važnost. Investicije u energetske infrastrukturu, kao što iskustvo pokazuje, relativno su stabilne u duljim vremenskim periodima, dok cijene goriva pokazuju određene oscilacije. Pri tom je važna činjenica da su primarni oblici energije u relativno stabilnim korelacijama sa cijenom nafte. Stoga se relativno jednostavno može analizirati stabilnost rješenja energetske opskrbe u uvjetima promjena cijena energije (nafte). Razmatrani primjer pokazuje da je zbog udjela goriva u ukupnim troškovima energetske opskrbe realno očekivati da na izbor rješenja bitno ne utječe nivo cijena energije.

#### LITERATURA

- [1] D. ĆORAK, Z. MUŽEK, V. JELAVIĆ: »Metodologija za usmjeravanje energetske opskrbe urbane sredine«, Energija 5/85, str. 355—363, Zagreb, 1985.

- [2] D. ČORAK, Z. MUŽEK: »Mogućnosti racionalizacije energije izborom energetske strukture primjerene strukturi stanovanja«, Energija 1/87, str. 13–22, Zagreb, 1987.
- [3] V. JELAVIĆ: »Uključivanje ekoloških ciljeva u matematički model za optimiranje energetske opskrbe urbanih sredina«, Energija 2/87, str. 147–155, Zagreb, 1987.
- [4] Z. MUŽEK: »Cijene nafte u svijetu — dosadašnji razvika i neke premise za budućnost«, Energija 5/86, str. 351–369, Zagreb, 1986.
- [5] Z. HILL: »Odnosi cijena primarnih oblika energije«, INA — Razvoj i istraživanje, Zagreb, 1987.
- [6] Z. MUŽEK i drugi: »Idejno rješenje supstitucije blokova 2 × PT32 u TE-TO«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1988.

#### OPTIMALIZATION OF POWER SUPPLY IN THE URBAN AREA

In the paper is presented a concept for optimalization of power supply in the urban area. Comments are made on the method principals as well as impact of base power economy requirements, investments and fuel prices oscillations.

#### ENERGIEVERSORGUNG IN URBANISIERTEN GEBIETEN

Im Artikel wird ein Konzept der Energieversorgung der urbanisierten Gebiete vorgelegt. Neben methodologischen Richtlinien wird auch der Einfluß der Oszillation der Grundbestimmungen der Wirtschaftlichkeit der Energieversorgung, der Investitionen und Brennstoffpreise kommentiert.

#### НАПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ЗАСТРОЕННОЙ МЕСТНОСТИ

В статье представлен концепт направления энергоснабжения застроенной местности. Исходя из методологических положений комментируется также и влияние колебаний основных положений экономики энергоснабжения, капиталовложений и стоимости топлива.

Naslov pisaca:

**Dr. Duško Čorak, dipl. inž.**  
**Mr. Zdravko Mužek, dipl. inž.**  
**Mr. Vladimir Jelavić, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb,**  
**Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-05-04



# TPK

INDUSTRIJA TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA,  
PROCESNE OPREME I KOTLOVA s n. sol. o. OOUR-a,  
ZAGREB



Telefon: (041) 216-666

\*

Telegram: TEPEKA — Zagreb

\*

Telex: 21-319 YU TPK ZG

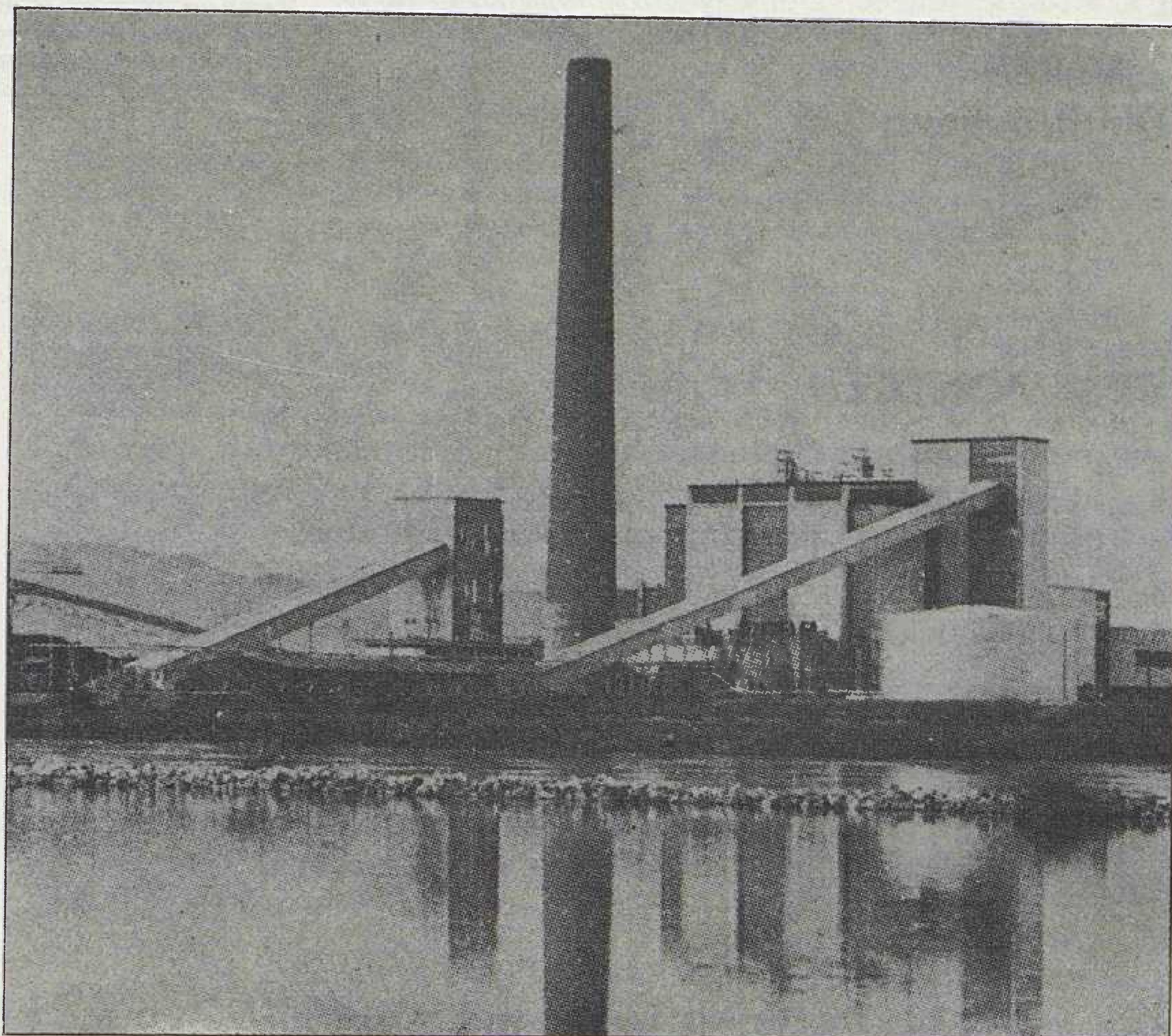
## Projektira

## Proizvodi

## Konstruira

## Montira

## Izvodi



### STACIONARNE KOTLOVE

po vlastitoj dokumentaciji i u suradnji do najvećih učina, tlakova i temperatura pare ili vode: za centralna grijanja • za daljinska grijanja • za tehnološke procese • za pogon parostrojeva • za baznu energetiku

### BRODSKE KOTLOVE

po vlastitoj dokumentaciji i po licenci: glavne: • pomoćne: na naftu, na ispušne plinove, kompozitne itd.

### ELEMENTE KOTLOVA

bubnjeve • cijevne sisteme • zagrijače vode • zagrijače zraka • pregrijače pare • čelične konstrukcije itd.

### OPREMU KOTLOVNICA

uređaje za kemijsku pripremu vode • uređaje za toplinsku pripremu vode • cjevovode • hladnjake pare • spremnike goriva • razne posude pod tlakom • prečistače dimnih plinova • limene dimnjake • uređaje za transport goriva itd.

### UREĐAJE ZA LOŽENJE

nepokretne roštilje • pokretne roštilje • mlinska ložišta • plinska ložišta • pneumatska ložišta • ložišta za drvenu piljevinu i otpatke • ložišta za ulja • ložišta za plin • drobilice i izbacivače šljake itd.

### OPREMU ZA PROCESNU INDUSTRIJU

za petrokemijsku industriju • za farmaceutsku industriju • za prehrambenu industriju • za industriju građevinskog materijala • za metalurgiju itd.

### BRODSKU OPREMU

spremnike • bojlere • hidrofere • rashladnike • zagrijače itd.

### ARMATURE

ventile ravne, kose i kutne: zaporne, zapornoodbojne, odbojne, regulacione, sigurnosne • hvatala nečistoće • glave za napajanje • termodinamička odvajala kondenzata • kondezne lonce • vodokaze • regulatore vodostaja • ispusne pipe • slavine • prirubnice za navarivanje itd.

### ELEMENTE ENERGETSKIH UREĐAJA

posude pod tlakom • izmjenjivače topline • razne spremnike • podnice itd.

### OPREMU ZA TEHNOLOŠKE PROCESE

za zagrijavanje i toplinske obrade • za transport limova, profila i cijevi • pomoćnu za zavarivanje • za uvaljavanje cijevi itd.

### PRIBORE

za pogonska ispitivanja vode • za utvrđivanje kvalitete radiograma • za toplinska mjerenja itd.

### SERVISIRANJE ENERGETSKIH POSTROJENJA REKONSTRUKCIJE ENERGETSKIH POSTROJENJA LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

defektoskopska • kemijska • metalografska • mehanička itd.

### ATESTACIJU ZAVARIVAČA

### RAZVOJNA ZNANSTVENA ISTRAŽIVANJA

# PLANIRANJE RAZVOJA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Doc. dr. Goran Granić — mr. Miljenko Bradarić — mr. Jakša Topić — Nikola Bilčar — mr. Slavko Alerić, Zagreb

UDK 621.31.001

PREGLEDNI RAD

Opisana je metoda planiranja razvoja elektroenergetskog sistema (proizvodnih i prijenosnih postrojenja) koja se temelji na simulaciji prilika u elektroenergetskom sistemu, međusobnoj usporedbi mogućih rješenja, simulaciji planova razvoja, vjerojatnosti hidroloških pojava i raspoloživosti termoelektrana, aktualizaciji troškova, troškovima za neisporučenu energiju itd. Proračuni po metodi za koju je razvijena programska podrška provode se u koracima, a rezultat proračuna je najpovoljniji plan (ili planovi) izgradnje proizvodnih postrojenja i prijenosne mreže.

**Ključne riječi:** planiranje, raspoloživost termoelektrana, vjerojatnost hidroloških pojava, aktualizacija troškova.

## 1. UVOD

U posljednjih je petnaestak godina razvijen velik broj metoda i modela za planiranje razvoja proizvodnih i prijenosnih postrojenja. Iako im je cilj jednak, pristupi rješenju problema, složenost metode, optimizacijska tehnika koja se koristi, za svaki su model različiti, a proizvodi su objektivnih prilika u elektroenergetskom sistemu u kojemu su nastali, razine znanstvene misli, tradicije, raspoloživosti pomagala itd., kao i subjektivnih pogleda pojedinih autora na rješenje pojedinih elemenata metode.

Metoda koja se u ovom radu promatra ima ishodište u dugogodišnjem znanstveno-istraživačkom radu na tom području znanosti u Institutu pod vodstvom prof. Požara. Ona je obogaćena dostignućima ostvarenim drugim metodama (metodom kumulanata, programskim paketom TRANSPLAN, paketom za proračun sigurnosti opskrbe potrošača itd.) i cjeloviti je pristup planiranju izgradnje proizvodnih i prijenosnih postrojenja. Prema matematičkoj razradi problema, izrađena je programska podrška za elektroničko računalo po sistemu komunikacije računalo-čovjek, što omogućuje jednostavan način primjene programskog paketa.

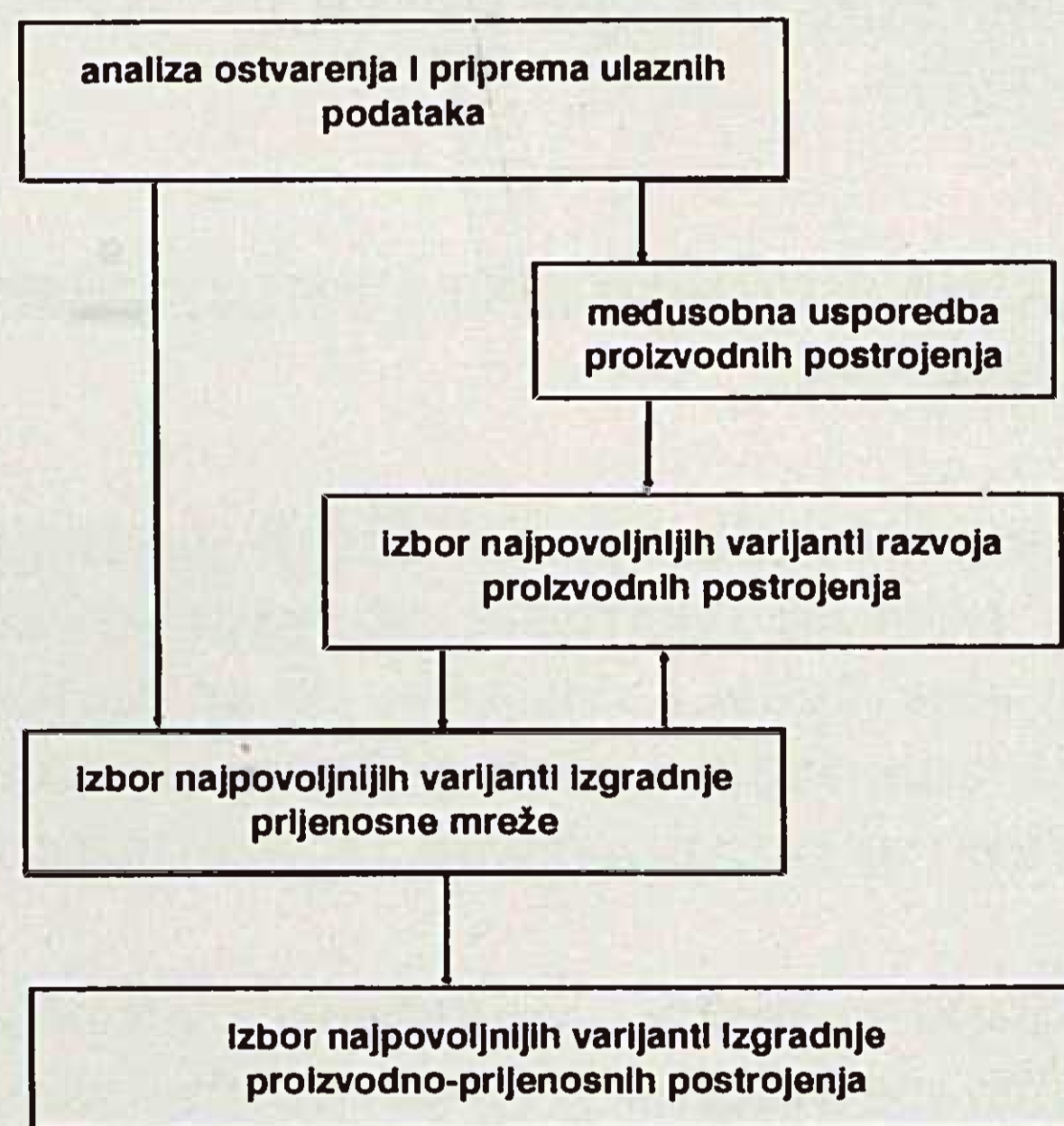
Proračun se provodi u nekoliko koraka, a konačni rezultat proračuna je najpovoljniji plan (ili planovi) razvoja. U sklopu proračuna potrebno je provesti sljedeće:

1. pripremu podataka, koja uključuje podatke o prošlosti i budućnosti za potrošnju, proizvodna i prijenosna postrojenja,
2. međusobnu usporedbu proizvodnih postrojenja na temelju proračuna energetsko-ekonomskih mogućnosti elektrana,
3. izbor najpovoljnijih planova razvoja proizvodnih postrojenja primjenom metode simulacije planova razvoja,

4. razradu prijenosne mreže za najpovoljnije varijante izgradnje proizvodnih postrojenja,
5. izbor najpovoljnijih varijanti izgradnje proizvodnih i prijenosnih postrojenja.

Shematski prikaz faza planiranja dan je na slici 1.

U metodi je jednaka pažnja pridana simulaciji prilika u elektroenergetskom sistemu (hidrologiji, raspoloživosti elemenata, tehničkom minimumu itd.) i ekonomskim parametrima metode (investicijama, troškovima, metodi aktualizacije itd.).



Slika 1. Shematski prikaz faza planiranja

## 2. FUNKCIJA CILJA

Svi se proračuni provode metodom aktualizacije troškova, tako da se troškovi uzimaju u vremenskom slijedu u kojemu nastaju (investicije, stalni troškovi, promjenjivi troškovi). Proračunom se obuhvaća određeno vremensko razdoblje, često kraće od vijeka trajanja postrojenja, pa se određena varijanta proračuna »opterećuje« samo vrijednošću amortizacije dijela investicije.

Razina izgrađenosti elektroenergetskog sistema ekonomska je kategorija, a troškovi za neisporučenu energiju (ili troškovi redukcije) omogućuju vrednovanje sigurnosti.

Funkcija cilja ima oblik:

$$\Phi = C' + C'g + C'' + C''' - C' p,$$

gdje su:  $C$  — troškovi izgradnje,  $C'g$  — stalni troškovi pogona,  $C''$  — promjenjivi troškovi,  $C'''$  — štete zbog redukcije,  $C'p$  — ostala vrijednost investicija.

### 3. SIMULACIJA PRILIKA U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU

Stimulacija prilika u elektroenergetskom sistemu razumijeva proračun raspodjele proizvodnje hidroelektrana i termoelektrana te proračun troškova proizvodnje. U proračunu se uzima u obzir hidrologija (dugogodišnje hidrološko razdoblje), raspoloživost termoelektrana (pojedinačno), remont termoelektrana, tehnički minimum i ovisnost troškova proizvodnje o angažiranoj snazi. Simulaciju prilika moguće je napraviti za sve tipove elektrana (hidroelektrane, termoelektrane na ugljen, mazut i plin, nuklearne elektrane i termoelektrane — toplane). Pri proračunu sigurnosti proizvodnje uzima se u obzir hidrologija i raspoloživost termoelektrana, pa se nužna izgradnja elektroenergetskog sistema određuje na temelju:

- reprezentativne hidrologije u jednoj godini (npr. 80% hidrologija)
- vjerojatnosti manjka snage zbog mogućih ispada termoelektrane iz pogona (LOLP — Loss of Load Probability).

### 4. MEĐUSOBNA USPOREDBA PROIZVODNIH POSTROJENJA

Međusobna usporedba proizvodnih postrojenja provodi se na temelju relativne energetske ekonomske vrijednosti elektrana, a cilj joj je da se na temelju boniteta elektrana napravi lista prioriteta u redoslijedu gradnje i tako skрати postupak izbora najpovoljnijeg rješenja.

Energetske ekonomske vrijednosti elektrane jest ekonomskim metodama vrednovan energetske doprinos elektrane elektroenergetskom sistemu. Usporedbom s referentnom elektranom, koja je zajednička za sve elektrane u istom ciklusu proračuna, posredno se omogućuje i međusobna usporedba elektrana.

Pritome treba imati na umu da se računa samo sa solidno pripremljenim elektranama za koje su uvaženi svi ekološki zahtjevi kao ograničenja proistekla iz programiranog razvoja energetike kao cjeline.

Budući da se energetske doprinos elektrane u toku njezina vijeka mijenja, proračun se provodi za cijelo plansko razdoblje ili za nekoliko karakterističnih godina, a unutar njih se, metodom interpolacije za svaku godinu planskog razdoblja određuje energetske doprinos.

### 5. SIMULACIJA PLANOVA RAZVOJA

Bonitet pojedine elektrane, iskazan energetske ekonomske vrijednošću, služi samo za određivanje početne dinamike izgradnje u osnovnom planu razvoja, koji se simulira za svaku godinu planskog razdoblja. Iz osnovnog plana razvoja izvode se moguće varijante razvoja, uz respektiranje relativne energetske ekonomske vrijednosti elektrana i moguću grešku u proračunu. Broj planova razvoja koje je potrebno simulirati ovisi o složenosti problema, ali ih po pravilu treba simulirati toliko da budu obuhvaćene sve realne varijante razvoja.

Za svaku godinu planskog razdoblja simuliraju se prilike u elektroenergetskom sistemu, proračunavaju troškovi gradnje, stalni troškovi, promjenjivi troškovi, troškovi redukcije, preostala vrijednost odnosno aktualizirane vrijednosti troškova. Usporedba razvojnih planova i izbor najpovoljnijih planova razvoja provodi se na temelju sume aktualiziranih troškova. Najpovoljniji plan izgradnje je onaj koji zahtijeva najmanje troškove.

Program dopušta da se investicije ograniče (ako su raspoloživa sredstva manja od onih koje zahtijeva najpovoljniji plan) i da se uz takvo ograničenje dobije najpovoljniji plan. U tom su slučaju, logično je, troškovi elektroenergetskog sistema veći nego za najpovoljniji plan i neograničene investicije.

### 6. SIMULACIJE RAZVOJA PRIJENOSNE MREŽE

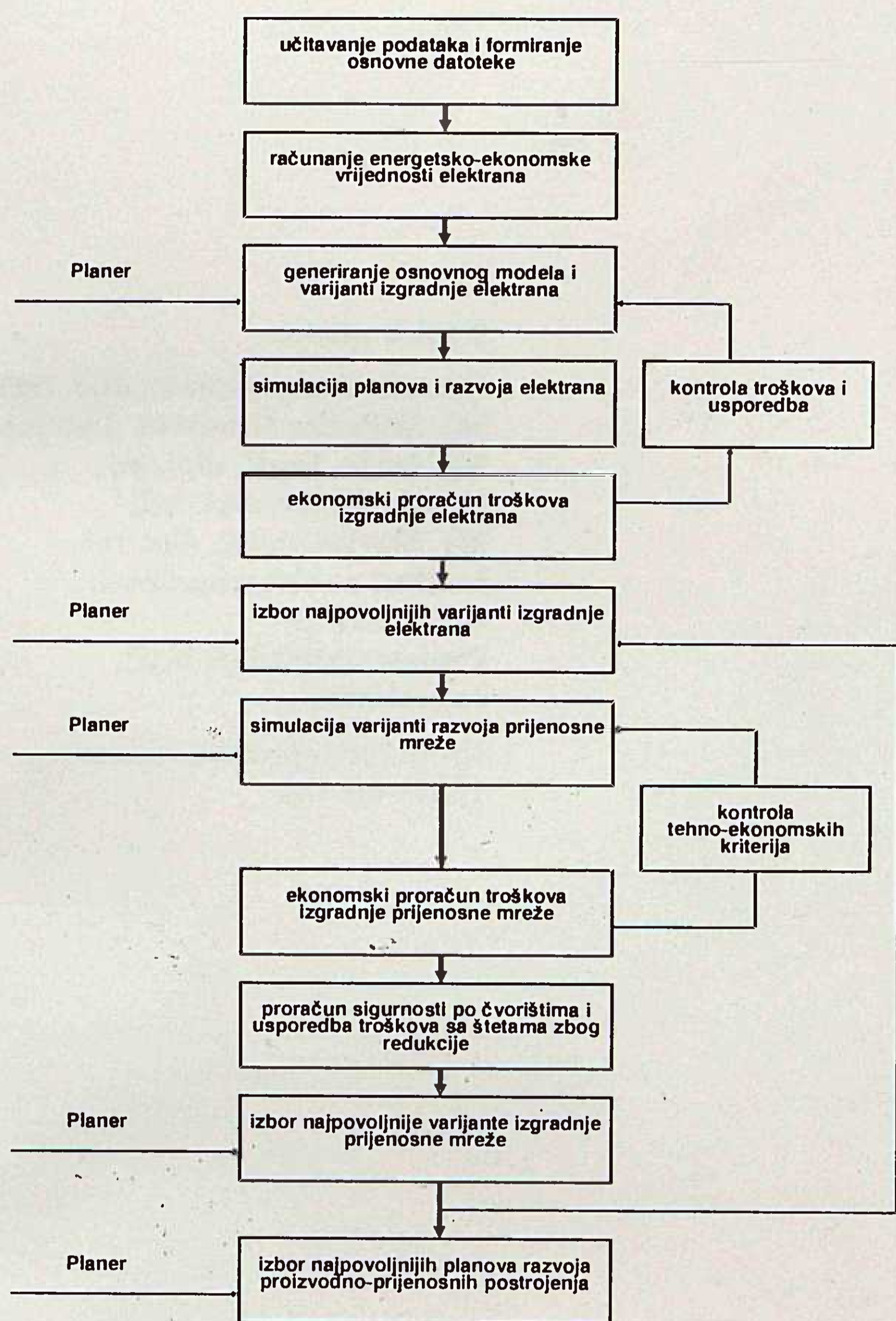
Potrebu za zajedničkim planiranjem razvoja proizvodnih postrojenja i prijenosne mreže nametnula je gradnja elektrana dalje od potrošačkih centara, čime troškovi prijenosne mreže postaju sve veći i zahtijevaju traženje optimuma u ukupnim troškovima proizvodnje i prijenosa. Zato se za svaku varijantu gradnje proizvodnih postrojenja simuliraju mogući planovi razvoja prijenosne mreže, a među njima, se uz uvažavanje tehničkih uvjeta, ukupnih troškova i šteta zbog redukcije, određuju najpovoljniji planovi razvoja.

Analizom više varijanti razvoja mreže, za više varijanti izgradnje proizvodnih postrojenja može se razdvojiti (prepoznati) dio mreže uvjetovan gradnjom svakoga pojedinog proizvodnog postrojenja od dijela mreže koji se uvjetovan rastom potrošnje električne energije.

Proračun mreže temelji se na simulaciji prilika u mreži odnosno na proračunu izmjeničnih tokova snaga, sagledavanju naponskih prilika, troškovima gradnje i pogona mreže, energetske i troškovnim pokazateljima sigurnosti opskrbe potrošača električnom energijom.

## 7. IZBOR NAJPOVOLJNIJIH PLANOVA IZGRADNJE PROIZVODNIH I PRIJENOSNIH POSTROJENJA

Konačni izbor najpovoljnijega ili najpovoljnijih planova razvoja proizvodnih i prijenosnih postrojenja sinteza je već napravljenih proračuna. Najpovoljniji plan razvoja je onaj čiji su troškovi izgradnje i pogona proizvodnih i prijenosnih postrojenja najmanji, naravno aktualizirani troškovi, uvažavajući smanjenje sigurnosti opskrbe potrošača u svim čvorištima. Shematski prikaz postupka planiranja razvoja proizvodno-prijenosnih postrojenja dan je na slici 2.



Slika 2. Shematski prikaz postupka planiranja razvoja proizvodno-prijenosnih postrojenja

Budući da je mehanizam planiranja razvoja elektroenergetskog sistema vrlo složen, a istodobno i osjetljiv na nesigurnost pojedinih tehničkih i ekonomskih parametara, izbor najpovoljnije varijante razvoja potrebno je podvrgnuti analizi osjetljivosti rezultata proračuna na moguće oscilacije nesigurnih parametara. Osnovna nesigurnost najčešće proistječe iz ekonomskih parametara: visine investicija i troškova, tretmana inflacije, visine stope aktualizacije itd. Analizom osjetljivosti mogu se obraditi i energetske parametri kao što su: rezerva sistema, faktor operćenja, kriterij sigurnosti itd.

## 8. ZAKLJUČAK

U toku rada na metodi i modelu, a pritom se misli na posljednjih nekoliko godina, postojala je dilema da li se opredijeliti za automatsku primjenu optimizacijskih tehnika ili odabrati metodu koja se može nazvati metodom kontroliranog optimiranja. Zbog više razloga odabrana je ova druga, a osnovni su ovi razlozi:

- uvođenjem optimizacijskih tehnika u metodi bi se morao osiromašiti dio koji se odnosi na simulaciju prilika u elektroenergetskom sistemu
- postoji mogućnost preselekcije na temelju energetske-ekonomske vrijednosti elektrana, što znati smanjuje broj mogućih kombinacija
- postoji potreba da se opiše svako postrojenje sa svim njegovim karakteristikama (tehničkim, energetskim i troškovnim)
- smatra se da je broj realni kombinacija mnogo manji od teorijskog broja mogućih, što proistječe iz poznavanja sistema.

Razvoj metode zahtijeva veći udio planera u koncepciji planova razvoja, kao i dobro poznavanje elektroenergetskog sistema i elemenata sistema.

Za razvojnu metodu napisan je program za elektroničko računalo programskim jezikom FORTRAN, na principu komunikacija planer — računalo, što znatno pojednostavljuje i ubrzava proces planiranja.

Razvijeni je model u posljednje vrijeme višeput korišten u postupku planiranja razvoja elektroenergetskog sistema SR Hrvatske.

## LITERATURA

- [1] G. GRANIĆ, M. BRADARIĆ: »Dogradnja modela za energetske-ekonomske valorizaciju novih elektrana radi njihova izbora« (II dio: elektroenergetske bilance), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1985.
- [2] G. GRANIĆ, M. BRADARIĆ: »Elektroenergetska bilanca u planiranju razvoja elektroenergetskog sistema« (I. dio: hidroelektrane, crpno-akumulacijska postrojenja i remont termoelektrana), Energija 6, 1985.
- [3] G. GRANIĆ, M. BRADARIĆ: »Elektroenergetska bilanca u planiranju razvoja elektroenergetskog sistema« (II. dio: proizvodnja termoelektrana, nuklearnih elektrana i termoelektrana — toplana), Energija 1, 1986.
- [4] G. GRANIĆ, D. PEŠUT: »Elektroenergetska bilanca u planiranju razvoja elektroenergetskog sistema« (III dio: sigurnost zadovoljenja potrošnje), Energija 2, 1986.
- [5] G. GRANIĆ, M. BRADARIĆ: »Dogradnja modela za energetske-ekonomske valorizaciju novih elektrana radi njihova izbora« (III dio: simulacija planova razvoja), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.
- [6] M. BRADARIĆ: »Planiranje razvoja elektroenergetskog sistema metodom simulacije planova razvoja«, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet, Zagreb, 1987.
- [7] N. BILČAR i dr.: »Analiza mogućnosti razvoja elektroprivrede SRH do 2000. godine s osvrtom na 2010. godinu«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1987.

- [8] D. PEŠUT: »Kriteriji za određivanje pouzdanosti opskrbe potrošača električnom energijom« (I. dio), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1984.
- [9] J. TOPIĆ, G. GRANIĆ, D. PEŠUT: »Kriteriji za određivanje pouzdanosti opskrbe potrošača električnom energijom« (III. dio), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.
- [10] J. TOPIĆ, G. GRANIĆ, D. PEŠUT: »Određivanje sigurnosti opskrbe potrošača električnom energijom na pragu prijenosa i distribucije uz uvažavanje svih karakteristika proizvodnih i prijenosnih dijelova EES«, XVIII. savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Budva, 1987.
- [11] J. TOPIĆ: »Zajedničko planiranje razvoja prijenosne mreže i proizvodnih postrojenja«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1987.

#### EXTENSION PLANNING OF ELECTRIC POWER SYSTEM

In the paper is presented a method for extension planning of electric power system (generation and transmission stations) that is based on the simulation of electric power system conditions, mutual comparison of solutions, simulation of extension plans, probability of hydro phenomena and availability of TPP, discount of costs, costs of undeliver power etc.

Calculations are made on step by step method, and results present optimal plan (or plans) for construction of generation and transmission stations.

#### ENTWICKLUNGSPLANUNG DES ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEMS

Im Artikel wird die Methode der Entwicklungsplanung des elektroenergetischen Systems (Herstellungs und Übertragungsanlagen) die auf die Stimulation der Verhältnisse im elektroenergetischen System eingeht, im gegenseitigen Vergleich der möglichen Lösungen, Stimulation der entwicklungspläne, Wahrscheinlichkeit der hydrologischen Erscheinungen und der zur Verfügung stehenden Wärmekraftwerke, Aktualisierung der Kosten, Kosten für die nicht gelieferte Energie usw. beschrieben. Berechnungen nach der Methode für die eine Programmunterstützung entwickelt wurde, werden schrittweise durchgeführt und das Resultat der Berechnungen ist der günstigste Plan (oder die günstigsten Pläne) des Ausbaus der Herstellungsanlagen oder des Übertragungsnetzes.

#### ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Описывается метод планирования развития электроэнергетической системы (установок выработки и передачи), основывающийся на моделировании обстоятельства электроэнергетической системы, взаимном сравнении возможных решений, моделировании планов развития, вероятности гидрологических явлений и располагаемых возможностях тепловых электростанций, актуализации расходов, расходов за неврученную энергию т.д. Расчеты по методу, для которого разработано программное шаговое вспомоществование, а результат расчета является самым благоприятным планом (или планами) сооружения производственных установок и сети передачи.

Naslov pisaca:

**Doc. dr. Goran Granić, dipl. inž.**  
**Mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.**  
**Mr. Jakša Topić, dipl. inž.**  
**Nikola Bilčar, dipl. inž.**  
**Mr. Slavko Alerić, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb**  
**Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988 — 06 — 08

# PLANIRANJE EKSPLOATACIJE ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Mr. Branka Jelavić — mr. Mićo Klepo — mr. Mladen Zeljko — Davor Tomašić, Zagreb

UDK 621.31.001:621.39

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U članku se na cjelovit način analizira i postavlja sistem planiranja eksploatacije elektroenergetskog sistema po svim vremenskim fazama i funkcijama planiranja te njihovi međusobni odnosi i veze. Prikazani su i neki rezultati planiranja.

**Ključne riječi:** elektroenergetski sistem, planiranje eksploatacije, bilanca, vozni red, dijagram opterećenja.

## 1. UVOD

Eksploatacija elektroenergetskog sistema razumijeva pouzdanu i kvalitetnu opskrbu potrošača električnom energijom, uz minimalne troškove. Eksploatacija znači niz aktivnosti i odluka u zadovoljenju potrebnje. Globalno ih možemo podijeliti na operativno vođenje sistema (on-line funkcije) te na funkcije planiranja eksploatacije (off-line funkcije). Planiranje eksploatacije obuhvaća period od sljedećeg dana do godine dana unaprijed, iako neka čvrsta podjela između on-line, off-line eksploatacije i planiranja razvoja elektroenergetskog sistema ne postoji, već je, naprotiv, potrebno da sve funkcije čine jedinstvenu cjelinu. Koncept moderne eksploatacije nezamisliv je bez istodobnog postojanja i koordinacije svih funkcija.

Primjena računala na tom području značila je velik skok u kvaliteti rada, a razvitak te primjene omogućilo je nastajanje niza matematičko-statističkih modela za optimizaciju, simulaciju i analizu rada EES-a. Istodobno je razvoj modernih informacijskih sistema omogućio sakupljanje i pohranjivanje velikog broja podataka o EES-u, što je nužan preduvjet svih funkcija.

Eksploatacija off-line može se podijeliti na dvije povezane grupe zadataka:

- planiranje eksploatacije,
- analizu rada EES-a.

Funkcije i zadaci planiranja eksploatacije jesu:

- 1) predviđanje potrošnje električne energije za potrebe planiranja eksploatacije;
- 2) planiranje proizvodnje i razmjene;
- 3) planiranje upotrebe akumulacijskih bazena za potrebe planiranja eksploatacije;
- 4) određivanje proizvodnje hidroelektrana za potrebe planiranja eksploatacije;
- 5) izrada elektroenergetske bilance za potrebe planiranja eksploatacije;
- 6) planiranje rasporeda remonta;

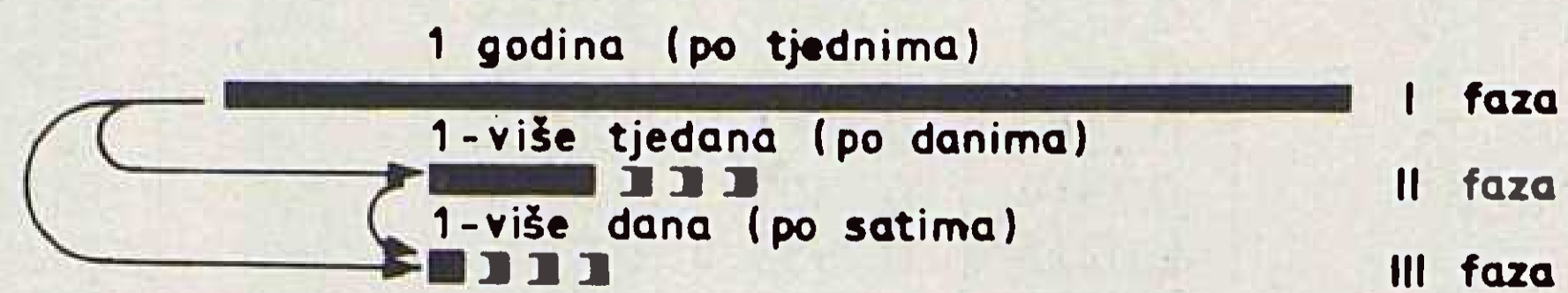
- 7) planiranje održavanja postrojenja;
- 8) izrada voznog reda;
- 9) izbor agregata;
- 10) proračun tokova snaga;
- 11) planiranje nabave rezervnih dijelova;
- 12) planiranje nabave goriva;
- 13) planiranje rezerve EES-a;
- 14) planiranje postupaka u slučaju ispada.

Sve su navedene funkcije po svom karakteru ujedno i funkcije analize. Dodatno, grupu funkcija analize čine i:

- 15) analiza učestalosti kvarova, smetnji i ispada pojedinih postrojenja i elemenata u sistemu;
- 16) analiza troškova rada sistema;
- 17) analiza ostvarene sigurnosti opskrbe potrošača;
- 18) analiza raspoloživosti postrojenja i elemenata EES-a;
- 19) analiza prolaznih i dinamičkih pojava u sistemu;
- 20) analiza djelovanja zaštitnih i ostalih uređaja.

Funkcije planiranja eksploatacije EES-a izvršavaju se u tri međusobno povezane vremenske faze (sl. 1):

- I. faza — dugoročno planiranje eksploatacije (po tjednima za godinu dana unaprijed);
- II. faza — srednjoročno planiranje eksploatacije (po danima za nekoliko tjedana unaprijed);
- III. faza — kratkoročno planiranje eksploatacije (po satima za nekoliko dana unaprijed).



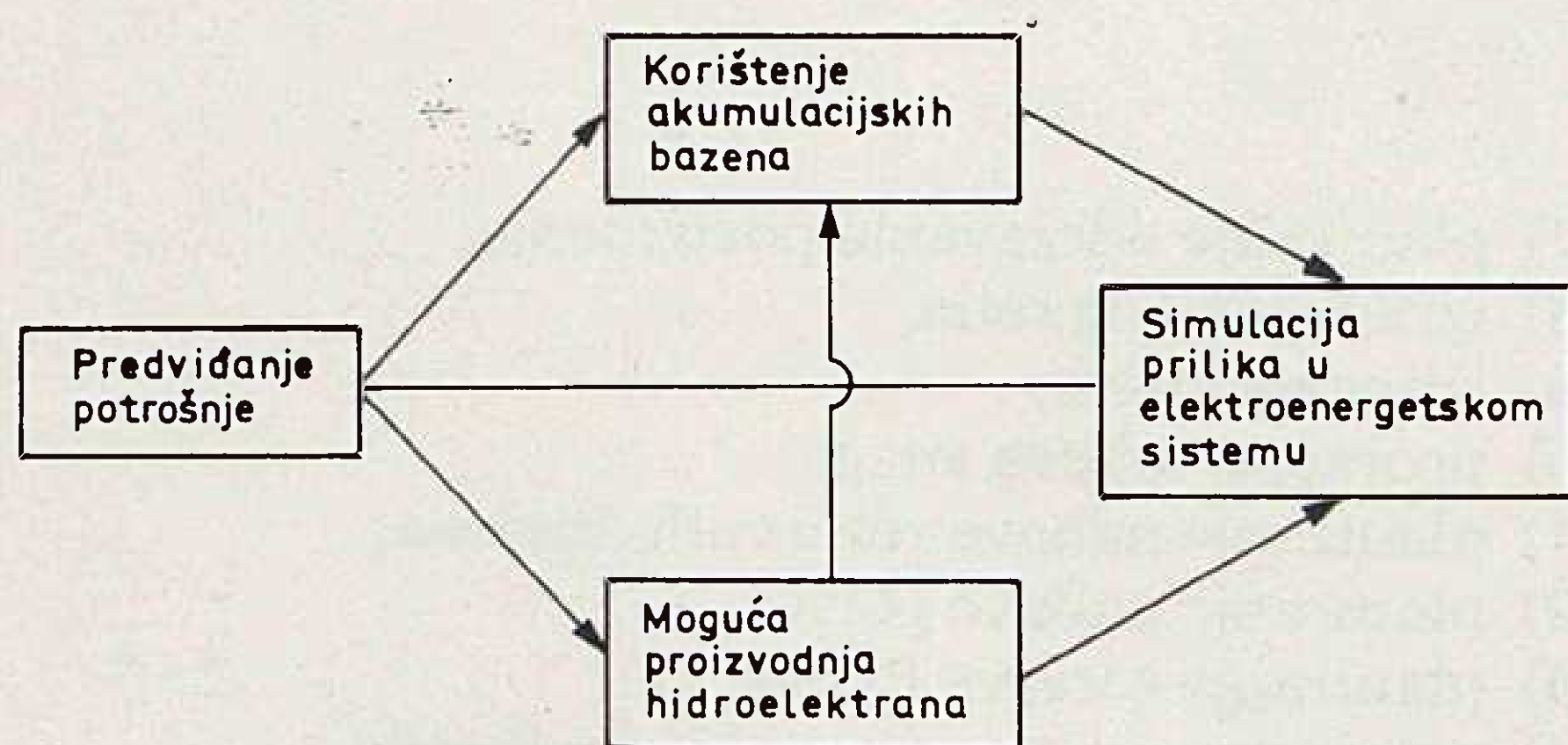
Slika 1. Blok-dijagram vremenskih faza funkcija planiranja eksploatacije EES-a

Planiranjem eksploatacije EES-a počeli smo se u Institutu za elektroprivredu intenzivnije baviti početkom osamdesetih godina. Prvi su koraci bili metodološki, no višegodišnje bavljenje problemima dugoroč-

noga i kratkoročnog planiranja rezultiralo je interaktivnim programskim paketima za praktičnu primjenu. Područje srednjoročnog planiranja upravo se metodološki obrađuje, a segment predviđanja potrošnje riješen je metodološki i programski.

## 2. DUGOROČNO PLANIRANJE EKSPLOATACIJE — GODIŠNJA ELEKTROENERGETSKA BILANCA

Za potrebe izvršavanja funkcija planiranja godišnje elektroenergetske bilance u Institutu za elektroprivredu metodološki je razrađen problem dugoročnog planiranja eksploatacije po pojedinim funkcijama, a zatim je na temelju toga izrađen zaokruženi modularni programski sistem (paket) za potpuno automatiziranu obradu na elektroničkom računalu (sl. 2).



Slika 2. Blok-dijagram izvršenja funkcija planiranja godišnje elektroenergetske bilance

Problem dugoročnog predviđanja potrošnje električne energije do jedne godine riješen je sektorskom metodom predviđanja potrošnje električne energije. Elementi obrade su sljedeći:

- predviđanje godišnje potrošnje električne energije za narednu godinu;
- predviđanje maksimalnog opterećenja;
- sezonske oscilacije potrošnje i maksimalnog opterećenja;

Tablica 2. Parametri mjesečnih krivulja trajanja opterećenja

MJ	ALFA	BETA	ALFA+BETA	tv (H)	PMAKS (MW)	WUJ	WU (GWh)	WK (GWh)	WVR	RPK	RPM
1.	0.0409	0.8527	0.8936	716	2930.5	0.7042	1535.4	1049.0	0.3168	0.4811	0.4387
2.	0.0403	0.8406	0.8809	634	2955.7	0.6989	1388.1	962.8	0.3064	0.4848	0.4561
3.	0.0087	0.9086	0.9173	658	2829.5	0.6973	1468.0	1033.1	0.2962	0.4907	0.4427
4.	0.6859	0.3424	1.0284	619	2413.7	0.7351	1277.5	912.7	0.2855	0.5252	0.4682
5.	0.6898	0.3894	1.0792	633	2246.4	0.7537	1259.7	910.3	0.2774	0.5447	0.4983
6.	0.7008	0.3251	1.0259	620	2269.8	0.7354	1201.9	859.9	0.2846	0.5261	0.4808
7.	0.1234	0.6316	0.7550	734	2655.2	0.6412	1266.6	849.9	0.3321	0.4282	0.4163
8.	0.6914	0.4796	1.1711	610	2189.0	0.7733	1259.4	918.5	0.2707	0.5640	0.5294
9.	0.7039	0.4086	1.1125	594	2231.5	0.7607	1222.2	896.2	0.2668	0.5578	0.5217
10.	0.7919	0.1305	0.9223	740	2512.5	0.7164	1339.2	890.0	0.3354	0.4761	0.4761
11.	0.0213	0.7953	0.8166	709	2925.0	0.6731	1417.5	954.6	0.3266	0.4533	0.4462
12.	0.0571	0.7383	0.7954	724	3087.1	0.6527	1499.2	995.7	0.3359	0.4335	0.4083
Prosjeck	0.3796	0.5702	0.9499	666	2603.8	0.7118	1344.6	935.7	0.3029	0.4971	0.4652

MJ — mjesec  
 ALFA, BETA — koeficijenti za krivulju trajanja opterećenja  
 TV — trajanje vršnog opterećenja  
 PMAKS. — maksimalno opterećenje  
 WUJ — faktor opterećenja

WU — ukupna energija  
 WK — konstantna energija  
 WVR — varijabilna energija  
 RPK — relativno konstantno opterećenje  
 RPM — relativno minimalno opterećenje

- predviđanje krivulja trajanja opterećenja i njihovih elemenata;
- potrošnja po grupama potrošača;
- ovisnosti o utjecajnim faktorima (klimatskim, temperaturnim itd.).

Postavljena struktura omogućuje vrlo jednostavno prilagođavanje pojedinačnim potrebama i načinima korištenja, obuhvaćanje rasta potrošnje zbog priključivanja novih potrošača ili rasta potrošnje postojećih, obuhvaćanje periodičnih oscilacija, klimatskih varijacija i promjena potrošnje zbog praznika i izvanrednih događaja itd.

U tablicama 1. i 2. radi ilustracije je prikazan dio rezultata predviđanja potrošnje električne energije za 1989. godinu.

Tablica 1. Maksimalna opterećenja, potrošnja električne energije i porast potrošnje u SR Hrvatskoj 1989. godine

Sektor	Maksimalno opterećenje (MW)	Ukup. potr. (GWh)
1. gubici prijenosa distribucije	310.01	1788.332
2. direktni i specijalni potroš.	463.04	3230.920
3. industrija i promet	1758.74	6618.081
4. dom. i uslužne djelatnosti	1657.37	4497.483
Ukupno	2944.76	16134.816

Maksimalno opterećenje ostvaruje se 26. 12. u 19. satu.  
 Ukupni porast potrošnje električne energije iznosi 0.0278 (2,78 %)

Proračun moguće proizvodnje protočnih hidroelektrana osniva se na metodi prioritarnih sati kojom se u osnovi pretpostavlja da je dnevni dotok hidroelektrane sa stanovišta elektroenergetskog sistema najpovoljnije iskoristiti za proizvodnju u satima najvećeg opterećenja. Prema tome, za određivanje moguće proizvodnje protočnih hidroelektrana nužno je znati srednje dnevne protoke, slijed sati prema prioritetu, realna ograničenja elektrana (korisni i početni volumeni bazena, instalirani protoci, biološki minimumi, snage agregata) i osnovne parametre karakteristika

hidroelektrana (krivulje donje vode, krivulje bazena, stupnjeve iskorištenja agregata) itd. Na osnovi tih podataka simulacijskim se postupkom dotok u toku dana raspoređuje po satima, uz zadovoljenje kriterija prioritarnih sati i ostalih ograničenja. Iz tako dobivenih dotoka i poznatih karakteristika izračunaju se dnevne moguće proizvodnje protočnih hidroelektrana, a iz njih se zatim obradom dobiju moguće proizvodnje za tražene vremenske intervale.

U sklopu programske cjeline korištenja akumulacijskih bazena izračunavaju se poželjna stanja u akumulacijskim bazenima za narednu godinu. Rezultati proračuna su poželjna stanja u akumulacijskim bazenima, ali i proizvodnja akumulacijskih hidroelektrana te proizvodnje termoelektrana za različite hidrološke varijante. Metoda proračuna poželjnih stanja u akumulacijskim bazenima po svom je karakteru simulacijska metoda koja uzima u obzir vjerojatnost pojave prirodnog dotoka na pojedinom vodotoku. Na osnovi potreba potrošnje, mogućnosti termoelektrana, stanja u bazenima i energetske vrijednosti prirodnog dotoka izračuna se potrebno punjenje ili pražnjenje akumulacijskih bazena. Raspodjela punjenja ili pražnjenja na pojedinu akumulaciju provodi

se prema utvrđenim kriterijima. Osim energetskog proračuna, provodi se i ekonomski proračun koji se sastoji u vrednovanju (određivanju jedinične cijene) energije iz bazena. To je još jedan dodatni kriterij nužan za eksploataciju, odnosno korištenje akumulacijskih bazena.

U tablicama 3. i 4. pokazan je dio rezultata određivanja načina korištenja akumulacijskih bazena za potrebe godišnje bilance.

Simulacijom prilika u EES-a obuhvaćeno je elektroenergetsko bilanciranje, tj. simulacija prilika u elektroenergetskom sistemu koja uključuje bilancu snage i energije, proračun troškova proizvodnje i goriva, raspodjelu remonta, proračun potrebnih količina goriva te utjecaj hidrologije. Pritom bilanca snage i energije zapravo znači raspodjelu opterećenja u krivulji trajanja opterećenja na hidroelektrane i termoelektrane, ukupno i pojedinačno, i to uzimajući u obzir određene kriterije, naročito neizvjesnost proizvodnje hidroelektrana (vezanu za vjerojatnost ostvarenja hidrologije), raspoloživost termoelektrana, nezadovoljenje potrošnje kao posljedicu nedovoljne izgradnje sistema i ostalih utjecajnih faktora, dakle s obzirom na sigurnost opskrbe potrošača.

Tablica 3. Stanja akumulacija — GWH (uz uvjet pražnjenja akumulacije Buško Blato)

		Poč.	Mjesec											
			1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	12.	12.
1. Kruščica	R	65.0	78.4	81.3	120.9	127.3	130.9	120.2	117.4	124.3	118.2	118.6	97.4	75.7
	I	65.0	56.9	60.3	70.1	98.7	114.9	115.7	112.8	113.3	107.3	9.9	20.6	37.3
	P	65.0	74.1	77.1	110.7	121.6	127.7	119.3	116.5	122.1	116.1	96.9	82.1	68.0
	D	65.0	65.5	68.7	90.4	110.1	121.3	117.5	114.7	117.7	111.7	53.4	51.4	52.6
2 Vinodol	R	37.0	42.3	43.4	55.3	60.7	62.1	55.4	54.1	57.2	54.4	40.0	45.0	45.0
	I	37.0	32.4	33.7	37.2	40.6	43.2	44.7	43.6	44.0	41.7	40.0	18.0	24.0
	P	37.0	40.3	41.4	51.7	56.7	58.3	53.3	52.0	54.5	51.9	40.0	39.6	40.8
	D	37.0	36.3	37.6	44.5	48.7	50.8	49.0	47.8	49.3	46.8	40.0	28.8	32.4
3 Peruča	R	215.0	244.6	250.7	338.4	351.7	360.9	331.3	323.6	343.9	327.2	260.0	282.0	340.9
	I	215.0	188.3	195.7	218.6	286.5	340.8	324.0	316.1	330.5	318.2	260.0	116.7	150.6
	P	215.0	233.3	239.7	314.4	338.6	356.8	329.9	322.1	341.2	324.4	260.0	248.9	302.8
	D	215.0	210.8	217.7	266.5	312.6	348.8	326.9	319.1	335.8	318.8	260.0	182.8	226.7
4 Buško Blato	R	263.0	384.5	433.4	316.8	200.0	100.0	.0	.0	.0	.0	16.8	142.7	273.4
	I	263.0	230.3	255.6	287.7	200.0	100.0	.0	.0	.0	.0	0.1	6.1	37.3
	P	263.0	353.6	397.8	311.0	200.0	100.0	.0	.0	.0	.0	13.5	115.3	226.2
	D	263.0	292.0	326.7	299.3	200.0	100.0	.0	.0	.0	.0	6.8	60.7	131.7
Ukupno	R	580.0	749.7	808.8	831.5	739.6	653.9	508.0	496.1	526.4	500.9	435.5	567.1	735.0
	I	580.0	507.9	545.3	613.6	625.9	598.9	485.3	473.5	488.7	463.2	310.0	161.4	249.1
	P	580.0	701.3	756.1	787.9	716.9	642.9	503.4	491.6	518.8	493.3	410.4	485.9	637.8
	D	580.0	604.6	650.7	700.8	671.4	620.9	494.4	482.6	503.8	478.2	360.2	323.6	443.5

Oznake: Poč. — početno stanje; R — redovito stanje; I — izvanredno stanje; P — prosječno stanje; D — donja granica stanja

Tablica 4. Prosječna proizvodnja akumulacijskih hidroelektrana — GWH (uz uvjet pražnjenja akumulacije Buško Blato)

Elektrana	Mjesec												GOD.
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	
HE Sklope	7.5	6.7	6.0	7.2	6.0	4.6	1.9	0.1	1.8	7.8	6.0	7.7	63.3
HE Senj	102.8	95.4	92.6	97.6	81.7	63.9	38.7	20.	33.0	86.5	147.7	150.0	1009.8
Ukupno	110.4	102.1	98.7	104.7	87.6	68.4	40.6	20.1	34.8	94.2	153.7	157.8	1073.1
HE Vinodol	8.6	10.1	2.5	5.2	6.5	10.1	5.1	0.5	8.7	24.2	19.6	13.8	114.9
Ukupno	8.6	10.1	2.5	5.2	6.5	10.1	5.1	0.5	8.7	24.2	19.6	13.8	114.9
HE Peruča	9.7	8.8	3.4	10.3	10.0	12.2	6.4	1.3	6.4	16.5	16.5	5.8	107.3
HE Orlovac	7.6	20.9	119.3	119.2	100.8	82.3	10.4	7.5	11.0	17.8	5.1	13.3	515.2
HE Zakučac	175.0	154.0	196.5	245.2	209.7	176.3	65.8	23.0	62.2	165.2	235.5	192.3	1900.6
Ukupno	192.4	183.7	319.2	374.7	320.6	270.8	82.6	31.7	79.5	199.5	257.1	211.4	2523.1
Sveukupno	311.3	295.9	420.3	484.7	414.7	349.4	128.3	52.3	123.0	317.9	430.3	383.0	3711.1



Simulacijom prilika u EES-u, koji se modelira matematičkim jednadžbama, aproksimiraju se realni odnosi u sistemu. Pritom je osnovna mjera kvalitete aproksimacije ujednačenost nivoa kvalitete rezultata, odnosno grešaka po elementima i obradama. Vremensku osnovu simulacije čini veće vremensko razdoblje podijeljeno na osnovne vremenske jedinice (tjedan ili mjesec).

Osnova elektroenergetskog bilanciranja odnosno simulacije jest metoda konstantne i varijabilne energije i snage proširena postupkom probabilističke obrade i optimizacijskim algoritmom, kojima se za odabrane vremenske periode određuju konfiguracije i raspoređi u sistemu željene pouzdanosti odnosno sigurnosti zadovoljenja potrošnje uz minimalne troškove. Raspodjela opterećenja u krivuljama trajanja opterećenja na hidroelektrane i termoelektrane, ukupno i pojedinačno, provodi, se uz zadovoljenje određenog broja kriterija, pogotovu s obzirom na nezvjesnost ostvarenja proizvodnje hidroelektrana (vezano za vjerojatnost pojave hidrologije), raspoloživost termoelektrana, očekivane potrebe za energijom koje proizvodni sistem neće moći zadovoljiti zbog nedovoljne izgradnje sistema ili druge važne faktore kao što je sigurnost napajanja potrošača i sl.

U tablici 5. radi ilustracije pokazan je dio rezultata proračuna godišnje elektroenergetske bilance za SR Hrvatsku za 1989. godinu.

### 3. SREDNJOROČNO PLANIRANJE EKSPLOATACIJE

Srednjoročno planiranje eksploatacije odnosi se na dnevno planiranje za nekoliko tjedana unaprijed. Skup funkcija srednjoročnog planiranja jednak je onome za godišnje planiranje (sl. 3), ali zbog razlike u trajanju vremenskog perioda srednjoročno je planiranje operativno. Višetjedno predviđanje potrošnje, eventualne korekcije dinamike punjenja i pražnjenja akumulacija, a u vezi s tim i promjene moguće proizvodnje hidroelektrana, plana remonta i sl. utječu na elektroenergetsku bilancu. Također je potrebno uočiti ostvarenje godišnjeg plana i, ako je potrebno, korigirati predviđanja za dio godine.

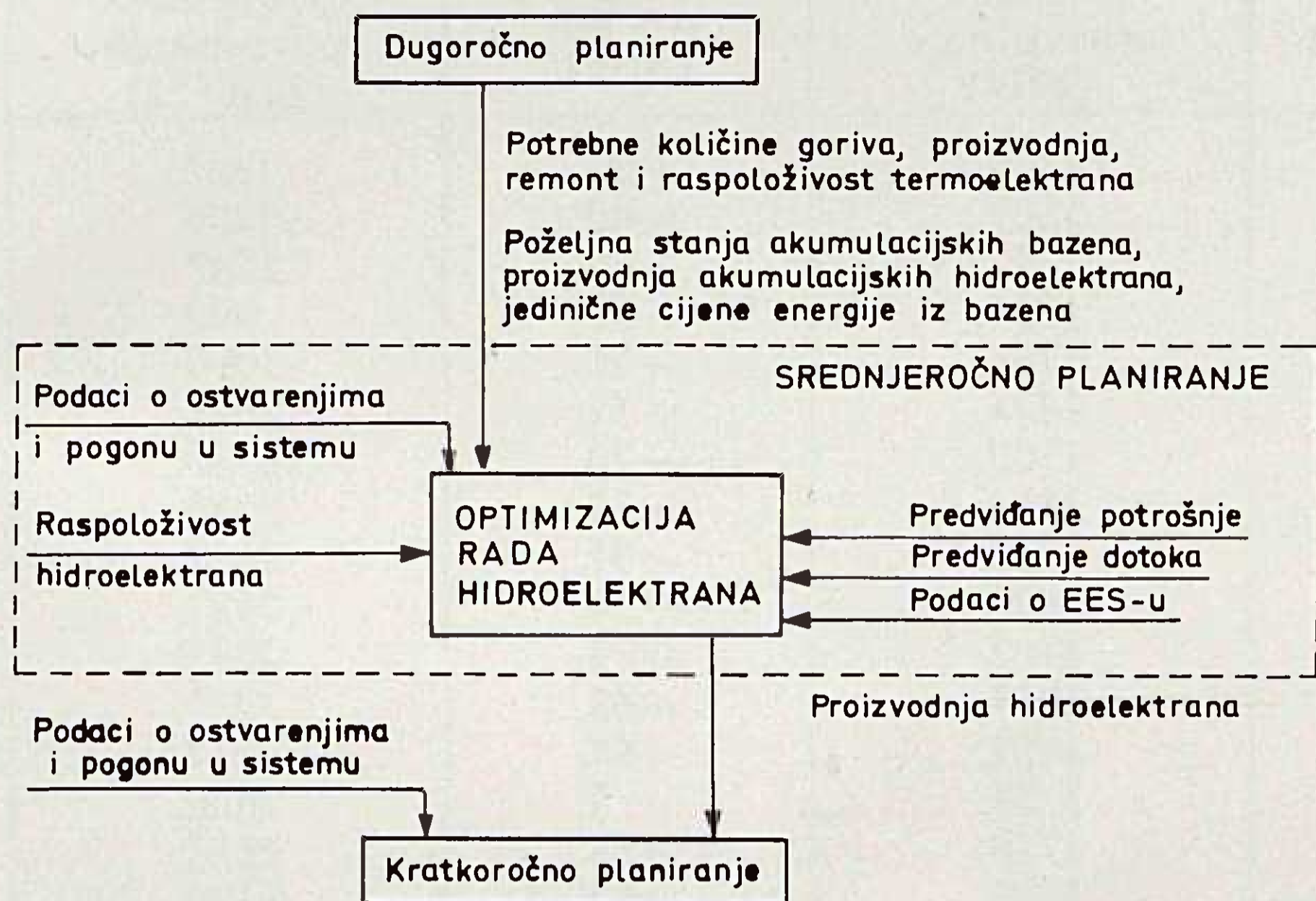
Višetjedno planiranje ima prednost pred mjesečnim zato što je tjedan uvijek jednak ciklus rada EES-a diktiran tjednim ritmom potrošnje, a mjesec kao osnovna vremenska jedinica ne traje jednak broj sati, pa se taj nedostatak na određeni način pokušava ub-

Tablica 5. Dio rezultata proračuna godišnje elektroenergetske bilance

		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X	XI.	XII.	GOD.
Potrošnja:														
<i>PMAKS</i>	MW	2930.5	2955.7	2829.5	2413.7	2246.4	2269.8	2655.2	1289.0	2231.5	2512.5	2925.0	3087.1	3087.1
<i>W</i>	GWH	1535.4	1388.1	1468.0	1277.5	1259.7	1201.9	1266.6	1259.4	1222.2	1339.2	1417.6	1499.2	16134.8
<i>WK</i>	GWH	1049.0	962.9	1033.1	912.7	910.3	859.9	845.9	918.5	896.2	890.0	954.6	995.7	11228.7
Hidroelektrane														
HE														
<i>PHMKS</i>	MW	1627.1	1675.9	1705.2	1743.9	1714.1	1752.8	1755.2	1586.3	1720.4	1681.4	1635.0	1612.0	1684.1
<i>WH</i>	GWH	527.6	474.8	628.9	674.3	614.2	534.2	300.9	216.1	286.3	499.3	641.3	603.2	6001.2
<i>WHK</i>	GWH	162.7	145.1	220.3	228.7	138.8	66.2	19.7	20.8	24.3	113.9	275.1	231.0	1646.6
CHE														
<i>PHMKS</i>	MW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>WH</i>	GWH	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>WHK</i>	GWH	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ukupno														
<i>PHMKS</i>	MW	1627.1	1675.9	1705.2	1743.9	1714.1	1752.8	1755.2	1586.3	1720.4	1681.4	1635.0	1612.0	1684.1
<i>WH</i>	GWH	527.6	474.8	628.9	674.3	614.2	534.2	300.9	216.1	286.3	499.3	641.3	603.2	6001.2
<i>WHK</i>	GWH	162.7	145.1	220.3	228.7	138.8	66.2	19.7	20.8	24.3	113.9	275.1	231.0	1646.6
<i>DPH</i>	MW	128.1	173.8	135.3	187.9	336.4	412.7	441.8	880.6	824.6	322.7	24.9	2.2	322.6
<i>DWH</i>	GWH	0.2	1.1	5.4	3.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	1.5	14.5	31.8
<i>RRH</i>	MW	80.8	97.8	77.7	91.4	134.0	144.4	149.9	154.1	154.1	120.5	17.4	0.0	101.8
Termoelektrane														
<i>PT</i>	MW	1431.5	1453.6	1259.6	857.7	868.6	929.8	1341.8	1483.3	1335.7	1153.8	1314.8	1477.3	1242.3
<i>PTK</i>	MW	1190.3	1221.8	1091.9	836.7	859.9	929.6	1105.0	1203.0	1190.9	1027.6	957.6	1066.4	1056.7
<i>WTE</i>	GWH	936.5	845.0	764.4	578.2	619.3	663.2	887.5	928.1	878.1	656.1	637.0	801.0	9194.2
<i>TG</i>	106 DIN	28580.1	26156.4	21464.3	14811.6	16313.7	19606.1	28631.8	29489.5	27558.7	23234.7	21661.7	22787.5	280296.2
<i>RRT</i>	MW	73.3	56.3	76.4	62.7	20.1	9.7	4.2	0.0	0.0	33.6	136.7	154.7	52.3
<i>RTE</i>	MW	0.0	0.0	290.0	438.0	386.0	212.0	92.0	27.0	152.0	514.0	514.0	198.0	235.3
<i>SPAP</i>	MW	1953.0	1953.0	1663.0	1431.0	1263.0	1417.0	1477.0	1562.0	1687.0	1355.0	1439.0	1755.0	1579.6
<i>LOLP</i>		0.01481	0.01095	0.01630	0.01602	0.02208	0.03096	0.00612	0.03557	0.02852	0.02376	0.01949	0.01662	0.02010
Redukcija i štete														
<i>KPI</i>	GWH	68.3	66.7	77.0	28.3	26.1	4.4	77.8	111.3	56.4	166.9	124.9	101.6	909.8
<i>OST.</i>	GWH	3.2	2.7	3.0	0.6	0.3	0.1	0.4	3.8	1.4	22.1	15.8	7.9	61.5
Ukupno redu.		71.5	69.4	80.1	28.9	26.4	4.5	78.2	115.2	57.8	188.9	140.7	109.5	971.3
<i>KPI</i>	106 DIN	17086.5	16686.5	19251.7	7067.6	6523.8	1100.3	19448.5	27832.9	14099.7	41718.3	31231.0	25403.5	227450.4
<i>OST</i>	106 DIN	1597.4	1331.8	1524.2	321.8	160.9	62.1	217.4	1916.5	724.7	11032.5	7883.7	3961.6	30734.6
Ukupne štete		18684.0	18018.3	20775.9	7389.4	6684.7	1162.3	19665.9	29749.4	14824.5	52750.8	39114.7	29365.1	258184.9

Oznake: *PMAKS*, *PT* — Maks. snaga; *W*, *WH*, *WTE* — Ukupna energija; *WK*, *WHK* — Konst. energija; *DPH* — Neiskorišteni dio snage u HE; *DWH* — Preljevi; *PRH*, *RRT* — Rot. rezerva; *PTK* — Konst. snaga TE; *TH* — Troškovi goriva; *RTE* — Remont TE; *SPAP* — Raspoloživa snaga; *LOLP* — Vjerojatnost manjka snage; *KPI* — Konst. potrošači; *OST.* — Ostali potrošači

lažiti računanjem s ekvivalentnim mjesecom. No, s obzirom na to da se mjesečno razdoblje uvriježilo u postupku planiranja, nije problem iz višetjednog plana odrediti i mjesečni plan.



Slika 3. Blok-dijagram srednjoročnog planiranja

U Institutu za elektroprivredu u toku je metodološka razrada sistema srednjoročnog planiranja eksploatacije elektroenergetskog sistema po elementima i funkcijama koje ga čine, naročito po vezama i komunikaciji unutar cjelokupnog sistema planiranja eksploatacije. Stoga je srednjoročno planiranje naročito složen i osjetljiv podsistem, kako u metodološkom, tako i u programskom smislu.

Od funkcija srednjoročnog planiranja dosada je metodološki i programski riješeno predviđanje potrošnje. Predviđanje dotoka zahtijeva novu metodološku razradu kao i proračun raspoloživosti elektrana odnosno sistema za promatrano vremensko razdoblje. Podskup funkcija čiji osnovni rezultat treba da bude optimizacija rada hidroelektrana dosada je riješen, ali tako da vremenska jedinica tjedna bude osnovna jedinica duljeg perioda (godine) za koju se upravo radi proračun. Stoga je nužna metodološka i programska obrada, ali za to da bi se tjedan učinio vremenskom osnovom proračuna s danima kao osnovnim vremenskim intervalima. Metodološka i programska obrada nužna je i za sistem toka i razmjenu podataka, pogotovo s obzirom na njihov oblik i učestalost.

#### 4. KRATKOROČNO PLANIRANJE EKSPLOATACIJE

Treća je faza kratkoročno planiranje eksploatacije i određivanje konkretnih i operativnih satnih planova za nekoliko dana unaprijed. U tim je planovima s dosta sigurnosti moguće predvidjeti važne utjecajne faktore (vremenske prilike, dotoke, raspoloživost postrojenja, razmjenu itd.), pa je za predviđene prilike potrebno odrediti vozni red, tj. raspodjelu opterećenja po elektranama, uz uvjet minimuma troškova proizvodnje.

Taj je problem metodološki razrađen u Institutu za elektroprivredu, i to za dan unaprijed po satima. Ta-

koder je izrađen programski paket za elektroničko računalo.

Paket se sastoji od dva modula: modula za predviđanje dijagrama opterećenja i modula za dnevnu raspodjelu opterećenja među elektranama EES-a.

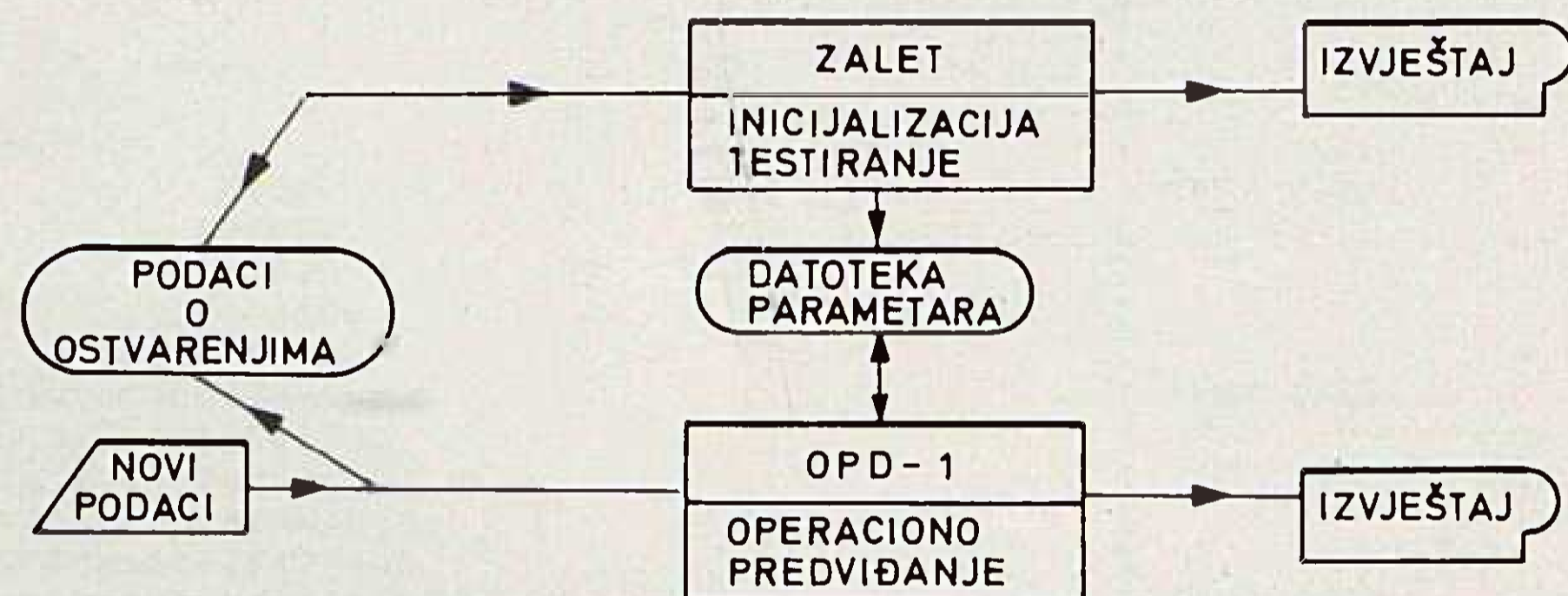
#### 4.1. Predviđanje dnevnog dijagrama opterećenja EES-a

To je predviđanje potrebno radi:

- određivanja optimalne raspodjele opterećenja među proizvodnim jedinicama EES-a te najpovoljnije razmjene sa susjednim elektroenergetskim sistemima;
- analize tokova snaga, naponskih prilika i sigurnosti rada EES-a u toku idućeg dana.

Od takvog se postupka zahtijeva da bude brz, jednostavan za upotrebu i dovoljno precizan u predviđanju. U Institutu se to postiglo razvojem adaptivnog postupka koji stohastičkim i klimatskim modeliranjem satnih opterećenja i njihovom kombinacijom zahtijeva vrlo malo podataka iz prošlosti za zalijetanje, omogućuje automatizam u izvođenju i postiže prosječnu satnu grešku predviđanja između 2 i 3%.

Na temelju tog postupka razvijen je i programski paket s podmodulom za zalijetanje i testiranje dnevnog predviđanja dijagrama opterećenja (ZALET) te podmodulom za operativno izvođenje (OPD-1) (sl. 4).



Slika 4. Organizacija programskog paketa za predviđanje dnevnog dijagrama opterećenja

Osnovna svojstva programskog paketa jesu jednostavnost izvođenja, omogućena interaktivnim dijalogom računalo — operater, i trajanje operativnog izvođenja od samo jedne do dvije minute, jer zahtijeva samo unos ostvarenih satnih opterećenja iz prethodnog dana, ostvarenu srednju dnevnu temperaturu prethodnog dana te prognozu srednje dnevne temperature za idući dan. Programskim je paketom omogućeno i predviđanje dijagrama opterećenja za praznike.

Kao rezultat predviđanja na ekranu terminala i printeru tablično se i grafički prezentiraju 24-satna opterećenja idućeg dana s granicama unutar kojih će se sigurno ostvariti ta opterećenja.

Primjer testiranja postupka predviđanja pokazan je u tablici 6. i na slici 5, a primjer operativnog izvođenja za dan 19. 4. 1988. u tablici 7.

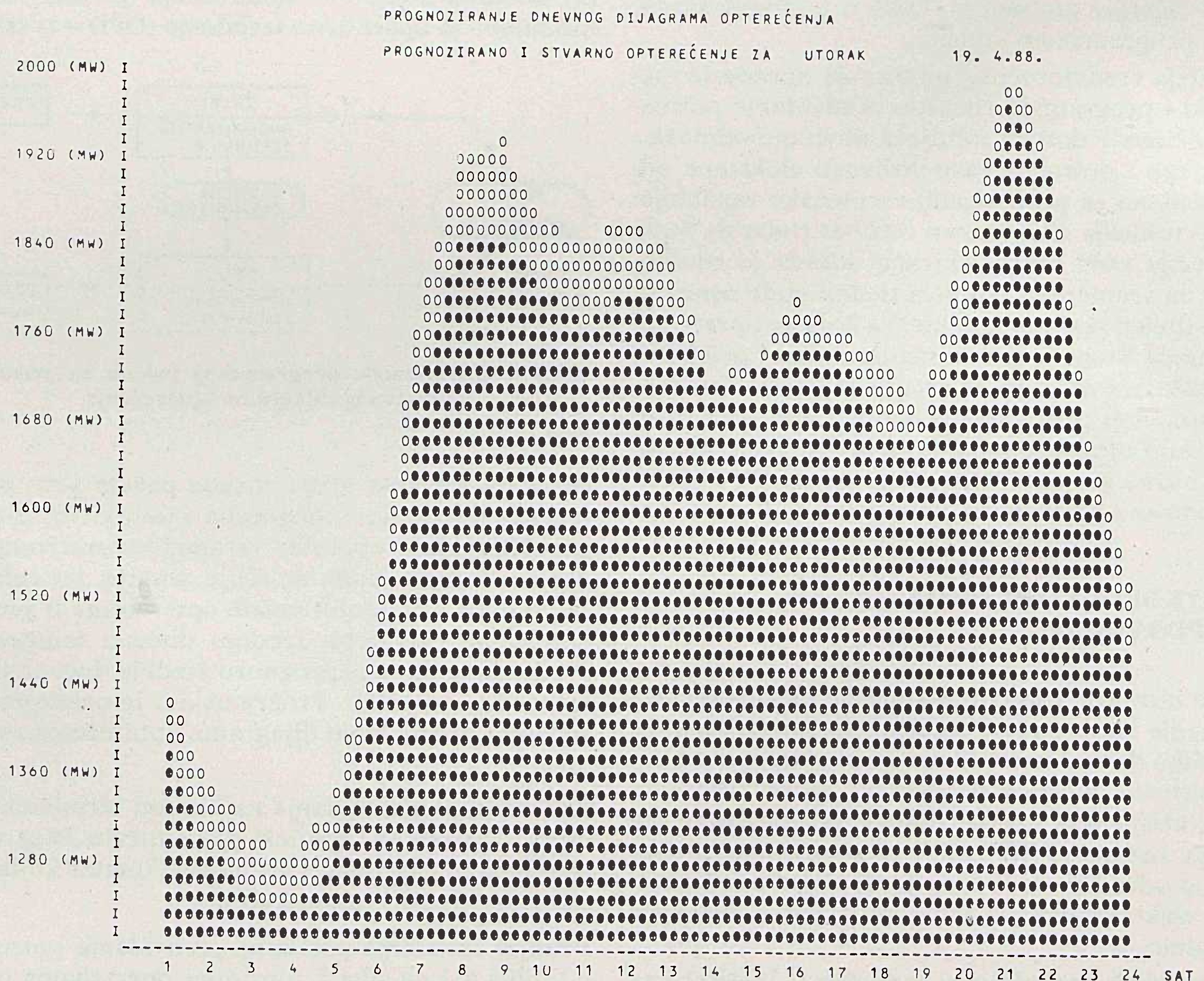
**Tablica 6. Rezultati testiranja postupka predviđanja za utorak 19. 4. 1988.**

Područje: EES SR Hrvatske

Kompozicija stohastičkoga i klimatskog modela  
Utorak 19. 4. 88.

Sat	Stohastički model (MW)	Klimatski model (MW)	Predviđanje kombinacijom (MW)	Stvarno opterećenje (MW)	Greška (MW)	Kvadratno odstupanje (MW**2)
1	1448.		1450.	1399.	-51.	1327.
2	1365.		1367.	1307.	-60.	1206.
3	1315.		1317.	1257.	-60.	1047.
4	1282.		1285.	1234.	-51.	990.
5	1318.		1322.	1264.	-58.	1099.
6	1471.		1475.	1424.	-51.	1593.
7	1765.		1770.	1700.	-70.	2170.
8	1916.		1922.	1844.	-78.	2589.
9	1933.		1939.	1848.	-91.	2632.
10	1857.		1863.	1803.	-60.	2421.
11	1838.		1844.	1767.	-77.	2525.
12	1863.		1870.	1807.	-63.	3057.
13	1829.		1836.	1782.	-54.	2737.
14	1714.		1720.	1715.	-5.	2666.
15	1737.		1744.	1729.	-15.	2654.
16	1786.		1794.	1762.	-32.	3329.
17	1760.		1768.	1747.	-21.	3552.
18	1736.		1744.	1679.	-65.	3079.
19	1683.		1691.	1660.	-31.	2707.
20	1839.		1848.	1772.	-76.	2375.
21	2007.	2031.	2020.	1981.	-39.	1386.
22	1912.		1920.	1906.	-14.	1736.
23	1665.		1672.	1656.	-16.	1916.
24	1537.		1543.	1482.	-61.	1852.

Srednja satna greška = 3.11%  
Srednja dnevna temperatura = 15°C



● = STVARNI DIJAGRAM OPTEREĆENJA  
O = PROGNOZIRANI DIJAGRAM OPTEREĆENJA

Slika 5. Prognoza dnevnog dijagrama opterećenja

**Tablica 7. Operativni plan za utorak 19. 4. 1988.**

Sistem: EES SR Hrvatske

Predviđanje za 19. 4. 1988, utorak

Dan	Mjesec	Sat	Predviđeno opterećenje (MW)	Standardna devijacija (MW)	Sezonska komponenta (MW)	Tjedna komponenta (MW)	Preostala komponenta	Korigirano opterećenje (MW)
19.	4.	1	1448.	36.	1449.	19.	-20.	0.
19.	4.	2	1363.	35.	1363	18.	-18.	0.
19.	4.	3	1318.	32.	1306.	28.	-15.	0.
19.	4.	4	1294.	31.	1289.	19.	-15.	0.
19.	4.	5	1313.	33.	1291.	31.	-9.	0.
19.	4.	6	1453.	40.	1402.	62.	-11.	0.
19.	4.	7	1751.	47.	1639.	117.	-5.	0.
19.	4.	8	1892.	51.	1777.	113.	2.	0.
19.	4.	9	1917.	51.	1826.	96.	-5.	0.
19.	4.	10	1848.	49.	1804.	57.	-14.	0.
19.	4.	11	1849.	50.	1818.	43.	-12.	0.
19.	4.	12	1883.	55.	1859.	38.	-14.	0.
19.	4.	13	1838.	52.	1819.	32.	-13.	0.
19.	4.	14	1732.	52.	1726.	15.	-9.	0.
19.	4.	15	1755.	52.	1743.	27.	-14.	0.
19.	4.	16	1801.	58.	1777.	39.	-14.	0.
19.	4.	17	1777.	60.	1746.	50.	-19.	0.
19.	4.	18	1754.	56.	1698.	67.	-11.	0.
19.	4.	19	1707.	52.	1668.	32.	6.	0.
19.	4.	20	1868.	49.	1830.	44.	-5.	0.
19.	4.	21	2032.	37.	1974.	60.	-2.	0.
19.	4.	22	1902.	42.	1847.	59.	-3.	0.
19.	4.	23	1667.	44.	1650.	22.	-4.	0.
19.	4.	24	1541.	43.	1546.	-1.	-4.	0.

Klimatskim modelom predviđeni vrh je 2031. MW

#### 4.2. Dnevna raspodjela opterećenja među elektranama EES-a

Metoda za dnevnu raspodjelu opterećenja ujedinjuje bilancu snage i energije u pripremnom dijelu i iterativnu gradijentnu matricnu metodu u optimizacijskom dijelu.

Kriterij optimuma je minimum trškova goriva u termoelektranama, uz uvažavanje pogonskih ograničenja:

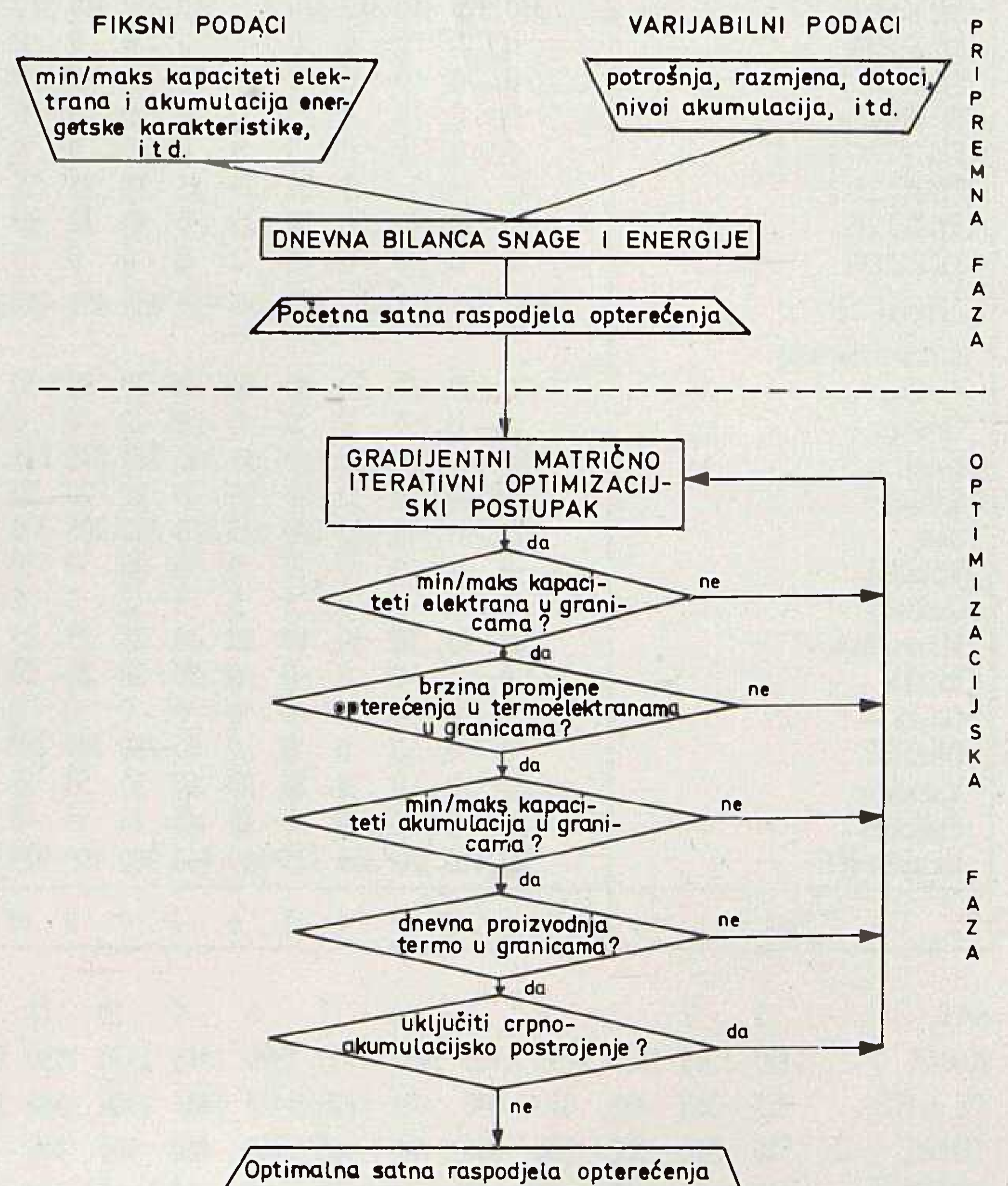
- jednažbe snage (produkcija + gubici = potrošnja)
- jednažbe vode (raspoloživa voda = proizvodnja hidroelektrana)
- min./maks. kapaciteta elektrana
- min./maks. kapaciteta akumulacija
- mogućnosti proizvodnje termoelektrana
- mogućnosti brzine promjene opterećenja u termoelektranama
- efikasnosti crpno-akumulacijskih hidroelektrana.

##### 4.2.1. Matematički model

Okosnica matematičkog modela je formiranje funkcije cilja u optimizacijskom dijelu. Ograničenja u obliku jednažbi uvode se u funkciju cilja pomoću Lagrangeovih multiplikatora, ograničenja na snagu elektrana pomoću Kuhn–Tuckerovih multiplikatora, a ograničenja na volumen akumulacija pomoću faktora penalizacije.

Funkcija cilja razvija se u Taylorov red, a primjena uvjeta minimuma na prva tri člana reda daje sistem

matričnih jednažbi čija su rješenja prirasti po svim varijablama (satne snage elektrana i multiplikatori). Prirasti se dodaju početnim vrijednostima varijabli (koje su rezultat bilance snage i energije u pripremnom dijelu) i iterativni se postupak nastavlja sve dok



Slika 6. Blok-dijagram programa za vozni red

apsolutna vrijednost relativnog prirasta ne bude manja ili jednaka nekoj unaprijed zadanoj maloj vrijednosti. Tok proračuna pokazan je na sl. 6.

U ovom je modelu bitna mogućnost predočavanja realnih karakteristika sistema koje su nelinearne. Prije svega, to je mogućnost uključenja gubitaka, dakle mreže, u optimiranje, što je najveća zamjerka linearnim programima, te činjenica da su energetske karakteristike elektrana parabole, a ne pravci, kako se najčešće koristi.

Poseban naglasak dan je prikazu hidroelektrana — od određivanja energetske karakteristika do formiranja tzv. matrica međupovezanosti, zaostajanja vodnog vala i kontrole volumena akumulacija. U većini sistema zapostavljen je problem hidroelektrana ili je krajnje jednostavno prikazan jer je udio hidroenergije u zadovoljenju ukupnih dnevnih potreba za električnom energijom vrlo malen. Naprotiv, u sistemu SR Hrvatske udio hidroenergije je vrlo velik i pojednostavnjenja ne dolaze u obzir.

#### 4.2.2. Programski paket i primjer

Programski paket napisan je FORTRAN-om i radi na računalu VAX/VMS. Paket je korisnički orijentiran, a izvodi se pomoću menija. Prosječno vrijeme izvo-

đenja je 15-20 minuta i omogućuje analizu više varijanti voznog reda za sljedeći dan. Izlazne su liste kreirane prema potrebi korisnika, a postoji i grafički prikaz dnevne raspodjele opterećenja. Taj je paket testiran na elektroenergetskom sistemu SR Hrvatske i upravo je u toku obuka korisnika u Republičkom dispečerskom centru.

U tablici 8. pokazan je tzv. operativni vozni red dobiven nakon 30 iteracija. U njemu su, prema potrebi dispečerske službe, proizvodnje elektrana zaokružene na 5. Potrošnja je rezultat programa za predviđanje, a razmjena električne energije SR Hrvatske i podaci o termoelektranama i hidroelektranama uzeti su prema realnom voznom redu proizvodnje i razmjene 19.04.1988.

### 5. ZAKLJUČAK

Područje planiranja eksploatacije EES-a dobiva sve važniju ulogu s obzirom na energetske-ekonomsku situaciju u nas i u svijetu.

Metodološka i programska razrada srednjoročnog planiranja eksploatacije EES-a u Institutu za elektroprivredu omogućit će kreiranje cjelovitog paketa za planiranje eksploatacije EES-a s obzirom na to da je dugoročno i kratkoročno planiranje u završnoj fa-

Tablica 8. Vozni red elektrana

		Vozni red elektrana Hrvatske (MWH/H)																								Utorak 19.4.88	
Sat		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Ukupno	
Termoelektrane																											
TE Sisak 2		80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	1920	
NE Krško		310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	7440	
TE Rijeka		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TE Sisak 1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TE Plomin		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TE-TO ZG 1 — 2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TE-TO ZG 3		35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	840	
EL-TO ZG		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	720	
TE-TO OS		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ukupno TE		455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	10920	
Hidroelektrane																											
Peruća		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	720	
Orlovac		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Zakućac		180	145	120	100	100	155	340	265	275	235	235	240	370	340	365	400	375	320	265	415	415	335	165	95	6250	
Sklope		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	480	
Senj		205	200	195	190	190	210	205	205	200	200	200	215	210	215	215	215	215	215	210	215	215	205	195	4930		
Vinodol		0	0	0	0	0	10	30	30	10	10	30	10	10	10	10	10	10	10	10	10	35	10	10	10	265	
Golubic		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	120	
Manojlovac		20	10	10	10	10	10	20	25	25	25	25	25	25	25	20	25	25	25	25	20	25	25	25	25	505	
Rijeka		0	0	0	0	0	0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	360	
Gojak		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	45	45	50	45	45	45	50	50	50	45	45	560	
Obrovac		0	0	0	0	0	80	280	280	280	280	280	80	0	0	0	0	0	0	0	0	110	105	0	0	1775	
Varaždin		20	0	0	0	20	20	60	55	55	55	55	55	60	60	60	60	60	60	55	65	65	60	55	50	1105	
Čakovec		20	0	0	0	0	20	45	45	45	45	45	45	50	45	50	50	50	50	45	50	50	50	45	45	890	
Ukupno HE		500	410	380	355	375	450	840	980	990	925	925	950	930	810	840	885	855	800	730	900	1040	925	625	540	17960	
Sat		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Ukupno	

SAT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	UKUP.
KONZ	1450	1365	1320	1295	1315	1455	1750	1890	1915	1850	1850	1885	1840	1730	1755	1800	1775	1755	1705	1870	2030	1900	1665	1540	40705
TE + HE	955	865	835	810	830	905	1295	1435	1445	1380	1380	1405	1385	1265	1295	1340	1310	1255	1185	1355	1495	1380	1080	995	28880
TOTAL	510	510	500	500	500	560	460	460	460	460	460	460	460	460	460	460	460	500	520	520	540	520	600	560	11900
KOMP	10	10	10	10	10	10	0	0	-10	-10	-10	-20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	30
+/-	5	0	5	5	5	0	5	5	0	0	0	0	5	-5	0	0	-5	0	0	5	5	0	5	5	45

zi testiranja. Rad na ovom području traži daljnja istraživanja, naročito na području sigurnosti, remonta i predviđanja dotoka, a sigurno će i praktična primjena programa upozoriti na određene probleme koje će trebati riješiti.

Krajnja etapa razvoja predviđa modernu bazu podataka i ekspertne sisteme koji će omogućiti da se postojeći i budući programi obogate ekspertnim znanjem i kvalitetnim podacima te tako na zasada najbolji način posluže svakodnevnoj eksploatacijskoj praksi.

## LITERATURA

- [1] G. GRANIĆ, B. JELAVIĆ: »Metoda za izradu elektroenergetskih bilanci« (I. dio — osnove metode), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1985.
- [2] G. GRANIĆ, M. BRADARIĆ: »Metoda za izradu elektroenergetske bilance« (II. dio), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.
- [3] M. KLEPO: »Metoda za izradu godišne bilance — predviđanje potrošnje električne energije za potrebe godišnje bilance«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.
- [4] M. ZELJKO: »Politika punjenja i pražnjenja akumulacijskih bazena za godišnja planiranja i planiranja u manjim vremenskim jedinicama za potrebe eksploatacije EES-a« (II. dio), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1987.
- [5] D. PEŠUT, M. BRADARIĆ, Z. BRADAČ: »Metoda za predviđanje dnevnog dijagrama opterećenja u elektroenergetskom sistemu« (I, II. i III. dio), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1981-1981-1982.
- [6] B. BENERI, G. GRANIĆ: »Izrada programa dnevnog optimiranja EES SRH uz uvažavanje ograničenja u eksploataciji« (I. faza), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1980.
- [7] B. JELAVIĆ, N. PLAVEC, G. GRANIĆ: »Izrada programa dnevnog optimiranja EES SRH« (II. faza — I. i II. dio), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1984.
- [8] B. JELAVIĆ, N. PLAVEC, A. ARSENOV, G. GRANIĆ: »Vozni red elektrana«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.

[9] D. PEŠUT: »Metoda za predviđanje dnevnog dijagrama opterećenja u elektroenergetskom sistemu«, (magistarski rad), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1981.

[10] B. JELAVIĆ: »Raspodjela opterećenja u dnevnom dijagramu opterećenja s naglaskom na hidroelektrane« (magistarski rad), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1984.

[11] N. PLAVEC: »Raspodjela opterećenja u dnevnom dijagramu opterećenja s naglaskom na termoelektrane« (magistarski rad), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1985.

## PLANNING OF ELECTRIC POWER SYSTEM EXPLOITATION

In the paper is thoroughly analysed planning of electric power system exploitation in all time periods as well as planning functions and common relations. Presented are some planned data.

## PLANUNG DER NUTZUNG DES ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEMS

Im Artikel wird auf vollständige Weise die Planung der Nutzung des elektroenergetischen Systems in allen Zeitphasen und Planungsfunktionen sowie ihre gegenseitigen Beziehungen und Verbindungen analysiert und aufgestellt. Es werden auch andere Ergebnisse dargestellt.

## ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В статье единым способом анализируется и устанавливается система планирования эксплуатации электроэнергетической системы по всем фазам времени и функциям планирования, а также их взаимные отношения и связи. Приводятся и некоторые результаты планирования.

Naslov pisaca:

**Mr. Branka Jelavić, dipl. inž.**  
**Mr. Mićo Klepo, dipl. inž.**  
**Mr. Mladen Zeljko, dipl. inž.**  
**Davor Tomašić, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb,**  
**Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-05-23



## „MONTER“

Radna organizacija za projektiranje, inženjering poslove, proizvodnju, montažu u industriji i postavljanje svih vrsta instalacija u građevinarstvu, s neograničenom solidarnom odgovornošću OOUR-a

41000 Zagreb N. Demonje 4  
Telefon 041/571-866  
Telegram Monter  
Telex 21433 Yu Monter

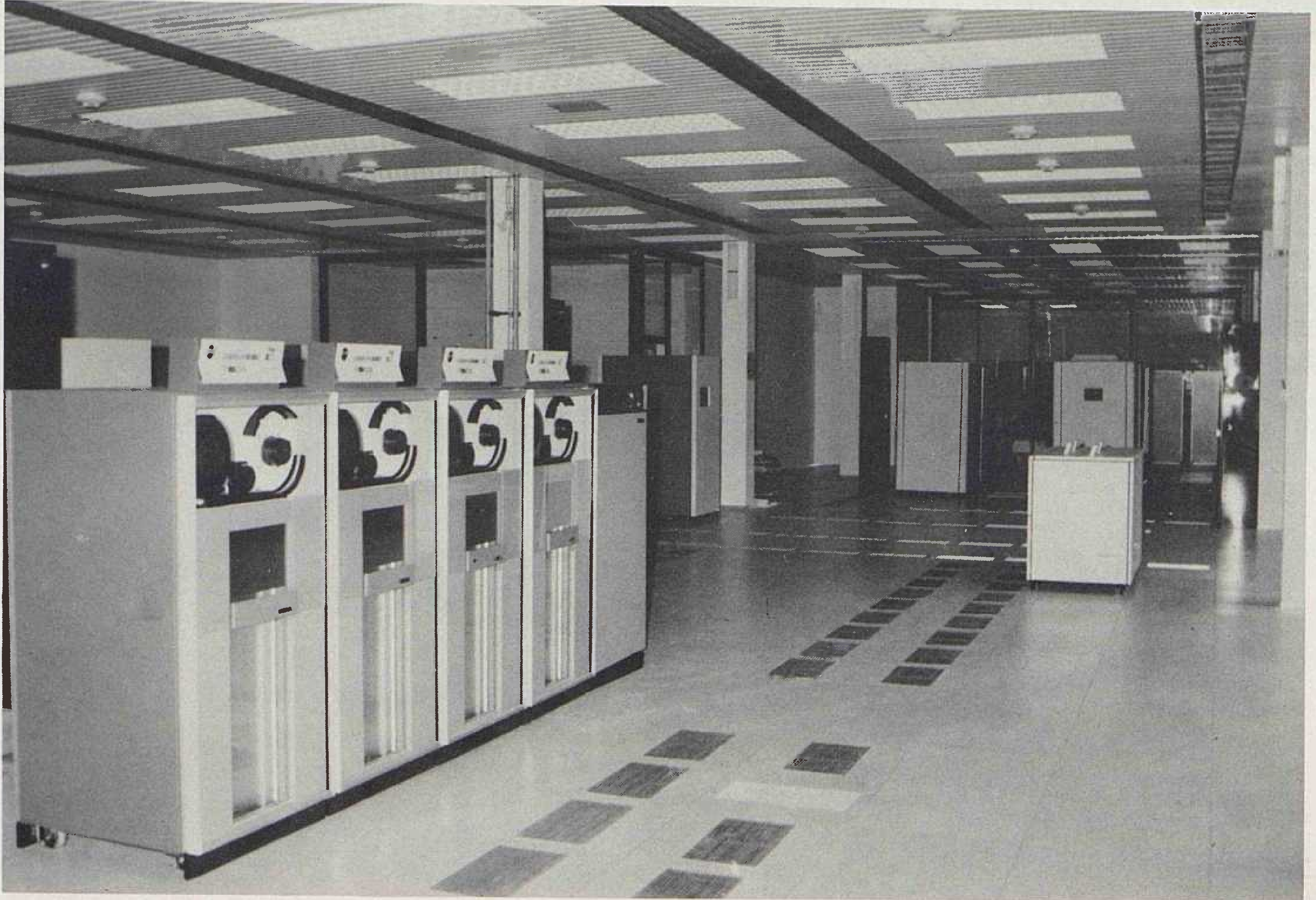
SPONZOR-SUORGANIZATOR  
**UNIVERZIJADE '87**

ZAGREB  
JUGOSLAVIJA



RO »Monter« izvodi sve montažne radove i projektiranja na području hidromontaže, električke, automatike, grijanja i hlađenja, montaže opreme i cijelih procesa u industriji, cjevovode, čelične konstrukcije, rezervoare i slično.

Iz godine u godinu RO »Monter« Zagreb sa 4.500 zaposlenih radnika bilježi sve zapaženije rezultate i danas je jedan od najvećih montažerskih kolektiva u Jugoslaviji, a poznat je i cijenjen u Alžiru, Austriji, Čehoslovačkoj, DDR, Libiji, Mađarskoj, SR Njemačkoj, Poljskoj, Sudanu i SSSR-u — zemljama u kojima već 20 godina s puno uspjeha izvodi sve vrste radova.



CAOP Zagreb — instalaterske radove izvodili radnici Montera

# PRISTUP PLANIRANJU VIŠENAMJENSKIH HIDROTEHNIČKIH OBJEKATA

Mr. Mladen Petrićec, Zagreb

UDK 621.311.21.001

PREGLEDNI RAD

U članku je opisana filozofija planiranja višenamjenskih hidrotehničkih objekata — akumulacija. Navedeni su osnovni postupci i metodologija za vrednovanje i izbor najpovoljnijeg rješenja s općedruštvenog stajališta.

Numerički primjer pokazuje način istraživanja i planiranja višenamjenskih akumulacija na slivu u SRH.

**Ključne riječi:** planiranje, hidrotehnički objekt, vrednovanje, korist, funkcija cilja.

## UVOD

Planiranje izgradnje objekata za iskorištenje i upravljanje vodama — hidrotehničkih objekata, postaje sve složenije jer oni sve više utječu na neposrednu okolinu i mnoge grane ljudske djelatnosti. Izgradnjom velikih hidrotehničkih objekata nastaje mnoštvo ekonomskih, socijalnih i ekoloških promjena koje mogu biti pozitivne ili negativne.

Višenamjenske akumulacije primjer su najkompleksnijih hidrotehničkih objekata, a bitno i dugotrajno utječu na okolinu.

Hidrotehnički su objekti u prošlosti većinom planirani kao jednonamjenski (npr. zaštita od poplava, proizvodnja energije), bez kompleksnoga dugoročnog sagledavanja mogućih posljedica njihove realizacije. Osim toga, tradicionalno dominantna uloga inženjera i ekonomista u planiranju imala je ponekad kao posljedicu zanemarivanje ili umanjivanje ostalih utjecaja (npr. socijalnih, ekoloških), a oni su višestruki i traju dulje od perioda upotrebe objekata.

Danas su sve znatniji oblici iskorištenja voda vodoopskrba stanovništva i industrije, poljoprivreda, a postavljaju se i zahtjevi za uočavanjem i dugoročnim vrednovanjem svih posrednih i neposrednih efekata izgradnje i korištenja nekoga hidrotehničkog objekta.

Prema tome, planiranje hidrotehničkih objekata zahtijeva višedisciplinarni pristup da bi se uz najmanje negativne efekte zadovoljile potrebe što većeg broja budućih korisnika voda. Sistemskim sagledavanjem efekata izgradnje i utjecaja načina iskorištenja objekta potrebno je definirati rješenje koje bi najbolje ispunilo zahtjeve korisnika. Neki postavljani ciljevi lako se i s velikim stupnjem sigurnosti kvantificiraju (proizvodnja električne energije, količina isporučene vode), drugi teže ili ih je sasvim nemoguće potpuno sagledati (estetski utjecaji, neki ekološki utjecaji, širi socijalni utjecaji i slično), a dobivene veli-

čine mogu biti opterećene velikim stupnjem nesigurnosti. Pri planiranju višenamjenskih hidrotehničkih objekata pojavljuju se konfliktni ciljevi među potrebama korisnika, tehničkim rješenjima te ekološkim i socijalnim utjecajima na okolinu. To još više uvećava teškoće koje inače postoje pri vrednovanju ekoloških i socijalnih utjecaja. S obzirom na navedenu problematiku, danas u svijetu pri vrednovanju višenamjenskih objekata postoje dva osnovna pristupa:

- ekonomska efikasnost; to je osnova za vrednovanje i svi ciljevi realizacije nekog objekta trebaju se izraziti preko ekonomskih pokazatelja (benefit-cost metoda)
- svi ostali utjecaji (npr. socijalni, ekološki), su jednako važni kao ekonomski i valja ih ravnopravno vrednovati (višekriterijsko planiranje).

U prvom se pristupu ekonomski nemjerljivi efekti ili teško novčano izrazivi utjecaji realizacije objekata postavljaju kao ograničenja, a u drugom su slučaju to ravnopravne alternative rješenja.

Najvažnije pomoćno sredstvo u procesu planiranja jest računalo. Ono omogućuje pripremu, analizu i prikaz mnoštva informacija koje su rezultat istraživanja niza efekata velikog broja varijantnih rješenja. Obično se u procesu istraživanja primjenjuju dva osnovna tipa matematičkih modela; simulacijski i optimalizacijski.

Simulacijski modeli služe za detaljno istraživanje fizičkih i pogonskih mogućnosti pojedine varijantne rješenja, a optimalizacijski imaju zadatak da pronađu najbolje alternative za realizaciju u sklopu postavljenih ciljeva i ograničenja.

## MATEMATIČKI MODELI U PROCESU PLANIRANJA

Osnovu za istraživanje varijantnih rješenja objekata za korištenje i upravljanje vodama čine konceptualni matematički modeli.



U prvoj se fazi planiranja korištenjem modela istražuju fizički pokazatelji pojedinih varijanti i dobivaju informacije za dopunu i promjenu osnovnog rješenja. U drugom se koraku s dovoljno detalja za međusobno razlikovanje proračunavaju ekonomski pokazatelji svake razmatrane varijante.

Prema tome, u procesu planiranja korištenja nekog vodotoka matematički se modeli primjenjuju za definiranje meritornih podloga koje u jednome iterativnom istraživačkom radu omogućuju donosiocu odluke\* izbor najpovoljnijeg rješenja.

Modeli kojima se opisuje stanje sistema kao odgovor na početne i granične uvjete zovu se deskriptivni ili, češće, simulacijski modeli. Za razliku od simulacijskih, modeli kojima su izlazni rezultati numeričke (novčane) vrijednosti varijabli za postavljene ciljeve jesu preskriptivni ili optimalizacijski.

Općenito, u primjeni modela za planiranje razlikuju se tri etape rada (razvoj, obrada te analiza i interpretacija rezultata) i tri osnovne sastavne cjeline (komponente, veze i varijable).

**Komponente** modela su konceptualni ekvivalent fizičkih parametara objekta (brana, tunel, preljev, instalirani protok i sl.).

**Veze** definiraju moguće interakcije i ponašanja pojedinih komponenti sistema. Među mogućim oblicima veza koje se mogu kvantificirati dvije su osnovne: procedura rada i pokazatelji efikasnosti.

Procedura rada proistjeće iz zahtjeva budućih korisnika objekata. Za akumulacije su to obično poželjni nivoi vode, zahtjevi za ispuštanjem, potreba čuvanja voda, prioriteta iskorištenja voda, načini rada hidroelektrana i slično. Veze služe i za određivanje efikasnosti pojedinih rješenja iskazanih ekonomskim veličinama, a osnova su za definiranje funkcije cilja.

**Varijable** modela mogu se podijeliti na tri grupe: varijable stanja, ulazne varijable i parametre modela.

Varijable stanja služe za definiranje logike simulacije i ograničenje sistema. Pomoću ulaznih varijabli definira se nekontrolirani fizički ulaz (npr. efekti oborina, isparavanje, procjeđivanje). Parametri modela su varijable pod kontrolom obrađivača i služe za istraživanje mogućih projektnih rješenja, a utječu na veličinu funkcije cilja. Variranjem parametara modela u odabranom se području dobiva raspon mogućih veličina pokazatelja efikasnosti.

Prema svojim osnovnim karakteristikama i optimalizacijskoj proceduri, postoje četiri osnovna tipa modela:

- linearni
- cjelobrojni
- nelinearni
- dinamički.

## PODRUČJA I ETAPE U PROCESU PLANIRANJA

Obično pred planerom stoje određena područja koja mora istražiti i u sklopu kojih mora definirati osnovne ciljeve realizacije objekta. To su:

- ekonomska efikasnost
- raspodjela koristi od realizacije objekta među korisnicima
- uklapanje u prostor ekologija
- socijalni utjecaji.

Za ispunjenje željenih ciljeva potrebno je provesti istraživanje i kvantifikaciju svih mjerljivih utjecaja koji se pomoću računarske i programske podrške uključuju u funkciju cilja. Takva systemska istraživanja mogućih varijanti izgradnje i upotrebe objekata imaju posebno značenje za akumulaciju i to zbog velikih troškova realizacije, dugog vijeka trajanja i bitnog utjecaja na okolinu.

U osnovi, planiranje se provodi u četiri etape:

- identifikacija ciljeva realizacije objekta
- prevođenje ciljeva u projektne kriterije
- razvoj projektnih parametara koji utječu na postavljene ciljeve te uspostava međusobnih veza
- proces izbora rješenja.

Osnovne namjene izgradnje akumulacija, proizvodnja hidroenergije, osiguranje voda za opskrbu stanovništva i industrije, navodnjavanje, plovidba, kontrola velikih i malih voda, rekreacija, ribogojstvo i slično, elementi su za definiranje funkcije cilja.

## MJERENJE EFIKASNOSTI RJEŠENJA

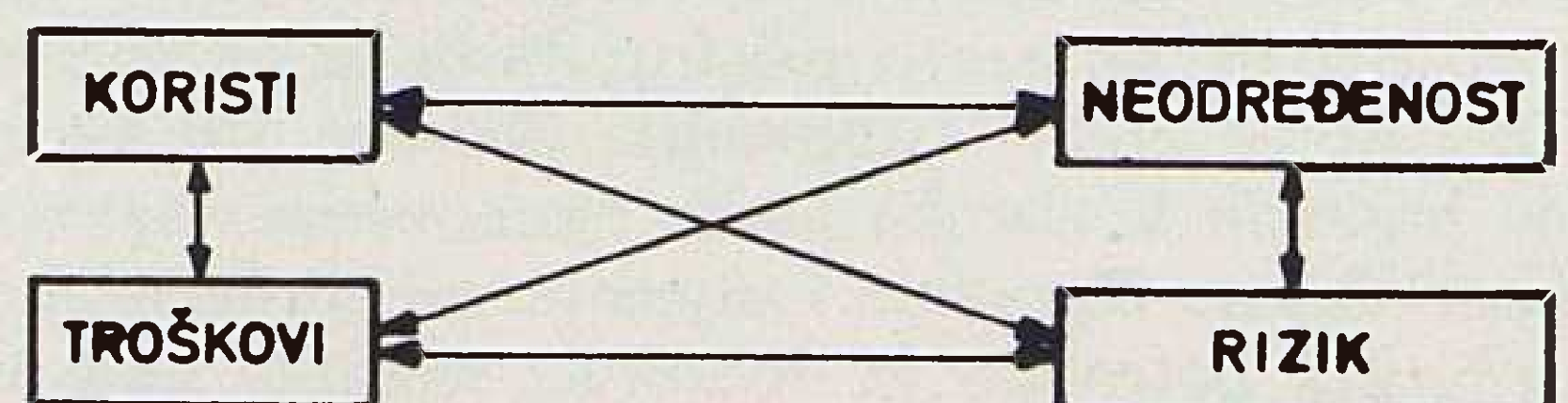
Osnovni elementi za procjenu efikasnosti planiranog objekta jesu sljedeći pokazatelji:

- koristi
- troškovi
- tehničko-tehnološke karakteristike
- rizik i neodređenost.

Svi ti pokazatelji, koji se u procesu planiranja pojavljuju kao mjere efikasnosti objekta, međusobno su vrlo ovisni (sl. 1). Zadatak planera je definiranje međusobne preferencije i načina mjerenja efikasnosti.

Pri definiranju podloga za mjerenje efikasnosti rješenja obično postoje tri faze:

- identifikacija i kvantifikacija koristi i troškova
- izbor osnovne varijante projektnog rješenja
- identifikacija i kvantifikacija izvora rizika i neodređenosti.



Slika 1.

Za realne je probleme među navedenim pokazateljima efikasnosti, teže uspostaviti analitičke veze koje omogućuju simultanu optimalizaciju. Prvo, izbor projektnog rješenja vezan je za rizik, troškove i ko-

\* Stručna grupa planera.

risti. Drugo, uvijek postoji bitna ovisnost između koristi i troškova, s jedne strane, te rizika i neodređenosti, s druge strane. Osim toga, veličine koristi i troškova funkcije su niza slučajnih (hidroloških) i određenim stupnjem nesigurnosti definiranih varijabli (prognoza troškova i koristi u budućnosti).

Radi pojednostavnjenja rada, dio efekata moguće je prevesti u samo jednu mjeru  $K/T$  (kvocijent koristi i troškova) i/ili  $K - T$  (razlika koristi i troškova), a ostale efekte realizacije objekta definirati u zadovoljavajućem opsegu samo kvalitativno tako da njihov utjecaj na izbor konačnog rješenja ovisi o procjeni donosioca odluke.

Ako je sve bitne utjecaje i pokazatelje nemoguće samo ekonomski kvantificirati, treba se koristiti metodom višekriterijske optimalizacije, čiji se rezultati osnivaju na objektivnoj procjeni važnosti svakog cilja realizacije objekta.

### DEFINIRANJE FUNKCIJE CILJA

Funkcija cilja je izraz koji opisuje karakteristike kvantificiranih varijabli namjene objekta, a izražavaju se u ekonomskome (novčanom) i/ili u fizikalnom obliku (npr. količina isporučene vode, proizvedena energija).

U većini pristupa planiranju hidrotehničkih objekata podloga za izbor najpovoljnijeg rješenja je ekonomska efikasnost, za koju se funkcija cilja može općenito napisati:

$$F = \text{maks. (ili min.) } f(x_1, x_2 \dots x_k) \quad (1)$$

gdje su  $x_1, x_2 \dots x_k$  ekonomski kvantificirane varijable namjene sistema (osiguranje voda, proizvodnja energije, plovidba itd.).

Za jednostavne linearne odnose funkcija cilja može se napisati:

$$F = \text{maks (ili min.) } a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k \quad (2)$$

gdje su  $a_1, a_2 \dots a_k$  koeficijenti u novčanim jedinicama, a  $x_1, x_2 \dots x_k$  iznosi kvantificiranih varijabli.

U analizi jednodimenzionalnoga i jednonamjenskog sistema postupak maksimalizacije (minimalizacije) ciljne funkcije je jednostavan, ali se znatno komplicira za kompleksne vodoprivredne sisteme nizom međusobno ovisnih varijabli.

Za kompleksne višenamjenske hidrotehničke objekte postoje dva osnovna načina maksimalizacije (minimalizacije) funkcije cilja:

- primjenom višedimenzionalnih metoda optimalizacije
- hijerarhijskim pristupom.

Radi složenosti analitičkog opisivanja veza i određenog stupnja nesigurnosti, u definiranju ulaznih parametara višedimenzionalne metode optimiranja u praktičnoj primjeni imaju dosta nedostataka; zahtijevaju velike računare, troše mnogo računskog vremena jer se optimalizacija provodi preko svih varijabli odlučivanja. Osim toga, moguće su i pojave lokalnih optimuma.

U praksi se problem takvih složenih situacija svodi na ograničavanje broja parametara funkcije cilja da bi se omogućila primjena neke standardne metode optimalizacije. Hijerarhijski pristup zahtijeva grupiranje ciljeva i definiranje nivoa odlučivanja. Na najvišem se nivou definira glavni cilj, kojemu se pridružuje jedna varijabla odlučivanja, a preraspodjela se provodi na sljedećim nižim nivoima odlučivanja.

### VREMENSKE GRANICE PLANIRANJA

Osnovni cilj planiranja hidrotehničkih objekata za korištenje i upravljanje vodama jest optimalizacija sadašnjih troškova i budućih koristi iskazanih zadovoljenem potreba za vodom, proizvedenom energijom, zaštitom od velikih voda, poboljšanjem malovodnih perioda i sl., uz uvažavanje pratećih rizika.

Prema tome, u razmatranju realnih problema nužno je u funkciju cilja uključiti budućnost, a to komplicira proces optimalizacije, jer u trenutku  $t_0$  valja sagledati utjecaje perioda  $T$  na varijable odlučivanja.

Naravno, ulazni podaci za analize u tim slučajevima opterećene su neizvjesnošću prognoze potreba i mogućnosti osiguranja potrebnih količina.

Za uključenje vremenske granice u funkciju cilja izraz (1) se može napisati:

$$F = \text{maks. (ili min.) } \left( \sum^N f(x_1, x_2 \dots x_k) \right) \quad (3)$$

Da bi se pojednostavilo definiranje ciljne funkcije i postupak optimalizacije u istraživanjima se primjenjuje hijerarhijski pristup. Njime se reducira broj varijabli odlučivanja i time omogućuje iskorištenje dinamičkog programiranja za optimalizaciju varijabli odlučivanja kroz planirani vremenski period eksploatacije objekta.

### EKOLOŠKI UTJECAJI

U planiranju hidrotehničkih objekata (npr. akumulacija) ekološki su utjecaji u mnogo slučajeva ekonomski teško mjerljivi ili su sasvim nemjerljivi. To vrijedi za pozitivne i za negativne utjecaje.

Prema tome, u realnim problemima ekološki se utjecaji uključuju u model pomoću ekonomske kvantifikacije ili/i kao ograničenja funkcije cilja.

Iako su analize za procjenu ekoloških posljedica realizacije hidrotehničkih objekata složene, dugotrajne i opterećene velikim stupnjem neizvjesnosti, mogu se svesti na nekoliko osnovnih aktivnosti (lit. [2]) kojima se definiraju:

- karakteristike životne sredine koja se mijenja
- nepovratne promjene koje se javljaju
- mogućnosti ublažavanja nepovoljnih utjecaja
- raspodjela troškova i koristi.

## SOCIJALNI UTJECAJI

Veliki hidrotehnički objekti (npr. akumulacije) dugog trajanja nužno imaju veći ili manji socijalni utjecaj na sredinu u kojoj su smješteni.

Iako danas nema općeprihvaćene metodologije za kvantifikaciju takvih utjecaja, može se zaključiti da u toku realizacije dosadašnjih objekata ti utjecaji nisu zadovoljavajuće dobro istraženi.

Općenito, u procesu planiranja objekta trebalo bi kvantificirati ili kvalitativno obraditi sljedeće aspekte socijalne problematike (lit. [2]):

- definiranje postojećeg stanja
- identifikaciju socijalnih problema
- utvrđivanje prirode socijalnih događaja (dobri, loši)
- identifikaciju utjecaja na pojedine grupe stanovništva.

## ZAKLJUČAK

Složenost, međusobna ovisnost i značenje utjecaja na okolinu objekata za korištenje i upravljanje vodama zahtijeva višedisciplinarnan pristup u procesu planiranja.

Radi što objektivnijeg izbora najpovoljnije varijante izgradnje s općedruštvenoga gledišta, u procesu planiranja potrebno je definirati ciljeve i kvantificirati sve utjecaje: ekonomske, ekološke i socijalne. Posebno je važno istražiti mogućnosti i definirati najpovoljniji način budućeg korištenja objekta, što je važno za procjenu utjecaja na okolinu i za raspodjelu troškova i koristi budućih korisnika.

Simulacijski i optimalizacijski modeli osnovno su sredstvo za provođenje tako opsežnih istraživanja na osnovi čijih rezultata donosilac odluke može s velikom sigurnošću izabrati najpovoljnije rješenje uređenja i korištenja vodotoka.

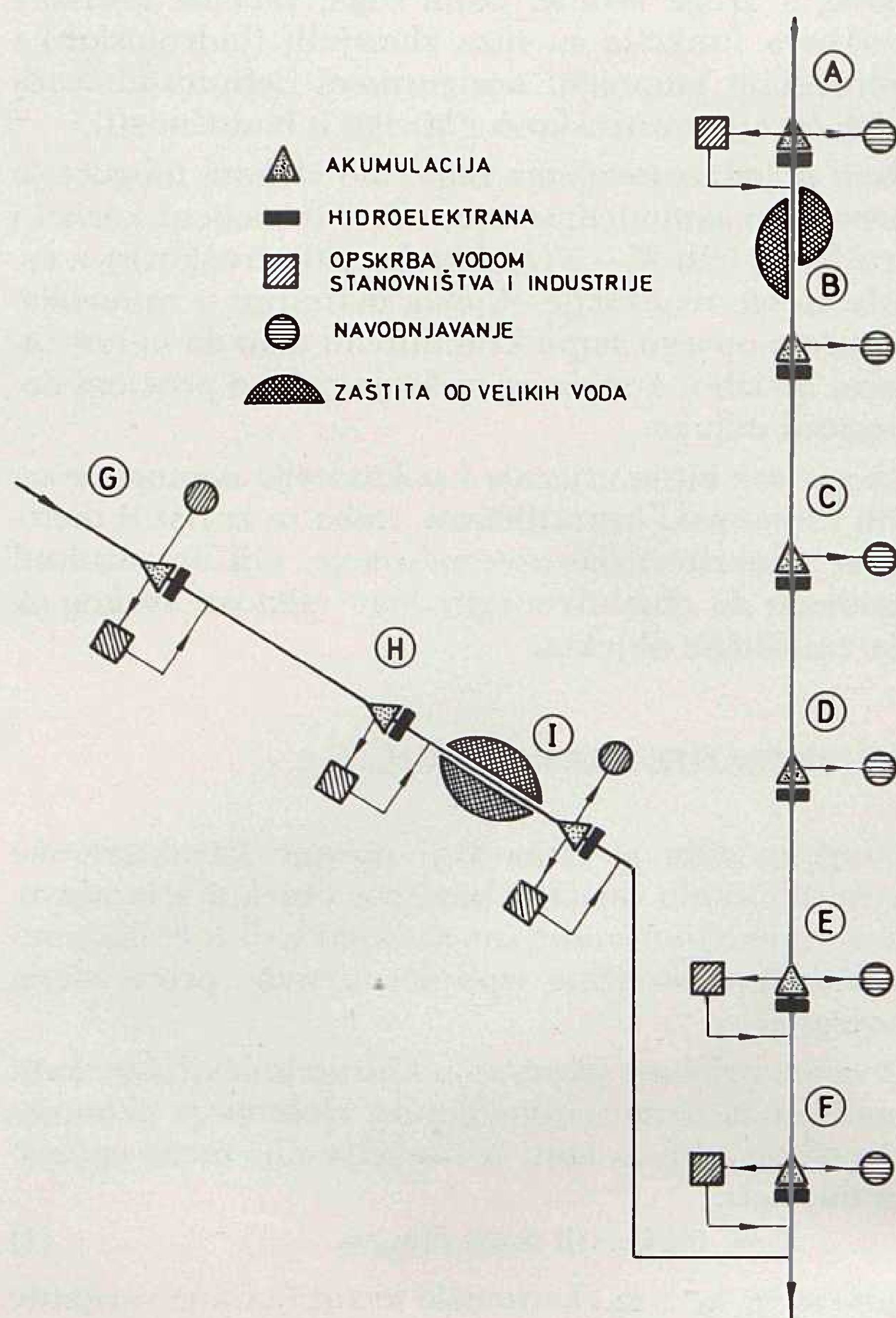
## PRIMJER

Spomenuti je pristup djelomično primijenjen (ovisno o provedenom opsegu istraživanja) u procesu planiranja višenamjenskih akumulacija na dionici sliva prema slici 2. Na dijelu razmatranog sliva predviđena je gradnja devet višenamjenskih akumulacija kojima su se nastojale maksimalno zadovoljiti potrebe korisnika voda (ciljevi izgradnje) uz minimalizaciju troškova i negativnih efekata na okolinu. U prvoj fazi istraživanja definirani su sljedeći **ciljevi izgradnje**:

- proizvodnja električne energije
- osiguranje vode za stanovništvo, industriju i poljoprivredu
- poboljšanje režima malih voda
- retenciranje velikih voda
- osiguranje voda za rekreaciju.

Složenost i međusobna ovisnost korisnika akumulacija zahtijevala je sistemski pristup istraživanja varijantnih rješenja gradnje i načina korištenja objekata.

## TOPOLOŠKA SHEMA SLIVNOG PODRUČJA



Slika 2.

S obzirom na raspoložive podloge, utjecaji izgradnje iskazani su ekonomskim pokazateljima tj. novčanim iznosima.

Koristi	Troškovi
Proizvodnje elektr. energije	Izgradnja
Navodnjavanje	Eksploatacija
Vodoopskrba	Zamjena opreme
Zaštita od poplava	

Na osnovi definiranih glavnih namjena izgradnje sliva određeni su elementi funkcije cilja čijom maksimalizacijom donosilac odluke dobije pokazatelje za izbor najpovoljnijeg rješenja. Za navedeni primjer funkcija cilja može se napisati:

$$F = \text{maks.} \sum^N (E \cdot C_e + V_v \cdot C_v + V_n \cdot C_n + K_p - T_i - T_e) \quad (4)$$

gdje su:

$E$	— prosječna moguća proizvodnja električne energije (kWh)
$C(t)_e$	— cijena energije (d/kWh)
$V(t)_v$	— količine vode isporučene za vodoopskrbu (m <sup>3</sup> /god)

$V(t)_n$  — količine vode isporučene za navodnjavanje (m<sup>3</sup>/god)

$C_v, C_n$  — specifične cijene isporučene vode (d/m<sup>3</sup>)

$K_p$  — koristi od retenciranja poplavnih valova (d)

$T_i$  — troškovi gradnje objekta (d)

$T_e$  — troškovi eksploatacije objekta (d)

$N$  — trajanje eksploatacije objekta (N = 50).

U istraživanju fizičkih pokazatelja i ekonomske efikasnosti varijanti gradnje i načina rada akumulacije primijenjeni su simulacijski i optimalizacijski modeli.

U **simulacijski model** uključene su sljedeće komponente, veze i varijable za definiranje fizičkih pokazatelja:

- karakteristike akumulacija (krivulje površina i volumena)
- nekontrolirani gubici vode iz akumulacija (isparavanje i procjeđivanje)
- hidrološki podaci (dotoci)
- potrebe EES-a
- dinamika zahtjeva budućih korisnika za vodom
- fizički parametri hidroelektrana
- ekološka i socijalna ograničenja
- poželjna stanja akumulacije
- prioriteta iskorištenja voda.

Kao rezultat simulacije dobiven je iznos moguće proizvodnje električne energije (konstantne i varijabilne) i količine vode isporučene budućim korisnicima.

Na slici 3. dan je dijagram toka primijenjenoga simulacijskog modela za istraživanje fizičkih pokazatelja i načina korištenja planiranih objekata.

S obzirom na promjenjivost troškova i koristi u toku trajanja eksploatacije objekata i radi mogućnosti uspoređivanja sadašnjih ulaganja s budućim koristima, za izražavanje ekonomske efikasnosti korištena je benefit-cost metoda.

Ekonomska efikasnost objekata iskazivana je kvocijentom koristi i troškova te razlikom između koristi i troškova prema izrazima:

$$NK = \sum_i^N (K_i - T_i) / (1 + p)^i + S / (1 + p)^N \quad (5)$$

$$K/T = (\sum_i^N K_i / (1 + p)^i) / (\sum_i^N T_i / (1 + p)^i) \quad (6)$$

gdje su:

$K_i$  — ukupne koristi u i-tom periodu

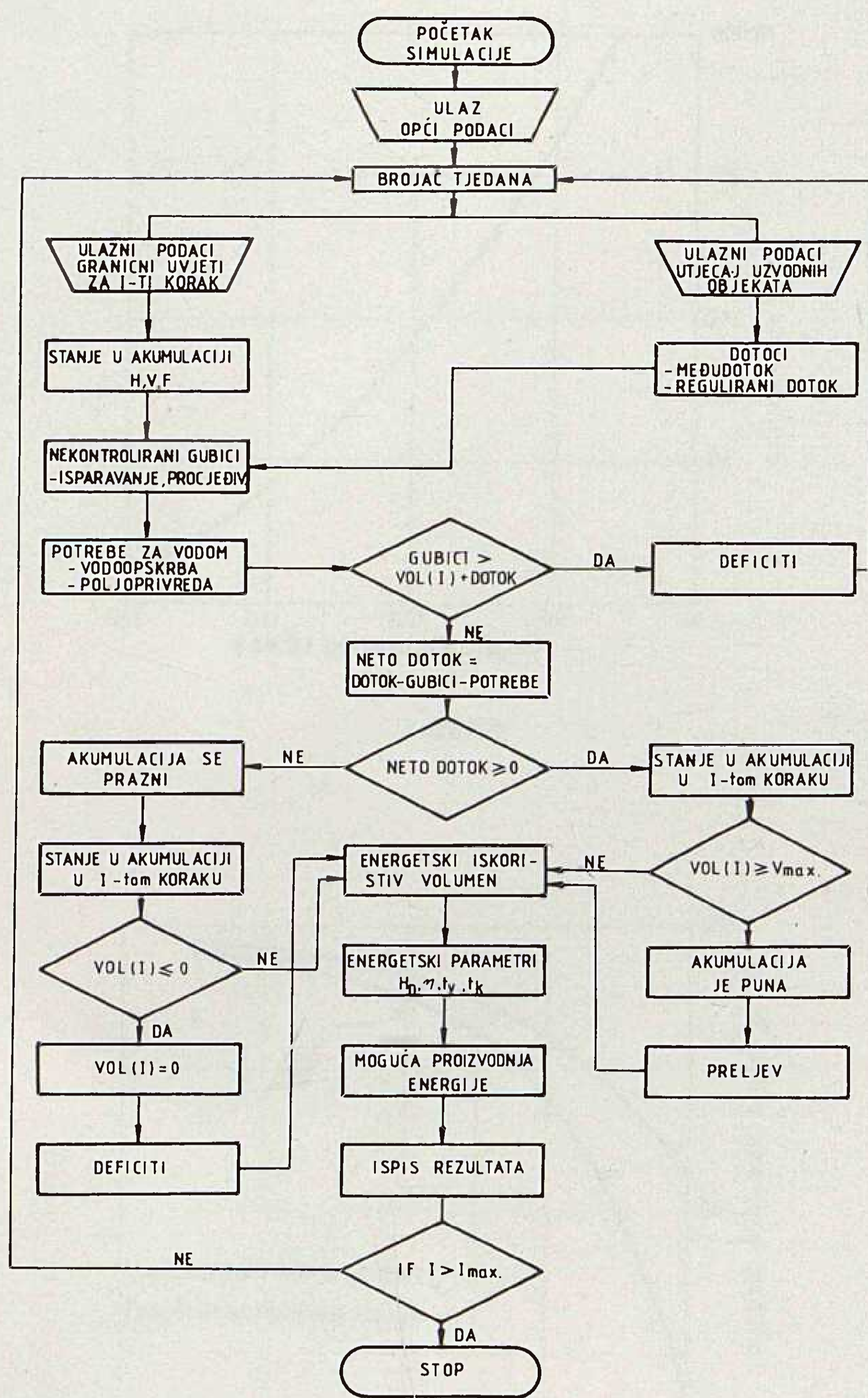
$T_i$  — ukupni troškovi u i-tom periodu

$P$  — stopa diskontiranja ( $p = 7\%$ )

$N$  — razdoblje eksploatacije objekta

$S$  — vrijednost objekta na kraju računskog perioda.

S obzirom na složenost funkcije cilja i teškoće analitičkog povezivanja svih namjena izgradnje planiranih objekata, za izbor najpovoljnijeg rješenja kao podloga nisu iskorišteni rezultati kompleksnoga višedimenzionalnog optimalizacijskog modela. Istraživanja su provedena hijerarhijski, a izbor najpovoljnije varijante izgradnje sliva proveden je na osnovi grafičkih prikaza niza rezultata fizičkih i ekonomskih pokazatelja efikasnosti varijantnih rješenja.



Slika 3.

Za buduće korisnike objekata (vodoprivredu i elektroprivredu) osobito su važni bili sljedeći parametri, definirani u procesu istraživanja sliva:

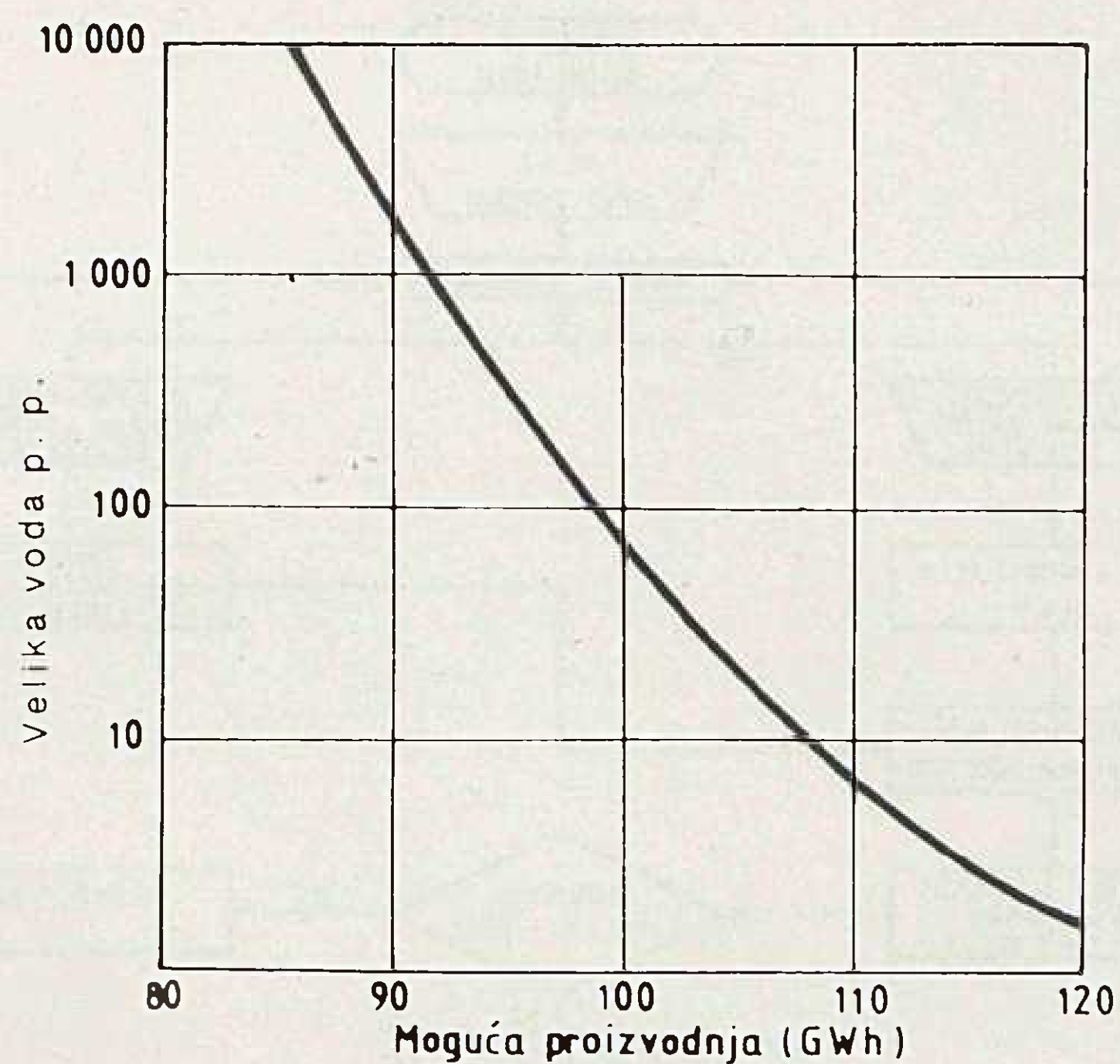
- ovisnosti između rezerviranog prostora u akumulaciji za retenciranje velikih voda i moguće proizvodnje električne energije. To je vrlo važno za istraživanja ekonomske opravdanosti razvoja sistema za kratkoročne hidrološke prognoze.

Na slici 4. pokazani su rezultati proračuna za lokaciju »H«, i to za potpunu zaštitu nizvodnog dijela područja na nivou dvogodišnje velike vode;

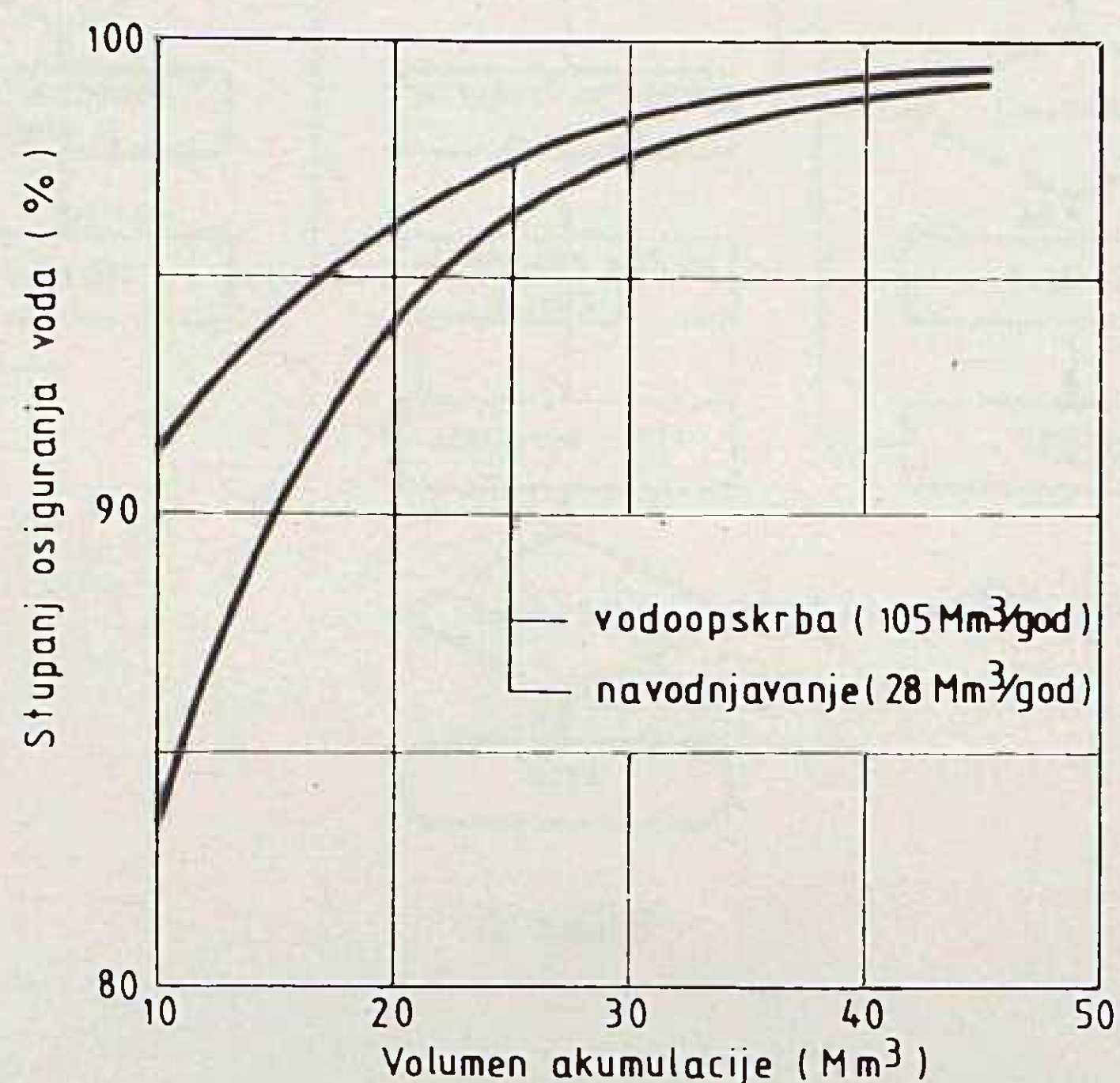
- ovisnost između stupnja sigurnosti opskrbe i veličine potrebne akumulacije. Za simulaciju je upotrijebljen kriterij prioriteta vodoopskrbe u odnosu prema ostalim korisnicima voda.

Na slici 5. dan je proračun ovisnosti veličine akumulacije »A« i mogućeg stupnja osiguranja potrebnih količina voda;

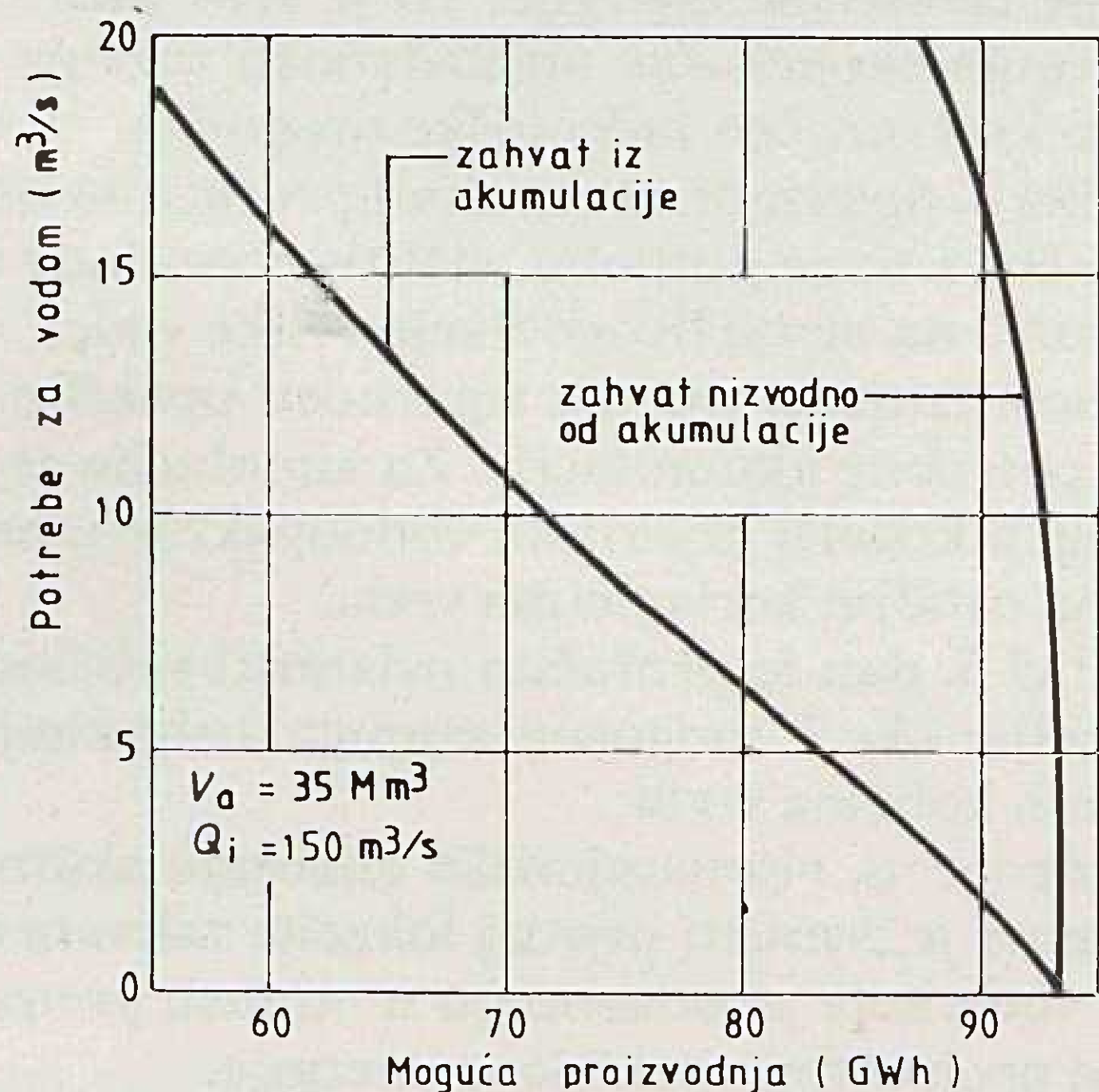
- s obzirom na višenamjensko značenje akumulacije, važno je istražiti utjecaj lokacije zahvata i količine voda koje se oduzimaju u odnosu prema mogućoj proizvodnji električne energije. Rezultati simulacije za lokaciju »A« dani su na slici 6;



Slika 4.

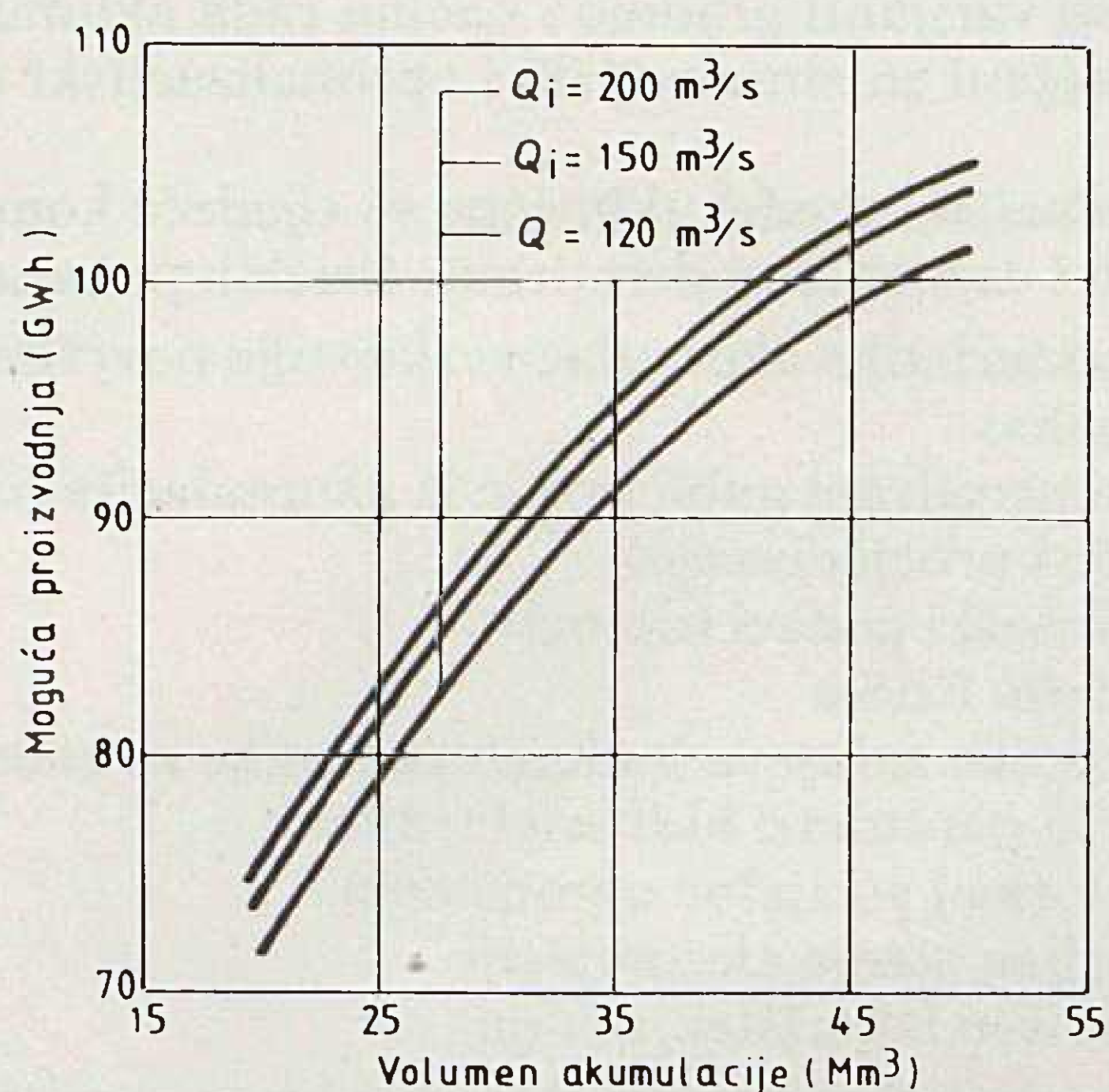


Slika 5.

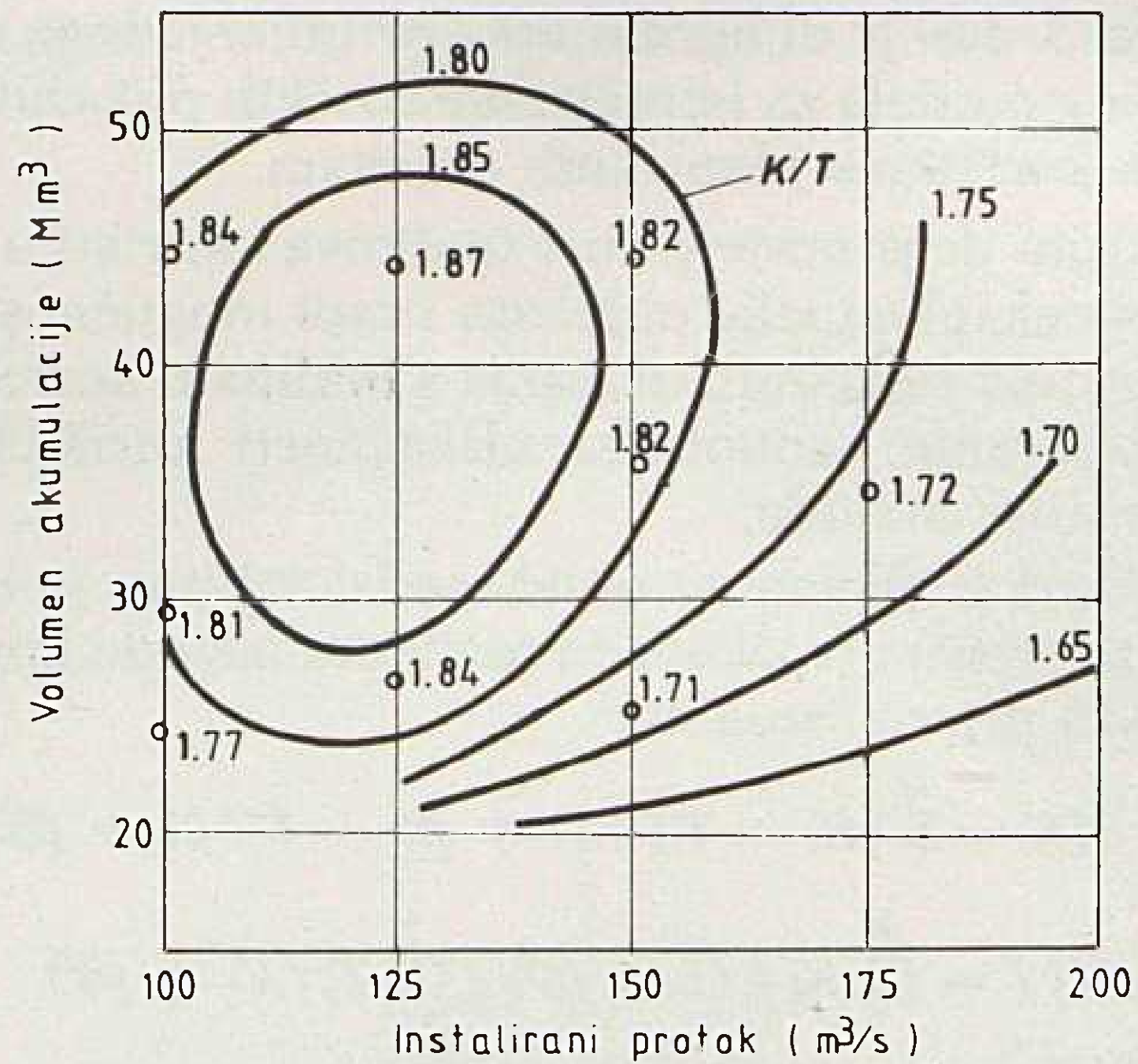


Slika 6.

- za energetiku je bitan podatak o vezi između veličine akumulacije, instaliranog protoka i moguće proizvodnje električne energije. Na slici 7. pokazana je međusobna ovisnost za moguća rješenja na lokaciji »A«;
- jedan od najvažnijih podataka za izbor parametara akumulacije i hidroelektrane jest ovisnost pokazana na slici 8. Za lokaciju »A« utvrđena je veza između veličine akumulacije, instaliranog protoka hidroelektrane i ekonomske efikasnosti iskazane kvocijentom koristi i troškova ( $K/T$ ).



Slika 7.



Slika 8.

## LITERATURA

- [1] FIERING, M. B., HARRINGTON, J. J., i LUCIA, R. J., »Water Resources System Analysis«, Resource Paper No. 3, Department of Energy, Ottawa, 1971.
- [2] »Uputstvo za vrednovanje višenamjenskih vodoprivrednih objekata s ekonomskog društvenog i aspekta zaštite životne sredine«, Ekonomska zajednica za razvoj i suradnju, Pariz, 1982.
- [3] MAASS, A. i ostali, »Design of Water Resource System«, Harvard University Press, Cambridge, 1962.
- [4] ALVIN S. GOODMAN, »Principles of Water Resources Planning«, Prentice Hall, New Jersey, 1984.

- [5] HAINES Y. Y. i NAINIS W. S., »Coordination of Regional Water Resource Supply and Demand Planning Models«, Water Resources Research, Vol. 10, No. 6, 1974.
- [6] JACOBY H. D., i LOUCKS D. P., »Combined Use of Optimization and Simulation Models in River Basin Planning«, Water Resources Research, Vol. 8, No. 6, 1972.
- [7] WHITMAN I., i FAHRINGER D., »An Environmental Evaluation System for Water Resource Planning«, Water Resources Research, Vol. 9, No. 3, 1973.
- [8] NIKOLIĆ Ž., STOJANOVIĆ R., i GRIGOROV M., »Istraživanje Instituta 'Jaroslav Černi' u oblasti ekonomske voda«, Saopštenja Instituta za vodoprivredu »Jaroslav Černi«, br. 60-63, 1977.
- [9] WILLIAMS A. G., »Approaches to Cost-sharing in Multi-user Water Resources Projects«, »E. Majorana« Centre for Scientific Culture, Erice, Italy, 1981.
- [10] BISWAS A., »Environmental Implications of Large Water Development Projects«, »E. Majorana« Centre for Scientific Culture, Erice, Italy, 1981.
- [11] Studija »Kompleksno uređenje sliva Kupe — ekonomsko tehničke analize«, Institut za elektroprivredu Zagreb (u radu)
- [12] KRZYSZTOFOWICZ R., »Expected Utility, Benefit, and Loss Criteria for Seasonal Water Supply Planning«, Water Resources Research, Vol. 22, No. 3, 1986.

#### AN APPROACH TO PLANNING OF MULTY PURPOSE HYDRO PLANTS

In the paper is described a philosophy for planning of hydro plants — accumulations. Described are base methods and principals for evaluation and choice of best solution for national benefit. A numerical example demonstrates elaboration and planning of multy purpose accumulations on rivers in SR Croatia.

#### PLANUNG DER MEHRZWECKIGEN HYDROTECHNISCHEN OBJEKTE

Im Artikel wird die Planungsphilosophie der mehrzweckigen hydrotechnischen Objekte — Akkumulationen beschrieben. Es werden Grundverfahren für die Bewertungsmethodologie und die Auswahl der günstigsten Lösung vom allgemeinen Standpunkt aus angeführt. Die Zahlen zeigen die Art der Untersuchung und Planung der mehrzweckigen Akkumulationen in den Flußbereichen der SRH.

#### ПОДХОД К ПЛАНИРОВАНИЮ МНОГООТРОСЛЕВЫХ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В статье описана философия планирования многоотраслевых гидроэнергетических объектов — водохранилища. Приводятся основные способы методология оценки и выбор самых благоприятных решений по общественному мнению. Численный пример показывает способ поиска и планирования многоотраслевых водохранилищ водосборного бассейна СР Хорватии.

Naslov pisca:

**Mr. Mladen Petričec, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb,**  
**Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-05-18

**ELEKTROPRIVREDA ZAGREB**

**OOUR** **Elektroprenos**

---

**ZAGREB**

---

Obavlja u okviru svoje osnovne djelatnosti:

prijenos električne energije, izrađuje studije, razvoj i projektiranje, izgradnju i nadzor izgradnje elektroprijenosnih postrojenja i telekomunikacionih uređaja

---

**OOUR ELEKTROPRENOS - ZAGREB**  
**Proleterskih brigada 37 - Tel.: 513-822 i 511-455**

# ANALIZA OPRAVDANOSTI GRADNJE JEDINICE ZA ZAJEDNIČKU PROIZVODNJU TOPLINE I ELEKTRIČNE ENERGIJE U UVJETIMA NEIZVJESNOSTI

Mr. Zdravko Mužek — mr. Zlatko Komerički, Zagreb

UDK 621.311.2:697.34

PRETHODNO SAOPĆENJE

Analiza se društvena opravdanost gradnje jedinice za zajedničku proizvodnju topline i električne energije u uvjetima neizvjesnosti. Razmatranja se provode na primjeru jedinice PT200 u TE-TO. Navode se elementi neizvjesnosti i daje postupak njihova prevladavanja.

**Ključne riječi:** jedinica spojnog procesa, odlučivanje, neizvjesnost.

## 1. UVOD

Vremensko obuhvaćanje utjecaja odluke o gradnji jedinice za zajedničku proizvodnju topline i električne energije na ekonomske, energetske, tehničke, ekološke i ostale strukturne sistema u koji se uključuje premašuje njezin eksploatacijski vijek. Očito, radi se o izrazito dugoročnom sagledavanju, čiji se dosezi protežu nekoliko desetljeća u budućnost. Svakom sagledavanju budućnosti imanentna je neizvjesnost, i ona je to veća što je vremenski obzor dalji, pa se i odlučivanje o gradnji jedinice za zajedničku proizvodnju topline i električne energije provodi uz visok stupanj neizvjesnosti. Usprkos tome što znanstvena istraživanja pridonose povećanju informacija o budućim egzogenim faktorima sistema koji se promatra i što ona mogu poslužiti kao sredstvo društva da svjesno utječe na svoju budućnost (u granicama što ih određuju objektivne zakonitosti razvoja), potpuna spoznaja i kontrola složenih i brojnih dinamičkih procesa razvoja nikad nije moguća. Stoga je obuhvaćanje neizvjesnosti koju krije budućnost najčešće bit odlučivanja.

Suvremeni metodološki aparat i sredstva obrade podataka omogućuju egzaktn pristup mjerljivim elementima procesa donošenja odluke. Primjena matematskih modela na valorizaciju opravdanosti gradnje jedinica omogućuje relativno jednostavnu višekratnu obradu kvalitativno identičnih ulaznih podataka. Analizom osjetljivosti rješenja na promjenu relevantnih ulaznih parametara za koje se zna da bi mogli odstupati od očekivanih veličina moguć je uvid u »slike potencijalne budućnosti«. Taj je uvid rezultat prosudbe numeričkog »ulaza« i »izlaza« modela, spoznaje o tome koliko matematski model odražava stvarnost (simbolički sistem nikada ne može potpuno oslikati realni), kao i sagledavanja nemjerljivih elemenata procesa donošenja odluke (nemjerljivih zbog njihove kvalitativne prirode ili zbog teh-

ničkih, ekonomskih ili vremenskih ograničenja u dosegima analize mjerljivih elemenata).

Navedene se okolnosti u dosadašnjoj praksi odlučivanja o izgradnji privrednih objekata često nisu uzimale u obzir pa je uputno na njih upozoriti. Na primjeru bloka PT200 u TE-TO Zagreb pokazat ćemo postupak analize društvene opravdanosti gradnje jedinice za zajedničku proizvodnju topline i električne energije u uvjetima neizvjesnosti. Pritom će se nastojati istaknuti metodološki aspekt problema, pa će kvantifikacije biti u drugom planu (daju se tek radi ilustracije).

## 2. DEFINIRANJE PREDMETA RAZMATRANJA

Centralizirani toplinski sistem (u daljem tekstu: CTS) grada Zagreba čine tri podsistema: centralizirani vrelovodni sistem, istočni centralizirani parni sistem i zapadni centralizirani parni sistem. Ti su podsistemi materijalnim vezama povezani preko izvora topline (smještenih na dvije relativno udaljene lokacije: Termoelektrana — toplana i Elektrana — toplana), a njihove su distributivne mreže međusobno neovisne (takve će ostati i u budućnosti). Strategija dugoročnog razvoja energetike Zagreba definirana je u studiji [1]. Osnovne spoznaje i poruke tog istraživanja temelj su sagledavanja uloge i mjesta svakoga energetskeg sistema u kompleksnoj energetskeg opskrbi korisnika na području grada. Razvoj CTS-a usmjeren je ovom koncepcijom:

- na postojećim lokacijama (TE-TO, EL-TO) valja provesti nužne zamjene postojećih dotrajalih kapaciteta
- potrebno je mijenjati strukturu korištenih oblika energije gradnjom kapaciteta na ugljen (predviđena je gradnja kondenzacijsko-oduzimnog bloka 200-300 MW na kombinirano gorivo ugljen — prirodni plin — teško loživo ulje)



— potrebno je iskoristiti nuklearnu elektranu Prevlaka za zajedničko dobivanje električne energije i topline za CTS Zagreba.

Naglašavamo da je predložena orijentacija na gradnju jedinice na kombinirano gorivo ključna odluka jer osigurava adaptabilnost energetske strukture grada na moguće poremećaje u budućoj energetskoj privredi i usklađivanje dinamike razvoja energetskih podсистема grada i regije.

Današnje vršno toplinsko opterećenje vrelovodnog CTS-a Zagreba iznosi 700 MJ/s, [2]. U realnoj se varijanti u periodu 1988-2015. očekuje dalji rast prosječnom godišnjom stopom 4,12%. S obzirom na investicijsku intenzivnost toplinskih izvora, racionalan pristup nameće nužnost sagledavanja i u uvjetima sporijeg rasta vršnoga toplinskog opterećenja od realno očekivanoga, pa se definira i pesimistička varijanta rasta prosječnom stopom 2,40% godišnje. Postojeće vršno toplinsko opterećenje istočnoga parnog sistema iznosi 200 MJ/s (71 kg/s), a očekuje se dalji rast u realnoj varijanti stopom 2,44% prosječno godišnje, a u pesimističkoj stopom 1,54% godišnje. Vršno toplinsko opterećenje zapadnoga parnog CTS-a u narednom će periodu stagnirati na današnjih 155 MJ/s (55 kg/s) na pragu EL-TO (s obzirom na to da rast tih potreba nema bitnije značenje za analizu opravdanosti gradnje bloka PT200 u TE-TO, nije nužno uvoditi pesimističnu varijantu rasta).

Promatrani blok PT200 (P-oduzimanje tehnološke pare, T-oduzimanje pare za »toplifikaciju«, 200-približna snaga na stezaljkama generatora električne struje) predviđen je na postojećoj lokaciji TE-TO, i treba da zamijeni postojeće dotrajale blokove 2 × PT32. Generator pare koncipirat će se s mogućnošću izgaranja triju vrsta goriva: uvoznoga kamenog ugljena, prirodnog plina i loživog ulja. Karakteristike bloka PT200 jesu:

- parametri svježe pare: 180 kg/s, 18 MPa, 535 °C
- primjena međupregrijanja pare
- regulirano oduzimanje 60 kg/s tehnološke pare parametara 1,0 MPa/250 °C (pri nominalnom oduzimanju postiže se željeni tlak tehnološke pare bez prigušivanja toka pare u turbini regulacijskim organom)
- neregulirano dvostepeno oduzimanje pare za grijanje mrežne vode vrelovodnog CTS-a od 65 na 110 °C
- specifični potrošak topline u kondenzacijskom radu iznosi 10,3 MJ/kWh.

Tehnička izvodljivost postrojenja sa stajališta lokacijskih karakteristika potvrđena je u [3], [4] i [5], a ekološka prihvatljivost (i zahtjevi povezani s tim) predmet je posebnih istraživanja koja su u toku.

CTS Zagreba koncipira se s jedinicama spojnog procesa (za pokrivanje baznog dijela opterećenja) te s vrelovodnim i parnim kotlovima (za vršna opterećenja). Energetske karakteristike jedinica spojnog procesa koje se danas primjenjuju za dobivanje topline u CTS-u Zagreba i jedinica spojnog procesa — kandidata za gradnju u tom sistemu dane su u tablici 1.

Budući da je blok PT200 jedinica spojnog procesa (dakle, potencijalni element toplinskoga i elektroenergetskog sistema), osim navedenih uvjeta u CTS-u grada Zagreba valja sagledati i stanje u elektroenergetskom sistemu SRH (u daljem tekstu: EES). Prema sadašnjim spoznajama [6], devedesetih se godina u EES-u SRH očekuje teška situacija. Posebno zabrinjavaju znatne neizvjesnosti o mogućnostima njezina prevladavanja. Te neizvjesnosti imaju velik utjecaj i na pristup analizi opravdanosti gradnje promatrane jedinice, pa ih je potrebno identificirati:

- odsutnost prihvatljivoga i prihvaćenog programa razvoja energetike SFRJ
- neizvjesnosti zbog nepoznavanja tretmana zajedničkih ulaganja (odnosno pretpostavki za mogućnost realizacije optimiranjem elektroenergetske strukture na jedinstvenome jugoslavenskom prostoru) u predstojećim izmjenama u ekonomskom i političkom sistemu zemlje
- neizvjesnost u vezi s tempom realizacije jugoslavenskoga nuklearnog programa
- nedovoljna istraženost ekonomskih, tehnoloških i ekoloških karakteristika najvećega jugoslavenskog bazena ugljena općenito i neidentificiranost dostupnog mikrolokality za elektroprivredu SRH (što su osnovne pretpostavke za realnu valorizaciju takvog rješenja)
- neistraženost lokacija za termoelektrane na uvozni ugljen na obali Jadrana i, u vezi s tim nedovoljne prostorne, energetske, ekološke i ekonomske spoznaje
- zaostajanje pripreme gradnje hidroelektrana na ostalom hidropotencijalu SRH u odnosu prema predviđenom tempu (vrlo je vjerojatno da se neće realizirati dinamika gradnje s kojom se računalo u dosadašnjim planovima i analizama).

Tablica 1. Energetske karakteristike jedinica spojnog procesa

	Maksimalna toplinska snaga (MJ/s)		Električna neto snaga (MW)	Godina početka rada	Vrsta goriva
	tehnol. para	ogrj. para			
PT12,5	29,4	27,4	10,0	1970.	loživo ulje, prir. plin
2 × PT32	2 × 64,4	2 × 25,8	2 × 29,5	1962.	loživo ulje, prir. plin
PT30	89,0	36,0	24,0	1980.	loživo ulje, prir. plin
T100R	54,0	162,0	97,0	1978.	loživo ulje, prir. plin
SGO	76,0	68,0	23,0	1993.	gradski otpad
TE-TO340	—	380,0	315,0	1995.	ugljen, loživo ulje, plin
NE-TO Prevlaka	—	850,0	485,0	1997.	uranij

### 3. OSNOVNE ODREDNICE ANALIZE OPRAVDANOSTI GRADNJE JEDINICE

Vrednovanje gradnje svakog sistema (što implicira i gradnju određenoga novog objekta u postojećem sistemu) već u prvom koraku zahtijeva definiranje ovih osnovnih odrednica:

- cilja gradnje sistema (odnosno promatrane jedinice)
- definiranje skupa alternativnih rješenja kojima je moguće postići cilj
- definiranje subjekta gradnje sistema
- definiranje kriterija vrednovanja gradnje sistema
- definiranje opsega istraživanja
- definiranje ograničenja koja proistječu iz odnosa promatranog sistema i sistema u okruženju
- definiranje elemenata neizvjesnosti sistema
- razrada metode za analizu i vrednovanje gradnje sistema
- provedba procesa vrednovanja u konkretnim uvjetima.

Cilj gradnje sistema jest (kao što je već naglašeno) supstitucija postojećih blokova  $2 \times PT32$  u TE-TO radi postizanja željene sigurnosti opskrbe korisnika u CTS-u i EES-u.

Skup alternativnih rješenja kojima se može postići cilj definiran je varijantama pokrivanja toplinskog opterećenja u CTS-u koje dajemo u narednom poglavlju. Subjekt gradnje sistema, dakle investitor s čijeg se stajališta vrednuje gradnja jedinice, jest društvena zajednica (kao privredna i društvena infrastruktura, elektroprivredna se postrojenja po pravilu sagledavaju s društvenog stajališta).

Kriterij za valorizaciju gradnje jedinice jest minimum ukupnih aktualiziranih troškova u periodu promatranja sistema. U uvjetima jedinice PT200, referentnom (»sadašnjom«) godinom smatra se godina početka rada jedinice — 1995, a svi se računi provode u stalnim cijenama s kraja 1987. godine. Period promatranja sistema jest razdoblje 1995 — 2019. godine.

Istraživanje obuhvaća sisteme u koje se neposredno ugrađuje promatrana jedinica, dakle CTS grada Zagreba i EES SRH. Time je definiran tzv. promatrani sistem(i).

Ograničenja koja proistječu iz odnosa promatranog sistema i sistema u okruženju obuhvaćena su razmatranjem varijanata razvoja elektroenergetske i toplinske potrošnje (ta ograničenja nameće razvoj društveno-ekonomskog sistema grada), proučavanjem odnosa promatrani sistem — zaštita okoline te prostorne mogućnosti lokacije, uvjeta transporta ugljena i sl.

Definiranje elemenata neizvjesnosti zbog njihova značenja donosimo u posebnome, narednom poglavlju.

Kao metodski osnovica za vrednovanje gradnje jedinice za zajedničku proizvodnju električne energije i topline primjenjuje se uobičajena metoda vrednovanja jedinica spojnog procesa u toplinskome i elektroenergetskom sistemu, razvijena u Institutu za elek-

troprivredu. U osnovi, metoda se svodi na usporedbu potencijalnih, alternativnih varijanata gradnje jedinica u CTS-u i EES-u (kao zajedničkom sistemu), uz uvažavanje potrebne sigurnosti opskrbe korisnika i niza uvjeta, ograničenja, veličina i prilika u CTS-u i EES-u. Metoda je formalizirana u matematskome modelu i programu za računalo, a s obzirom na to da je opisana u više radova, naprimjer u [7], neće se ponovo opisivati.

### 4. DEFINIRANJE ELEMENATA NEIZVJESNOSTI

Kao što je u uvodu naglašeno, prevladavanje neizvjesnosti koje se ulaznim podacima unose u proces vrednovanja opravdanosti gradnje sistema moguće je, i uobičajeno, analizom osjetljivosti rješenja na promjenu ulaznih parametara čije odstupanje od očekivanih veličina može bitnije utjecati na rezultat (pogotovo u kvalitativnom smislu — pozitivan ili negativan rezultat), a čija promjena ujedno oslikava strateške kvalitete odluke. Za tu se svrhu polazi od određenog scenarija ulaznih parametara i ispituje stabilnost, odnosno promjene osnovnog rješenja, ako se izmijeni taj scenarij ulaznih podataka. Osobito je vrijedno ispitivanje optimističkih i pesimističkih varijanti samo jedne komponente u scenariju ulaznih podataka (*ceteris paribus*) jer se tako dobiva neposredan uvid u stabilnost rješenja prema poremećajima tog ulaznog podatka.

Neizvjesnosti koje se javljaju pri valorizaciji opravdanosti izgradnje jedinice PT200 brojne su. To su:

- cijene energetske oblika za transformaciju u proizvodnim jedinicama CTS-a i EES-a
- obračunska vrijednost dolara (valute kojom se definiraju svjetske cijene energije) i zapadnjonjemačke marke (valute kojom će se definirati investicije u termoelektrane i uređaje za zaštitu okoline)
- cijena novca (i visina ekonomskog rizika investicije)
- izbor dodatne elektrane (dakle, rješenja alternativnog jedinici PT200 u EES-u)
- zahtjevi povezani sa zaštitom okoline
- dinamika rasta konzuma
- vjerojatnost da će se stvarna izgradnja CTS-a i EES-a realizirati predviđenim redosljedom i tempom kojim se očekuje/planira.

Pitanje neizvjesnosti budućih cijena energije obuhvaća se vrednovanjem jedinice PT200 u uvjetima različitog nivoa cijena energije. Potreba uvoza uranija, kamenog ugljena i teškoga loživog ulja (ili nafte), dugoročnost razdoblja promatranja i stav o sagledavanju jedinice sa stajališta realnih troškova za društvenu zajednicu, upućuju na računanje sa svjetskim cijenama tih oblika energije. Pritom je, zbog niskog udjela troškova nuklearnoga goriva u cijeni električne energije (i topline), dovoljno računati s konstantnom cijenom nuklearnoga goriva. Analiza podataka o proteklom kretanju cijena fosilnih oblika energije upozorava na korelacijske veze cijena energetske oblika [2]. Pritom nafta — dominantni primarni energetske

oblik svijeta — determinira cijene svih ostalih energenata. Pokazuje se [2] da valja računati s ovakvim odnosom cijena nafte i teškog loživog ulja odnosno uvoznoga kamenog ugljena:

$$C_t = 0,8 \cdot C_n$$

$$C_u = 5,78 \cdot 10^{-6} \cdot C_n^3 - 3,47 \cdot 10^{-3} \cdot C_n^2 + 8,44 \cdot 10^{-1} \cdot C_n,$$

gdje je:

$$C_t \text{ — CIF cijena teškoga loživog ulja, } \$/t_{oe}$$

$$C_n \text{ — CIF cijena nafte, } \$/t_{oe}$$

$$C_u \text{ — CIF cijena ugljena, } \$/t_{oe}.$$

U analizi vrednovanja proizvodne jedinice u CTS-u i EES-u, treba računati s cijenama adekvantim rasponu cijene nafte od 150 \$/t do 250 \$/t [8]. Donja granica (150 \$/t) približno odgovara današnjim marginalnim troškovima dobivanja nafte u svijetu, a gornja (250 \$/t) maksimalno dosegnutoj cijeni nafte u prošlosti (ona se pokazala neodrživom pa u doglednoj budućnosti zasigurno neće biti veća).

Pitanje obračunskoga deviznog tečaja (i neizvjesnosti u vezi s tim) gotovo je istog ranga važnosti u procesu valorizacije opravdanosti gradnje bloka kao i nivo svjetske cijene energije. Stoga se smatra nužnim da se u situaciji permanentnog debalansa ponude i tražnje deviza u zemlji analizira opravdanost gradnje bloka i uz obračunski tečaj bitno viši od aktualnoga službenog tečaja. Aktualni službeni tečajevi potkraj 1987. godine (dakle, neposredno nakon zadnje devalvacije dinara) iznose 1 \$ SAD = 1300 dinara i 1 DM = 780 dinara, a računi se, u skladu s iznesenim stavom, provode i uz pretpostavku obračunskih tečajeva 1 \$ SAD = 2000 dinara i 1 DM = 1200 dinara. Smatra se da u navedenom rasponu sigurno »leži« realna vrijednost valutnih odnosa, ona koja vrednuje sve aspekte ekonomskih odnosa Jugoslavije i svijeta (kao što je već naglašeno, svi su računi u stalnim cijenama s kraja 1987. godine).

Pitanje cijena novca i visine ekonomskog rizika investicije moguće je u formalnom, metodsko-operativnom smislu poistovjetiti s pitanjem preferencija vremena pri promatranim ekonomskim tokovima odnosno s visinom diskontne stope. Izbor diskontne stope jednim je dijelom subjektivni čin, pa je s tim u vezi i nivo neizvjesnosti visok. Kao primjer navodi se da veće količine raspoloživog novca i sužene mogućnosti njegova alternativnog ulaganja (takva danas zasigurno situacija nije) navode na izbor manje (diskontne stope (i obrnuto), a rizičnija investicija pak »diže« visinu diskontne stope itd. U ovom će se radu računati rasponom diskontne stope od 0 do 8% i analizirati efekt takvoga, zaista izuzetno širokog raspona na isplativost investicije.

Pitanje dodatne elektrane u suštini je pitanje: »Koja bi se elektrana gradila kad se ne bi gradio promatrani blok?«. Budući da na postojećem nivou spoznaje zaista nije moguće jednoznačno ocijeniti koja će se elektrana graditi u EES-u ako se u Zagrebu ne gradi, jedinica PT200 odnosno koji su uvjeti osiguranja električne energije i snage u EES-u potrebni da se promatrana i referentna varijanta EES-a izjednače s

obzirom na sigurnost opskrbe, dodatna će se elektrana uvijek promatrati alternativno:

- dodatna je elektrana TE na uvozni ugljen na »obali Jadrana«
- dodatna je elektrana TE na domaći ugljen.

Imaju li se na umu neizvjesnosti iznesene u poglavlju 2., osnovno pitanje koje se postavlja jest pitanje o tome kako odrediti karakteristike termoelektrane na domaći ugljen. S obzirom na postojeći nivo spoznaja, logično je prihvatiti da uvjeti zajedničke izgradnje TE Tuzla B1 (koju je ZEOH željela graditi) oslikavaju energetske i ekonomske uvjete osiguranja električne energije na pragu prijenosne mreže SRH za svaku buduću gradnju termoelektrana u drugim republikama.

Neizvjesnosti u vezi sa zaštitom okoline imaju svoje ishodište u nepostojanju regulative o dopuštenim emisijama i imisijama štetnih plinova i krutih čestica. Takvo stanje vodi ad hoc pristupu, imajući pri pojedinačnim objektima posljedicu ili nepotrebno visoke investicije u zaštitu okoline ili degradaciju okoline zbog zanemarivanja primjene zaštitnih postupaka. Razumljivo, osobito je delikatno pitanje primjene uređaja za odsumporavanje dimnih plinova. S obzirom na takvu situaciju, a u uvjetima kad studija utjecaja na okolinu jedinice PT200 nije izrađena, logičnim se čini samo jedan pristup: alternativno sagledavanje — jednom bez gradnje uređaja za odsumporavanje, a drugi put uz pretpostavku da je te uređaje potrebno graditi. Takav pristup treba implementirati i u proces vrednovanja gradnje jedinice PT200.

Neizvjesnosti povezane s dinamikom rasta konzuma sagledavaju se analizom ekonomske efikasnosti jedinice PT200 u uvjetima pesimističkog rasta vrelovodnoga i parnog CTS-a Zagreba.

Neizvjesnost vezana za vjerojatnost da će se očekivana gradnja sistema stvarno i realizirati predviđenim tempom nije zanemariva. Ona se prevladava razmatranjem većeg broja mogućih scenarija razvoja sistema. Svaki scenarij razvoja sastoji se od promatrane varijante razvoja CTS-a i EES-a i od referentne varijante razvoja. Promatrana varijanta razvoja pretpostavlja da se u CTS-u i EES-u gradi analizirana jedinica za zajedničku proizvodnju topline i električne energije, a referentna razumijeva razvoj uz pretpostavku da se analizirana jedinica ne gradi u tim sistemima. U uvjetima potpune izvjesnosti gradnje sistema planiranim tempom i redosljedom bilo bi dovoljno razmotriti samo taj jedan scenarij razvoja (tzv. osnovni scenarij) i usporedbom promatrane i referentne varijante utvrditi je li analiziranu jedinicu opravdano graditi ili ne. U uvjetima neizvjesnosti gradnje jedinice PT200 osim osnovnog scenarija valja razmotriti i potencijalne scenarije poremećaja u planovima. U tablici 2. definirani su scenariji koje valja analizirati pri gradnji jedinice PT200.

Scenariji su definirani jedinicama za zajedničku proizvodnju topline i električne energije, a uključuju, razumljivo, i potreban broj vrelovodnih kotlova, parnih kotlova i kondenzacijskih termoelektrana koje,

**Tablica 2. Definicija potencijalnih scenarija razvoja CTS-a i EES-a**

Scenarij	A	B	C	D
NE-TO Prevlaka	—	—	+	+
NE-TO 340	—	+	—	—
varijanta rasta toplinske potrošnje	realna			pesimistična

međutim, nije potrebno specificirati jer su samo derivacija u tablici definiranih jedinica i prilika u CTS-u i EES-u. Valja naglasiti da su u EES-u akceptirane dvije osnovne, s današnjeg gledišta vjerojatno jedine racionalne alternativne strategije razvoja:

- scenarij C i D — strategija s izgradnjom nuklearnih elektrana, termoelektrana na uvozni kameni ugljen i termoelektrana na domaći ugljen (uz predviđene HE)
- scenarij A i B — strategija s gradnjom termoelektrana na uvozni kameni ugljen i termoelektrana na domaći ugljen (uz predviđene HE).

U obje je varijante pretpostavljena izbalansirana gradnja termoelektrana na uvozni ugljen i termoelektrana na domaći ugljen u drugim republikama.

## 5. ANALIZA REZULTATA I DONOŠENJE ODLUKE

Na osnovi definiranih ulaznih podataka, proveden je proces vrednovanja promatrane jedinice PT200 u konkretnim uvjetima. Rezultati su dani u obliku tzv. tablice odlučivanja (decision table) u tablici 3. U vezi s tablicom valja naglasiti da rezultati ne omogućuju usporedbu dvaju scenarija kao integralnih procesa razvoja, već samo usporedbu promatrane varijante (dakle one u kojoj se gradi promatrana jedinica PT200) i referentne varijante (dakle, najbolje alternative promatrane varijante — one u kojoj se promatrana jedinica PT200 ne gradi) unutar određenog scenarija. Drugim riječima, ako su uštede u scenariju A veće nego u scenariju B (C ili D), to znači da je u uvjetima iz scenarija A gradnja promatrane jedinice PT 200 povoljnija nego u uvjetima scenarija B (C ili D).

Tablica 3. pokazuje da je varijantni pristup ulaznim podacima uvjetovao dobivanje približno 300 različitih rješenja. Svako od tih »rješenja« polazi od pretpostavke kvantitativne određenosti problema i jednoznačnosti upotrijebljenih informacija, a cjeloviti skup »rješenja« odražava protivrječnost njihove količinske neistovrijednosti. Odlučivanje u takvim uvjetima nameće suštinsko pitanje odnosa kvantitativne i

**Tablica 3. Rezultati valorizacije opravdanosti gradnje bloka B4 u TE-TO Zagreb (uštede u 10<sup>7</sup> d)**

Refer. TE	Odsump. dimnih plinova	Vrijed. 1 USA \$	Disk. stopa	Scenarij A			Scenarij B			Scenarij C			Scen. D	
				Cijena nafte			Cijena nafte			Cijena nafte			C. nafte	
				150 \$/t	200 \$/t	250 \$/t	150 \$/t	200 \$/t	250 \$/t	150 \$/t	200 \$/t	250 \$/t	150 \$/t	
300 MW na domaći ugljen	Ne	1300	0	113057	121355	129632	102715	112265	121714	104589	108657	111549	57500	
			4	80256	85557	90843	68676	75155	81575	73844	76188	77913		
			6	69276	73657	78025	56788	62339	67843	64167	66016	67407		
			8	61490	65183	68865	47538	52402	57229	57359	58855	59637		
		2000	0	93871	106605	119703	84056	99901	114701	80155	85606	94825		
			4	70090	78225	86713	57381	68459	79085	57216	63097	68722		
			6	62033	68756	75825	48298	57925	67173	53794	56322	60886		
			8	56681	62349	68356	39437	47986	56153	49871	51934	55726		
	Da	1300	0	108697	116995	12572	98355	107905	117354	100229	104297	107189	48900	
			4	76849	82150	87437	65270	71748	78168	70438	72782	74507		
			6	65149	69529	73898	52660	58212	63716	60040	61889	63280		
			8	56990	60683	64365	43040	47904	52731	52860	54356	55138		
2000	0	87094	99828	112926	77279	93124	107924	73378	78829	88049				
	4	64891	73027	81515	52182	63260	73886	52097	57978	63603				
	6	55738	62461	69530	39218	48845	58093	47500	50028	54592				
	8	49732	55399	61406	32488	41037	49204	42921	44984	48771				
300 MW na uvozni ugljen	Ne	1300	0	28692	43556	58394	30186	45373	60523	22801	33206	42436	7740	
			4	19234	28776	38301	18412	28359	38283	14209	20666	26504		
			6	15109	23015	30907	13370	21727	30063	11033	16310	21126		
			8	11876	18561	25231	8898	16071	23228	8516	12925	16990		
		2000	0	38661	61486	84717	36425	60945	84448	26239	41499	60467		
			4	24206	38858	53888	19298	35715	51698	14768	24281	36262		
			6	18777	30919	43427	12491	26436	40016	10993	18798	28658		
			8	14239	24503	35124	6237	18342	30074	7726	14275	22567		
	Da	1300	0	30683	45547	60386	31361	46548	61698	24841	35246	44476	11100	
			4	22502	32044	41569	20630	30578	40502	17519	23975	29813		
			6	17814	25720	33612	14823	23180	31516	13781	19057	23874		
			8	14531	21216	27886	10100	17273	24430	11220	15629	19694		
2000	0	41578	64403	87634	38096	62616	86118	29230	44440	63458				
	4	29352	44004	59034	22817	39234	55217	19978	29491	41472				
	6	22980	35122	47630	14771	28716	42296	15263	23068	32928				
	8	21650	31914	42534	7946	20051	31783	11833	18381	26634				

kvalitativne analize odnosno odnosa istraživača i računala. U općenitom slučaju, tablica odlučivanja sadrži vrijednosti različitog predznaka (»pozitivne« i »negativne« uštede), dakle, prema dijelu ulaznih podataka, promatranu jedinicu isplati se graditi, a prema drugom dijelu te domene gradnja nije opravdana. U tom slučaju istraživač odnosno donosilac odluke treba na osnovi izloženih kvantifikacija i subjektivne prosudbe kvalitativnih elemenata procijeniti opravdanosti gradnje.

U konkretnim uvjetima vrednovanja opravdanosti gradnje jedinice PT200 rješenje je jednostavnije. Kao što se iz tablice 3. vidi, bez obzira na vrijednost relevantnih neizvjesnih ulaznih parametara i postavki, u odnosu prema rješenju bez gradnje jedinice PT200 u CTS-u i EES-u uštede su pozitivne.

Osim navedenoga, u procesu odlučivanja valja analizirati i kvalitativna svojstva jedinice. Prostor ne dopušta njihovu detaljnu elaboraciju, pa se radi ilustracije postupka samo nabrajaju ove kvalitativne karakteristike jedinice PT200:

- adaptabilnost jedinice promjenjivim uvjetima (na nju upućuje stabilnost ekonomskog boniteta tog rješenja u promatranim neizvjesnim prilikama)
- diversifikacija upotrebljivanih energetske oblika (mogućnost upotrebe ugljena, prirodnog plina, loživog ulja), čime se stvaraju pretpostavke za fleksibilan odnos jedinice i energetske sistema Grada — Republike)
- smještaj u središte elektroenergetske potrošnje (lokacijski, na područje najveće urbane sredine u republici i njezine elektroenergetske potrošnje)
- jedinica je trenutno jedan od malobrojnih realnih, potencijalnih izvora snage za elektroenergetski sistem SRH u devedesetim godinama
- smještaj na području kadrovski i infrastrukturno pogodnoj lokaciji (s obzirom na stručnost, i industrijsku svijest)
- pogodni eksterni efekti (zapošljavanje domaćega građevinarstva, industrije, projektnih i inženjering — organizacija, rast nacionalnog dohotka i zaposlenosti na području odakle se namiču sredstva za investiciju, pogodan devizni aspekt u odnosu na alternativna rješenja na što upozorava povećanje ušteda rastom vrijednosti deviznih sredstava)
- ne sužavaju se dalje mogućnosti razvoja bilo kojeg sistema u koji se uključuje jedinica (ili u koje se ona može uključiti).

Očito je da je gradnja jedinice PT200 u TE-TO Zagreb opravdana. Argumenti za takav stav proistječu iz ove dvije činjenice:

- gradnja jedinice PT200 ne pokazuje negativne ekonomske efekte ni u uvjetima najnepovoljnije kombinacije vrijednosti neizvjesnih ulaznih parametara i postavki
- gradnja jedinice PT200 ima pogodne kvalitativne karakteristike.

## 6. ZAKLJUČAK

Centralizirani toplinski sistem i elektroenergetski sistem sistemi su složene strukture povezani sa svojim okruženjem (ekonomskim sistemom, političkim sistemom, okolinom itd.) brojnim kauzalnim vezama o kojima u trenutku razmatranja ne postoje potpune informacije (objektivne ni subjektivne — dakle, one koje su pod svjesnim djelovanjem društva). Nedeterminiranost razvoja takvih sistema (u mehanističkom smislu) uvjetuje činjenicu da određeni uvjeti u tom sistemu i oko tih sistema ne određuju jednoznačno njihov dalji razvoj. Imajući to na umu, očito je da se opravdanost gradnje jedinice spojnog procesa u tim sistemima nužno analizira u neizvjesnim uvjetima. Pritome neizvjesnost nije nikad potpuna (u tom bi slučaju odlučivanje bilo apsurdno), već je povezana s većom ili manjom vjerojatnošću pojava. Zato je moguće razlikovati veličine i pojave veće i manje neizvjesnosti. Osim toga, svaka neizvjesna veličina ili pojava nema jednak utjecaj na rješenje.

Proces donošenja odluke o gradnji jedinice spojnog procesa u biti se svodi na proces odlučivanja u neizvjesnim uvjetima. Dokazano je da adekvantom analizom ulaznih podataka valja definirati elemente neizvjesnih ulaznih parametara (taj je proces uvelike subjektivna procjena istraživača, što ne mora umanjiti njegovu kvalitetu i utemeljenost). Uzastopnom provedbom formaliziranih postupaka (matematskim modelom) dobiva se skup »rješenja« na osnovi kojih je moguće zaključiti o opravdanosti gradnje objekta. Na taj način »suradnjom« računala i ljudskog razuma (koristeći se svakim od njih za ono što je superiorniji), moguće je prevladati uvjete neizvjesnosti i donositi odluke vrlo visokog stupnja racionalnosti.

## LITERATURA

- [1] D. ČORAK, Z. MUŽEK, H. ŠTINGL, V. JELAVIĆ, R. SCHENNER, Z. KOMERIČKI, V. BRAJČIĆ: »Usmjerenje opskrbe energijom grada i područja Zagreba do 2000. godine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1982.
- [2] Z. MUŽEK, Z. KOMERIČKI, H. KUNAJ, D. BARILAR, S. ALERIĆ, M. BRADARIĆ, N. KOMERIČKI, Z. TONKOVIĆ, G. JERGIĆ: »Idejno rješenje supstitucije blokova 2 × PT32 u TE-TO«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1988.
- [3] N. MALBAŠA, M. ZELIĆ, Z. KOMERIČKI, Z. MUŽEK, D. MATANIĆ, G. TURIĆ, T. MEGLA, F. VANČINA, S. HRŠAK, M. SARAJLIJA: »Izbor lokacije za toplanu na ugljen na području Zagreba«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1985.
- [4] Idejni projekt supstitucije blokova 2 × PT32 u TE-TO, Elektroprojekt, Zagreb, 1988.
- [5] Idejni projekt Organizacije prometa maršrutnih vlakova na relaciji Bakar-žitnjak, ŽTP-Projekt, RO za konzalting, Zagreb, 1987.
- [6] N. BILČAR, M. BRADARIĆ, S. ALERIĆ, N. KOMERIČKI, J. BUNJEVČEVIĆ, I. POSAVEC: »Analiza mogućnosti razvoja elektroprivrede SRH do 2000. godine s osvrtom na 2010. godinu«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1987.

- [7] D. ČORAK: »Vrednovanje proizvodnih jedinica spojnog procesa u toplinskom i elektroenergetskom sistemu«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1976.
- [8] Z. MUŽEK: »Cijena nafte u svijetu — dosadašnji razvitak i neke premise za budućnost«, Energija 5/86, str. 351-369, Zagreb, 1986.

**AN ANALYSIS OF NATIONAL INVESTMENT OPPORTUNITY FOR CONSTRUCTION OF HEATING AND ELECTRIC POWER PLANT IN THE CIRCUMSTANCES OF ECONOMY UNCERTAINTIES**

In the paper is analysed national investment opportunity for construction of heating and electric power plant in circumstances of economy uncertainties. Analysed is an example of power plant PT200 in »TE—TO«. Listed are uncertainty elements and a concept for their elimination.

**ANALYSE DER GESELLSCHAFTLICHEN GERECHTFERTIGUNG FÜR DEN AUSBAU EINER EINHEIT FÜR GEMEINSAME ERZEUGUNG DER WÄRME UND ELEKTRISCHEN ENERGIE BEI UNGEWISSEN BEDINGUNGEN**

Man analysiert die gesellschaftliche Rechtfertigung des Ausbaus einer Wärme und Stromeinheit für gemeinsamen Verbrauch bei ungewissen Bedingungen. Die Betrachtungen beziehen sich auf das Beispiel der Einheit PT 200 und TE—TO. Hier werden die Elemente der Ungewissheit angeführt. Es werden Beispiele für ihre Überwindung gegeben.

**АНАЛИЗ ОБЩЕСТВЕННОЙ ОБОСНОВАННОСТИ СООРУЖЕНИЯ ЕДИНИЦЫ СОВМЕСТНОЙ ВЫРАБОТКИ ТЕПЛОТЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ НЕИЗВЕСТНОСТИ**

Анализируется общественная обоснованность сооружения единицы совместной выработки теплоты и электрической энергии в условиях неизвестности. Рассматриваются на примере единицы ПТ200 на тепловой электростанции-центrale. Приводятся элементы неизвестности и предлагается способ их побеждения.

Naslov pisaca:

**Mr. Zdravko Mužek, dipl. inž.  
Mr. Zlatko Komerički, dipl. inž.  
Institut za elektroprivredu,  
41000 Zagreb,  
Proleterskih brigada 37,  
Jugoslavija**

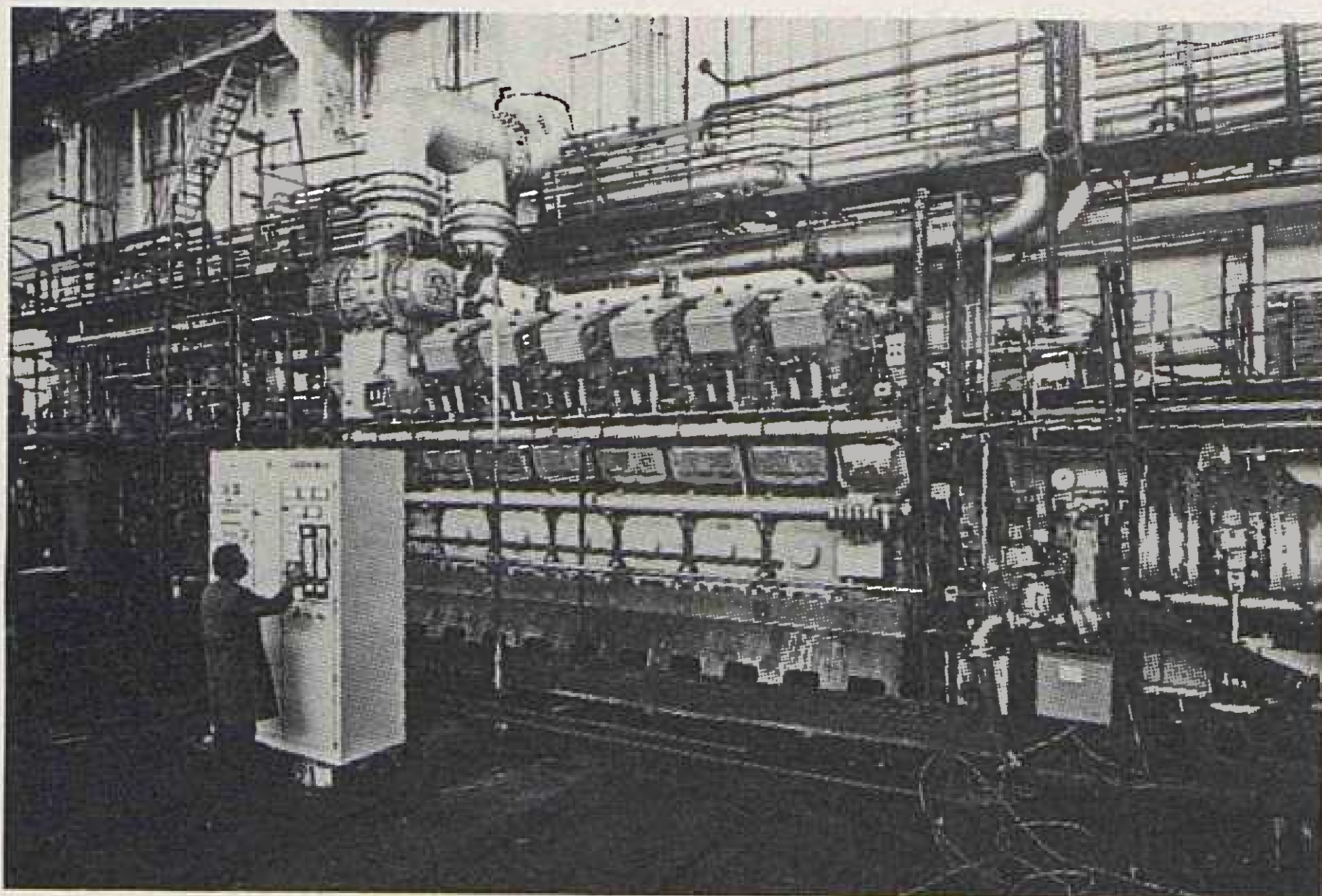
Uredništvo primilo rukopis:  
1988-05-30

# »JUGOTURBINA«

**INDUSTRIJA METALNIH PROIZVODA, OPREME I POSTROJENJA SOUR o. sub. o.  
47000 KARLOVAC, VIII divizije 10, Jugoslavija Tel. (047) 31-533; Telex: 23736**

## PROIZVODNI PROGRAM:

- ENERGETSKA OPREMA I POSTROJENJA: parne turbine za pogonjenje generatora u nuklearnim i klasičnim termoelektranama i toplanama, te za pogonjenje ostalih radnih strojeva; turbokompresori, dizel agregati i kompletna energetska postrojenja.
- BRODSKA OPREMA: glavni i pomoćni dizel motori, parne turbine, pumpe i automatika
- PUMPE I PUMPNA POSTROJENJA
- POSTROJENJA ZA PROČIŠĆAVANJE KOMUNALNIH I INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA
- KLIZNI LEŽAJEVI
- ELEKTRONIKA, AUTOMATIKA I BIROTEHNIKA
- PROJEKTIRANJE I IZGRADNJA INDUSTRIJSKIH I DRUGIH GRAĐEVINSKIH OBJEKATA
- GRAĐEVINSKI OKOV, ČAVLI I DRUGI ŽIČANI PROIZVODI
- PROIZVODI OD TERMOPLASTIČNIH MASA



Dizel motor 12 ZV 40 od 6220 KW za havarijsku stanicu u NE  
— SSSR

## »JUGOTURBINA«

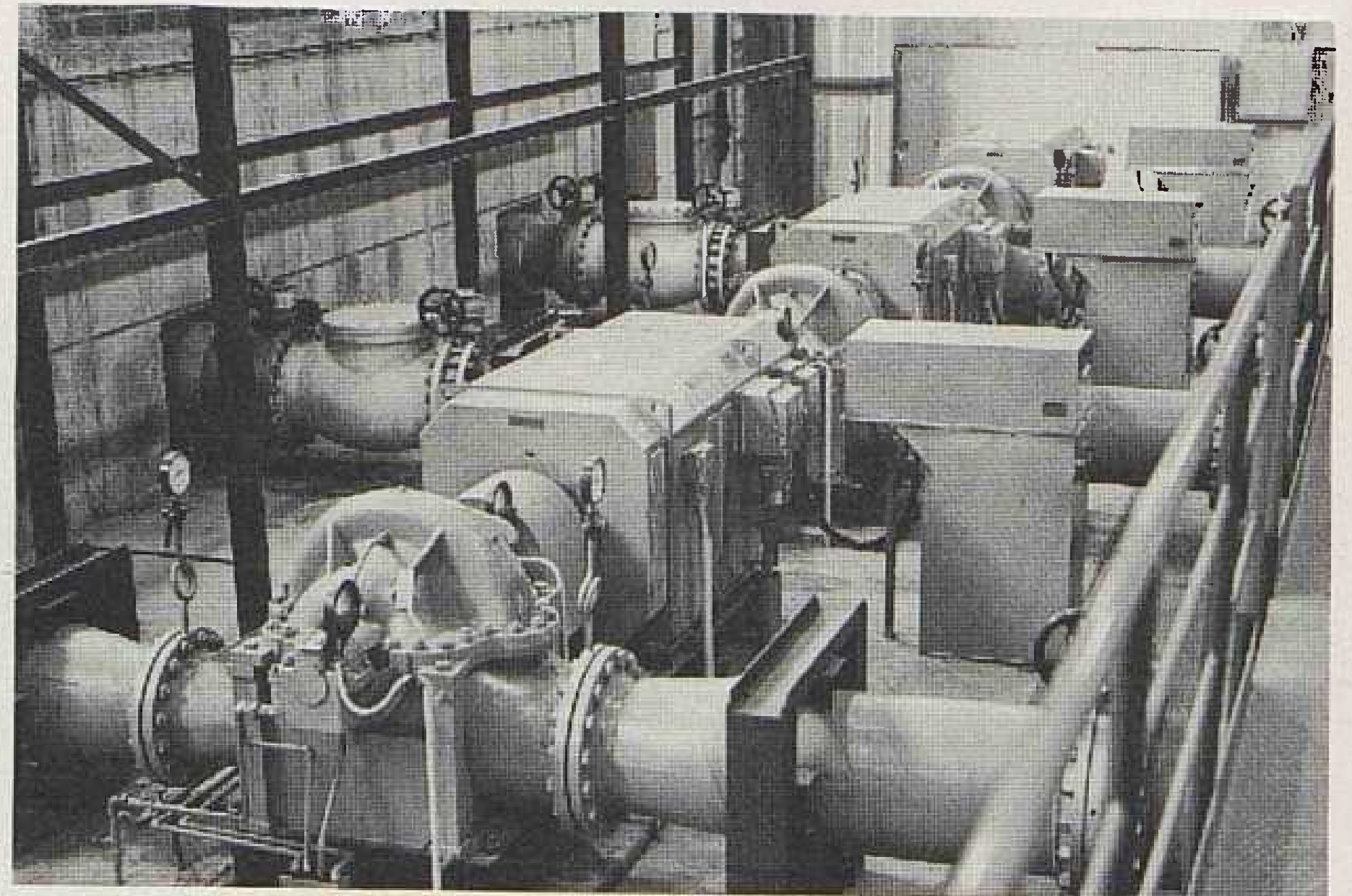
— TRGOVINA I INŽENJERING n. sol. o.  
47000 KARLOVAC, Trg Braće M. i J. Benić 2,  
Jugoslavija Tel. (047) 26-022; Telex 23745

## DJELATNOSTI:

- INŽENJERING (Konzalting, projektiranje, isporuka opreme i izgradnja objekata) za ENERGETSKA, HIDRO I INDUSTRIJSKA POSTROJENJA
- IZVOZ – UVOZ, ZASTUPSTVO, TRGOVINA NA VELIKO I MALO

## REFERENCE NA SVIM KONTINENTIMA:

500 turboagregata  
1.400 dizel motora  
65.000 pumpnih agregata



Pumpna stanica u TO Ljubljana

## PUMPE ZA ENERGETSKA POSTROJENJA (TERMoeLEKTRANE-TOPLANE)

Proširenje postojećeg programa napojnih, kondenzatnih i rashladnih pumpi zadovoljit će uvjete termoelektrana i toplana, snage do 1200 MW. Nekoliko stotina instaliranih pumpi od kojih neke besprijekorno rade već više od 20 godina u najvećim energetskim postrojenjima u zemlji (Zagreb, NE Krško, Ljubljana, Zenica, Obrenovac, Plomin, Lučani, Brestalnica, Kakanj, Skopje, Zrenjanin, Banja Luka, Kosovo itd) i 70 pumpi koje rade u termoelektranama u Kampuru, Kandli i Barauni — Indija, Rhodos i Linoperamata u Grčkoj kao i saradnja sa vodećim svjetskim firmama, garantiraju uspjeh u razvoju i proizvodnji pumpi za energetiku.

# INVESTICIJE, FINANCIRANJE, CIJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Marijan Magdić — mr. Luka Staničić — Smiljana Jurišić, Zagreb

UDK 338.52:621.3.003.13

PREGLEDNI RAD

Proces reprodukcije počinje utroškom, a završava stvaranjem akumulacije. Stvaranje akumulacije u količini koja omogućuje veću razinu proizvodnje poznato je kao proširena reprodukcija. Ostvarenje procesa proširene reprodukcije u elektroprivredi, kojim će se podmiriti rastuće potrebe za električnom energijom, znači uspostavljanje ekonomski pravilnih relacija između investicija, načina financiranja investicija i cijene električne energije.

**Ključne riječi:** investicije, financiranje investicija, cijena električne energije.

## UVOD

Proces proširene rprodukcije u elektroprivredi valja promatrati u cjelokupnom procesu reprodukcije energetike i cijele privrede. Finalni proizvod elektroenergetike kao grane energetike ulazi u sve dijelove privrednoga i društvenog života. Zahvaljujući tom značenju, elektroprivreda se smatra djelatnošću s posebnim ineresom. Takav status elektroprivrede, zajedno s osobitostima elektroprivrede, definira i odvijanje procesa proširene reprodukcije u elektroprivredi.

U nastavku rada analizirat ćemo osnovne segmente procesa reprodukcije: investicije, financiranje investicija i cijenu električne energije.

## 1. INVESTICIJE

### 1.1. Razvoj i investicije

Razvoj znači odvijanje procesa reprodukcije na višoj razini. On, istodobno znači i stvaranje nove kvalitete. Obično kažemo da nastaju strukturne promjene. Ovisno o značenju privredne grane u cjelokupnoj društvenoj reprodukciji, strukturne promjene koje izaziva razvoj te grane veće su ili manje.

Elektroprivredna je djelatnost infrastrukturna djelatnost i jedna je od pretpostavki općedruštvenoga privrednog i ekonomskog razvoja. Elektroprivreda je djelatnost sa izraženim eksternim ekonomijama.

Povećana proizvodnja električne energije, rast proizvodnje električne energije, koja u ekonomskom smislu znači proširenu reprodukciju jer je riječ o proizvodnji na višoj razini, za razliku od tzv. jednostavne reprodukcije, dovodi do razvoja same elektroprivrede i cjelokupne privrede.

Porast proizvodnje električne energije u samoj elektroprivredi uzrokuje i razvoj elektroprivrede: suvremeniju organizaciju, usvajanje novih tehnologija,

razvoj kibernetike, povećanje dohotka i osobnog standarda radnika, povećanje broja zaposlenih i sl.

Osim toga, porast proizvodnje električne energije vodi razvoju cjelokupnog društva. Razvijaju se grane i djelatnosti koje sudjeluju u pripremi i izgradnji elektroenergetskih objekata, a zbog upotrebe i primjenjivosti električne energije osobito se brzo razvija i cijelo društvo.

Svaki se razvoj konkretizira investicijama. Investicijska politika kao dio poslovne i razvojne politike označava identifikaciju potrebnih sredstava, s jedne, i očekivanih odnosno postavljenih ciljeva, s druge strane.

Za realizaciju određenog cilja, u elektroprivredi to znači za proizvodnju električne energije, potrebna su, jednostavno rečeno, sredstva ili faktori u različitim oblicima. Proces razvoja može se kvalitativno izraziti relacijom:

$$D = f(R, S, TN, PR),$$

gdje je

D = proces razvoja (proširena reprodukcija)

R = rad

S = sredstva društvene akumulacije

TN = tehnički napredak

PR = prirodni resursi.

Gledajući značenje i važnost pojedinog faktora u procesu razvoja, postavlja se pitanje njegove kritičnosti, tj. direktnog utjecaja na postavljene ciljeve razvoja. Između faktora o kojima ovisi razvoj gotovo nije moguće istaknuti prioritetni od manje važnoga.

Gledajući sa stajališta elektroprivrede, uspješno i ekonomski racionalno povećanje proizvodnje električne energije, a to znači razvoj, nije moguće ostvariti ako nedostaje bilo koji nabrojani faktor.

Drugi je pristup analizi faktora razvoja promatranje načina osiguranja ili pribavljanja pojedinog faktora za razvoj neke privredne grane.



Ako se iz promatranja izuzmu prirodni resursi pri čijem stvaranju nije bilo ljudskog rada te ako se prihvati polazište da naobrazbu, tj. stručnost ljudi u osnovi osigurava društvo putem postavljenog sistema školovanja i da je tehnički napredak poznavanje i primjena suvremenih tehnoloških postupaka, metoda i sredstva za stvaranje pojedinih proizvoda i usluga, što bi se opet moglo pripisati znanju odnosno školovanju, ostaju novčana sredstva (društvena akumulacija) koja se u principu stvaraju unutar pojedine radne organizacije odnosno grane. Ovisno o značenju pojedine grane za općedruštveni razvoj, formiran je i način prikupljanja sredstava za investicije.

Elektroprivredna je djelatnost s posebnim društvenim interesom, pa su cijene električne energije, a time i sredstava za proširenu reprodukciju, pod kontrolom društva.

Dugoročna razvojna politika u elektroprivredi kontinuirana je djelatnost čiji je trajni zadatak opskrba dovoljnim količinama kvalitetne električne energije.

Nijedan razvojni proces u društvu ne smije ostati usamljen. Naime, razvoj jedne djelatnosti prati razvoj druge. Usamljeni i izolirani razvoj jedne djelatnosti moguć je samo kratkoročno. Dugoročni optimalni društveno-ekonomski razvoj moguć je razvojem svih dijelova neke cjeline.

U istim je prilikama razvoj elektroprivrede kao energetske grane u sklopu cjelokupne energetike. Komplementarni razvoj svih energetskih grana vodi racionalnoj upotrebi prirodnih resursa, s jedne strane, a istodobno uzrokuje racionalnu alokaciju novčanih sredstava za uvoz energije koja nedostaje.

Komplementarni razvoj svih energetskih grana određuje razvoj elektroprivrede odnosno njezinu razvojnu politiku koja se operacionalizira u potrebnoj količini električne energije, potrebnoj snazi, dinamici potrebne snage i energije za određeno vremensko razdoblje, indentifikaciji elektrana, racionalnome i energetski-ekonomsko opravdanom izboru redoslijeda izgradnje elektrana.

Napokon, koncepcija razvoja konkretizira se investicijama, a to znači izgradnjom novih kapaciteta. Investicijskim su programom definirani svi uvjeti gradnje, koncepcija gradnje, potrebna financijska sredstva i njihovi izvori, rok izgradnje i analiza uspješnosti budućeg objekta.

Prihvatanjem investicijskog programa počinje proces proizvodnog trošenja društvene akumulacije odnosno promjena oblika vrijednosti iz novčanoga u materijalni.

Logičan redoslijed realizacije razvojnog procesa može se prikazati na sljedeći način:

$$RP \rightarrow IP \rightarrow IPR,$$

gdje je

$$\begin{aligned} RP &= \text{razvojna politika} \\ IP &= \text{investicijska politika} \\ IPR &= \text{investicijski program.} \end{aligned}$$

## 1.2. Ekonomika investicija u elektroprivredi

Princip ekonomičnosti kao odnos koristi i troškova (K/T) mora biti zastupljen u svakom dijelu poslovnog procesa. Investicijska politika u elektroprivredi treba se rukovoditi ponajprije tim principom poslovanja jer u okolnostima ograničenih investicijskih sredstava valja izabrati elektroenergetske objekte kojima će se ostvariti najveći efekti. Prema tome, treba težiti izgradnji takve kombinacije elektroenergetskih objekata kojom će omjer koristi i troškova (K/T) biti optimalan.

Na taj se način uspostavlja osnovni princip investicijske politike elektroprivrede, a može se definirati kao:

- optimiranje troškova i koristi, ili
- minimiziranje troškova, uz zadane koristi.

Za ostvarenje osnovne uloge elektroprivrede — opskrbe potrošača električnom energijom, postoji nekoliko alternativa u redoslijedu gradnje elektrana. Prema tome između nekoliko alternativa treba izabrati najekonomičniju da bi cjelokupni elektroenergetski sistem ostvarivao minimalne troškove.

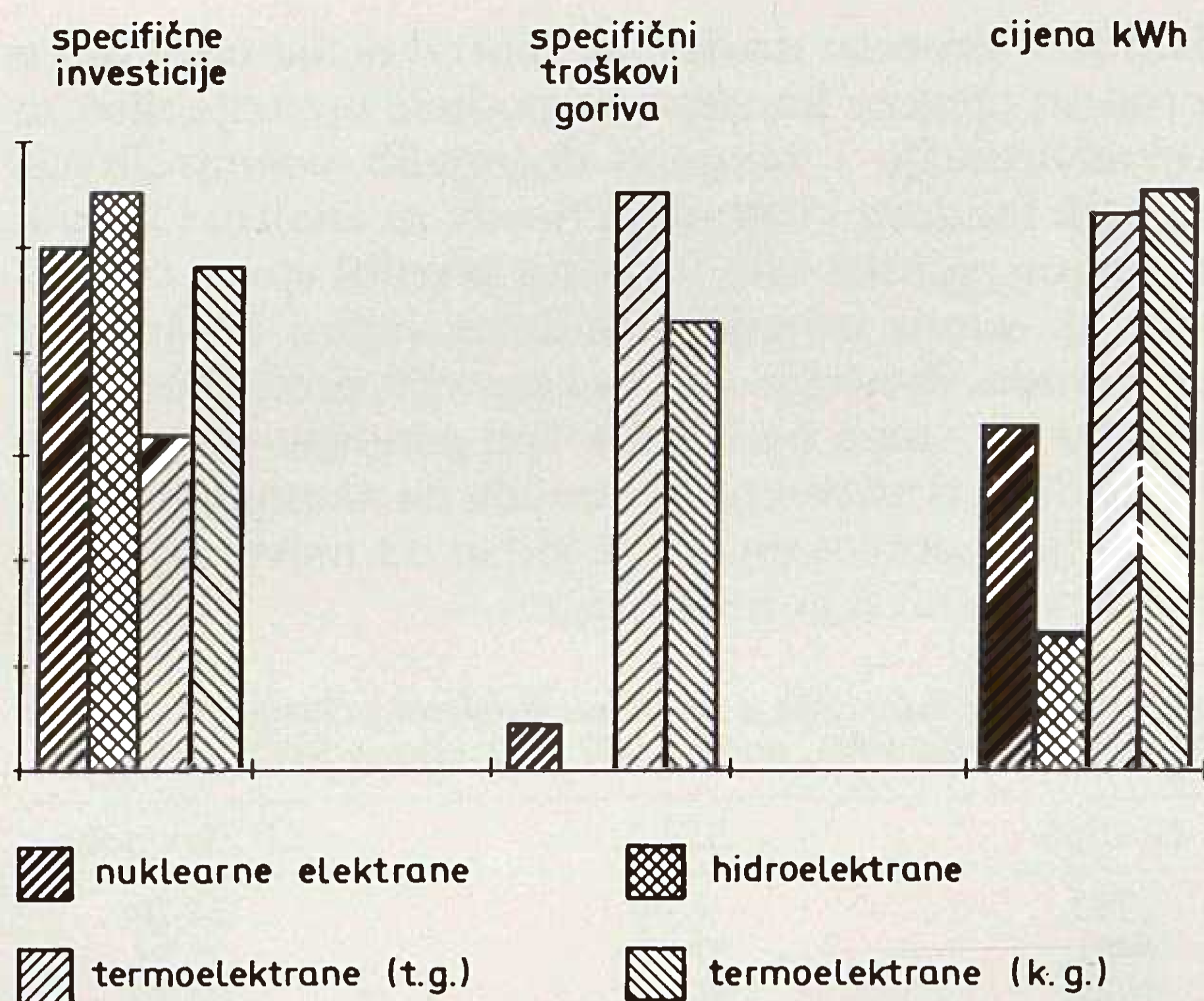
Odabir najekonomičnije kombinacije elektrana provodi se postupkom ekonomsko-energetske vrijednosti elektrana kao relativnim pokazateljem uspješnosti elektrane. Postupak je sveobuhvatan jer se simuliraju prilike u elektroenergetskom sistemu, a osim investicija kao izdatka u razdoblju gradnje, u obzir se uzimaju i troškovi u razdoblju rada objekta.

Princip minimalnih troškova u elektroenergetskom sistemu zapravo je jedini princip koji vodi najracionalnijem iskorištenju raspoloživih resursa. Osobitosti elektroprivrede nametnule su taj princip izbora investicija kao elektroprivredi primjereno načelo. Početak rada svake nove proizvodne jedinice direktno utječe na rad postojećih. Prema tome, svi elektroenergetski objekti čine jedinstveni elektroenergetski sistem.

Značenje principa ekonomičnosti u pripremi gradnje, bolje reći u postupku donošenja odluke o gradnji, očituje se u tome što cjelokupna uspješnost ili neuspješnost elektroprivrede ovisi o investicijskim odlukama. Naime elektroenergetski objekti imaju vijek trajanja 30 — 50 godina.

Nadalje, ekonomsko-energetski pravilan izbor investicija proistječe iz činjenice da u proizvodnim objektima postoji nekoliko mogućnosti (varijanti) proizvodnje potrebne količine električne energije. Nuklearne elektrane i hidroelektrane imaju veće specifične investicije po jedinici instalirane snage nego termoelektrane na kruto ili tekuće gorivo. Ali termoelektrane imaju u razdoblju proizvodnje i trošak goriva koji se ne pojavljuje u hidroelektranama. Nuklearne elektrane, usprkos relativno velikim investicijama, svoju ekonomiju ostvaruju velikom proizvodnjom i relativno niskim troškovima goriva (ekonomija razmjera). Navedene se konstatacije vide i na slici 1.

Promatrano dinamički, iz navedene ilustracije proizlazi mogućnost različitog trošenja sredstava u toku izgradnje te u razdoblju proizvodnje pojedine elek-



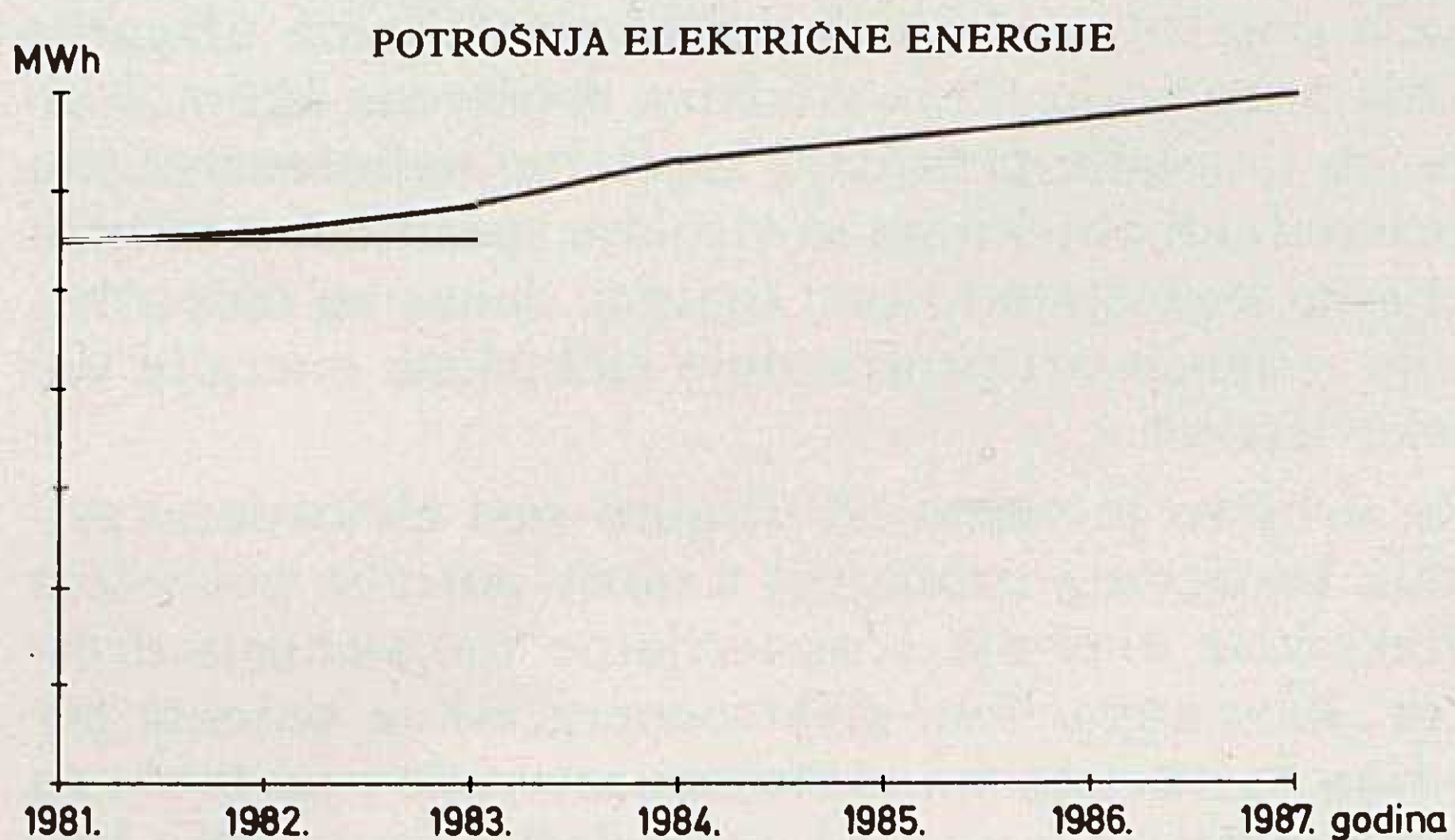
Slika 1.

trane. Relativno veće specifične investicije (HE, NE) znače i veće angažiranje društvene akumulacije (ali se postiže niža cijena kWh). Prema tome, različita je dinamika trošenja sredstava u vijeku trajanja pojedine elektrane (računajući i razdoblje izgradnje). Zato se ekonomski korektne investicijske odluke mogu donijeti uzimajući u obzir društvene vremenske preferencije novca (društvena diskontna stopa). To znači da je uložena sredstva (društvena akumulacija) potrebno analizirati u smislu njihova oportunitetnog troška.

### 1.3. Dinamika investiranja

Elektroenergetski objekti osim dugog trajanja imaju relativno dugo pripremno razdoblje i razdoblje gradnje. Gradnja traje, ovisno o veličini objekta, 4–7 godina, a ponekad i priprema traje toliko.

Bitan zaključak vezan za vrijeme pripreme i gradnju elektroenergetskih objekata jest potreba kontinuiranog investiranja. Kontinuirano investiranje moralo bi pratiti kontinuirani porast potrošnje električne energije. Potrošnja električne energije ima svoje, mogli bismo reći, zakonito kretanje, a to je povećanje iz godine u godinu. Porast potrošnje ilustriran je na slici 2. Ovisi o mnogo faktora, ali zadržava kontinuirani porast.



Izvor podataka: Analiza poslovanja ZEOH

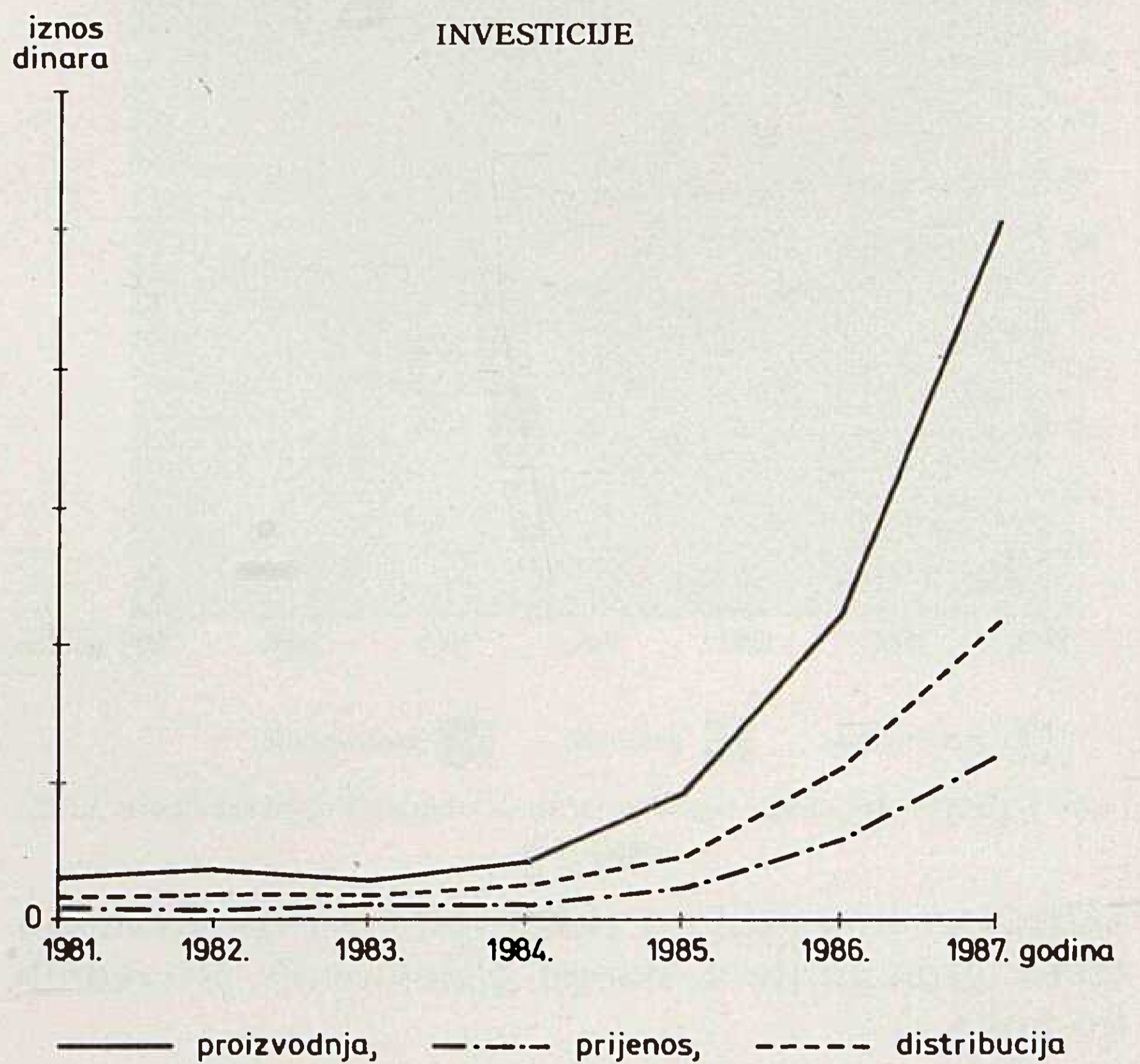
Slika 2.

Ako se porast potrošnje u SR Hrvatskoj (sl. 2) usporedi s ostvarenim investicijama u elektroprivredi SR Hrvatske (sl. 4, realno kretanje), opaža se pad investiranja u odnosu prema kontinuiranom porastu potrošnje električne energije. Takva je pojava moguća, ali samo u kratkom roku jer uvijek postoji određeni pomak, zato što izgrađeni kapaciteti neko vrijeme omogućuju porast potrošnje električne energije. Dugoročno gledano, takav nerazmjer može imati katastrofalne posljedice. Naime, izgrađeni kapaciteti neće moći podmiriti potrebe za električnom energijom. Tada su potrebne intervencije u obliku redukcije ili uvoza električne energije.

### 1.4. Ostvarene investicije

Na kraju ovog dijela iznijet ćemo podatke o investicijama ostvarenim u elektroprivredi SR Hrvatske za djelatnost proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije za razdoblje 1981–1987. godine.

Slika 3. iskazuje investicije ostvarene u elektroprivredi SR Hrvatske u razdoblju 1981–1987. u tekućim cijenama. U razdoblju 1981–1985. investicije su otprilike na jednakoj razini, a tek poslije 1985. one rastu.

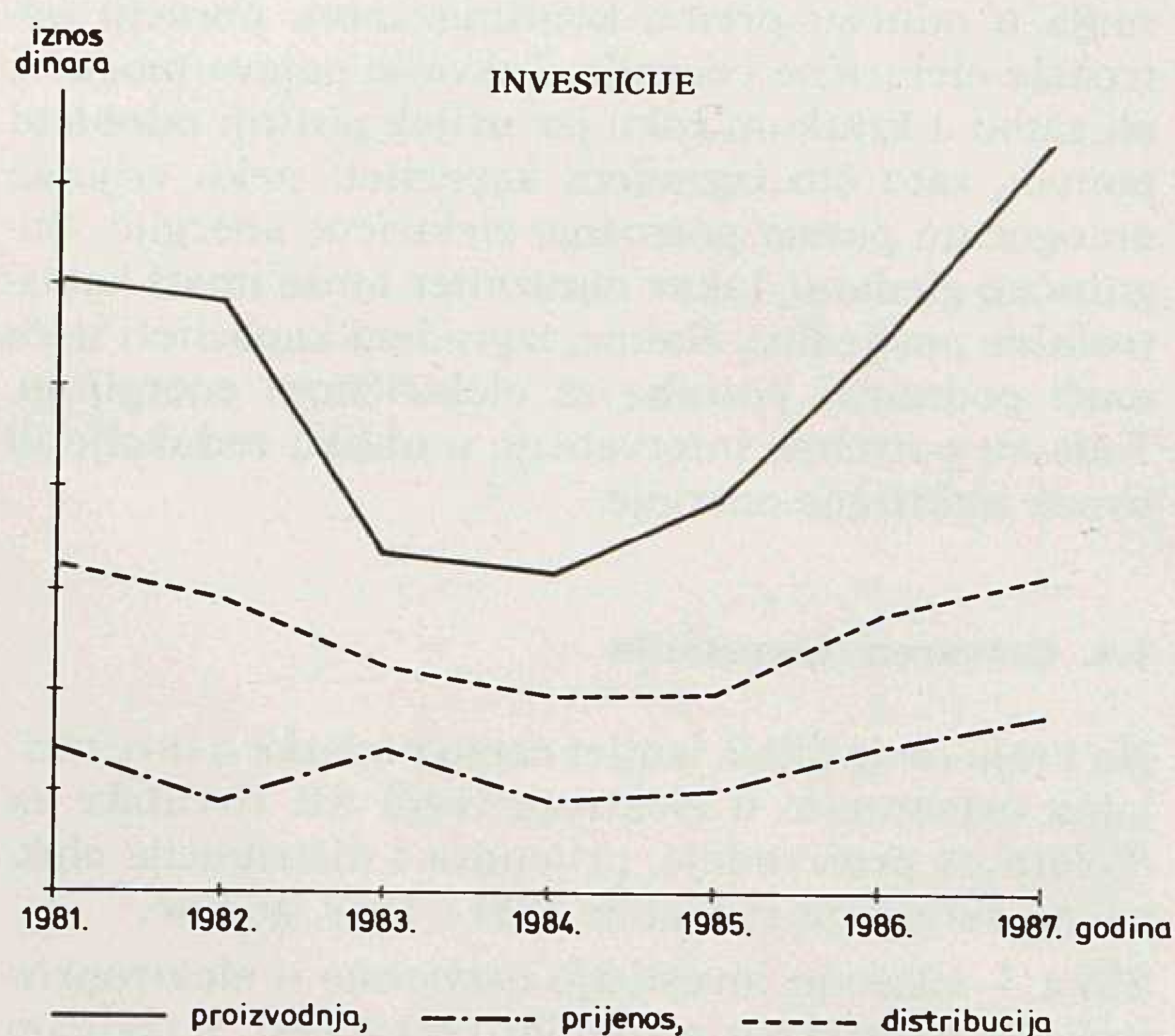


Izvor podataka: Izvještaj o izgradnji elektroenergetskih objekata, ZEOH, RSIZ

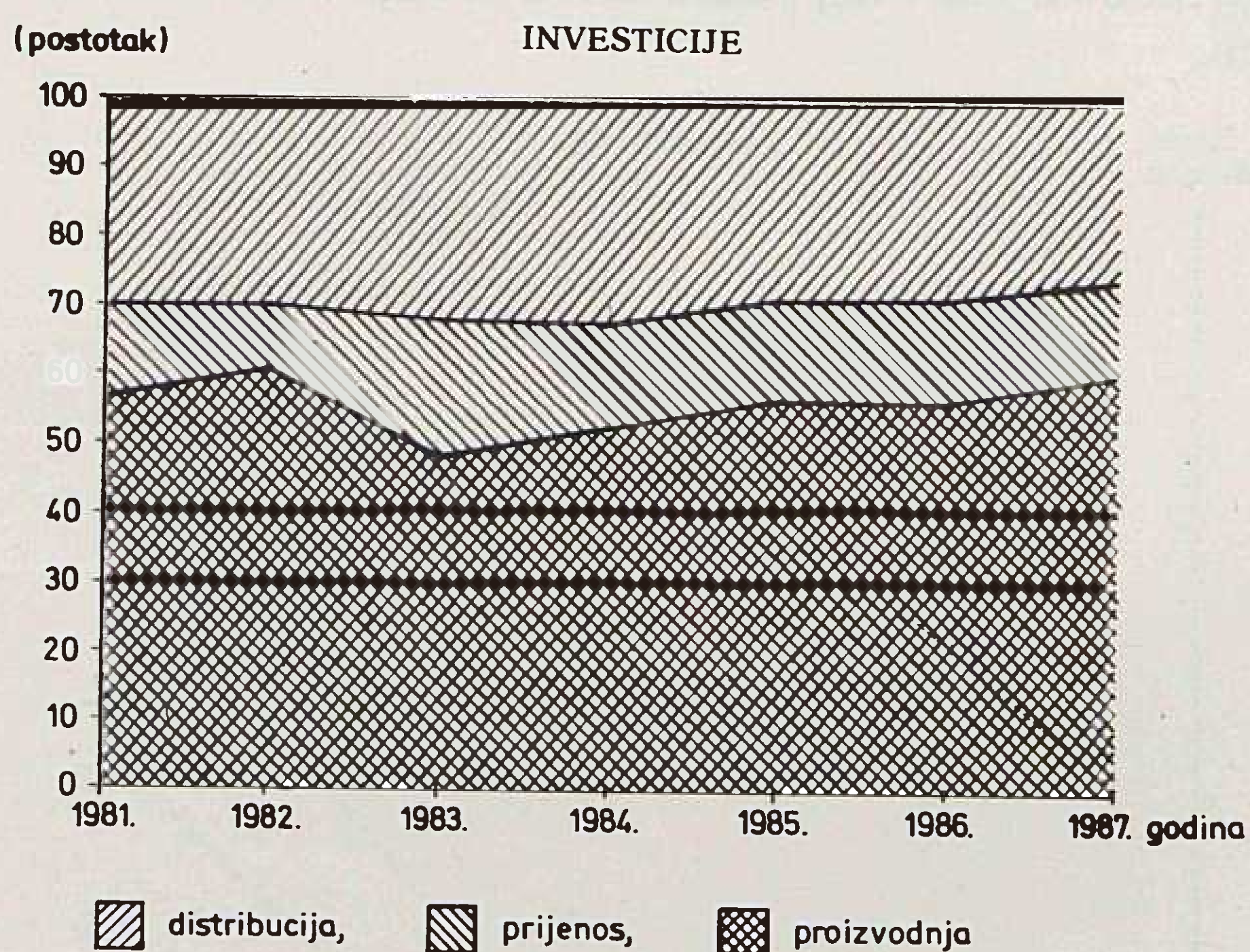
Slika 3.

Međutim, valja naglasiti da prikaz investiranja u tekućim cijenama ne daje realnu sliku zato što neprestano rastu cijene. Da bi se dobile informacije o realnom porastu, potrebno je investicije iskazati stalnim cijenama. Realno kretanje investicija prema cijenama iz 1981. pokazuje slika 4. Kao inflator za svođenje tekućih cijena na cijene iz 1981. upotrijebljen je porast cijena industrijskih proizvoda u promatranom razdoblju. Slika 4. pokazuje realni pad investiranja u razdoblju 1982–1986. u odnosu prema 1981. godini. Osim informacije o kretanju investicija pojedine djelatnosti, zanimljiv je i prikaz učešća pojedine djelat-

nosti u ukupnim investicijama elektroprivrede. Učešće pojedine djelatnosti u ukupnim investicijama pokazano je na slici 5.



Slika 4.



Slika 5.

koji je u procesu društvene reprodukcije odnosno u procesu njegove konačne raspodjele upotrijebljen za rekonstrukcije i zamjene dotrajalih postojećih osnovnih fondova i izgradnju novih, za analizu i ocjenu razvojne politike vrlo je važno utvrditi stopu investicija, tj. odnos između brutoinvesticija i društvenog proizvoda. Značenje tog pokazatelja proistječe iz činjenice da stopa investicija čini osnovnu proporciju raspodjele društvenog proizvoda na akumulaciju (investicije) i potrošnju što je jedan od najvažnijih elemenata planiranja investicija.

Stope brutoinvesticija u osnovne fondove privrede u razdoblju od 1980. do 1985. godine (na bazi cijena 1972. godine)

Godina	SFRJ	SR Hrvatska
1980.	36,69	34,20
1981.	28,18	31,91
1982.	26,51	25,77
1983.	24,17	24,25
1984.	21,43	19,45
1985.	20,55	19,38

Izvor podataka: Statistički godišnjak SFRJ, 1987. st. 472—495.

Očito je da tendencija smanjivanja intenziteta u privredu Jugoslavije (ilustrativne su upravo te stope brutoinvesticija u osnovne fondove) determinira rast fiksnog dijela proizvodnoga nacionalnog bogatstva, a time i intenzitet proizvodnje.

Iz strukture brutoinvesticija u osnovne fondove uočljivo je da je industrijalizacija bila osnovna metoda privrednog razvoja Jugoslavije.

Podaci pokazuju da je u promatranom razdoblju u Jugoslaviji više od 1/3 ukupnih brutoinvesticija u fiksne fondove investirano u industriju i rudarstvo. Premda je industrijalizacija bila osnovna metoda razvoja i razvojne politike u svim republikama i pokrajinama, ipak su među njima postojale stanovite razlike u intenzitetu investicija u industriju i rudarstvo. To je, uostalom, i razumljivo ako znamo da su intencije jugoslavenske razvojne politike bile usmjerene prema bržem razvoju industrije nedovoljno razvijenih republika i pokrajine Kosovo.

Tendencija smanjivanja investiranja u elektroprivrednu djelatnost u posljednjim godinama u prvi plan ističe pitanje osiguranja potrebne količine finansijskih sredstava za razvoj elektroprivrede, naročito ako imamo na pameti da izgradnja elektroenergetskih objekata zahtijeva velika materijalna ulaganja koja angažiraju bitna sredstva društvene akumulacije, da ti objekti pripadaju kapitalno najintenzivnijim privrednim objektima sa visokim specifičnim investicijama koje stalno rastu (naime, danas su najpovoljnije mogućnosti proizvodnje električne energije već iskorištene).

Za društvo je važno da osigura rast elektroenergetskih kapaciteta uzimajući u obzir potrebe potrošača električne energije i materijalne mogućnosti društva. Rast kapaciteta elektroenergetskog sistema povezan je i uvjetovan razvojem privrede i ne može se promatrati odvojeno od privrednih i društvenih kretanja u zemlji.

Intenzitet investicija u elektroprivredi SR Hrvatske treba promatrati u sklopu cjelokupnih privrednih kretanja.

Poznato je da su investicije vrlo važan faktor društveno-ekonomskog razvoja i da je intenzitetom investiranja determiniran rast fiksnog dijela (osnovnih fondova) proizvodnoga nacionalnog bogatstva, a time i intenzitet proizvodnje.

Iz prakse privrednog razvoja poznato je da su proces investiranja i akumulacije fiksnih fondova međusobno neposredno funkcionalno ovisni o procesu proširene reprodukcije odnosno procesu privrednog razvoja. Stoga se među važne kriterije uspješnosti sistema akumulacije u privrednom sistemu ubrajaju i ostvarene stope investicija i akumulacije.

Ako je društveni proizvod vrijednosni rezultat ukupne proizvodne djelatnosti društva u određenom razdoblju, a brutoinvesticije dio društvenog proizvoda

## 2. FINANCIRANJE RAZVOJA ELEKTROPRIVREDE

Obveza elektroprivrednih organizacija jest proširenje materijalne osnove svoga rada i rada elektroenergetskog sistema povećanjem postojećih i izgradnjom novih elektroenergetskih objekata i postrojenja. Uvjetovana je općim društvenim razvojem i rastom privredne aktivnosti društva. Izgradnja elektroenergetskih objekata zahtijeva velika materijalna ulaganja koja angažiraju znatna sredstva u društvene akumulacije. Upravo zbog te činjenice, a u uvjetima ograničenih materijalnih mogućnosti društva, stalno je prisutan problem osiguranja određenog obujma i dinamike sredstava za financiranje razvoja elektroenergetskog sistema.

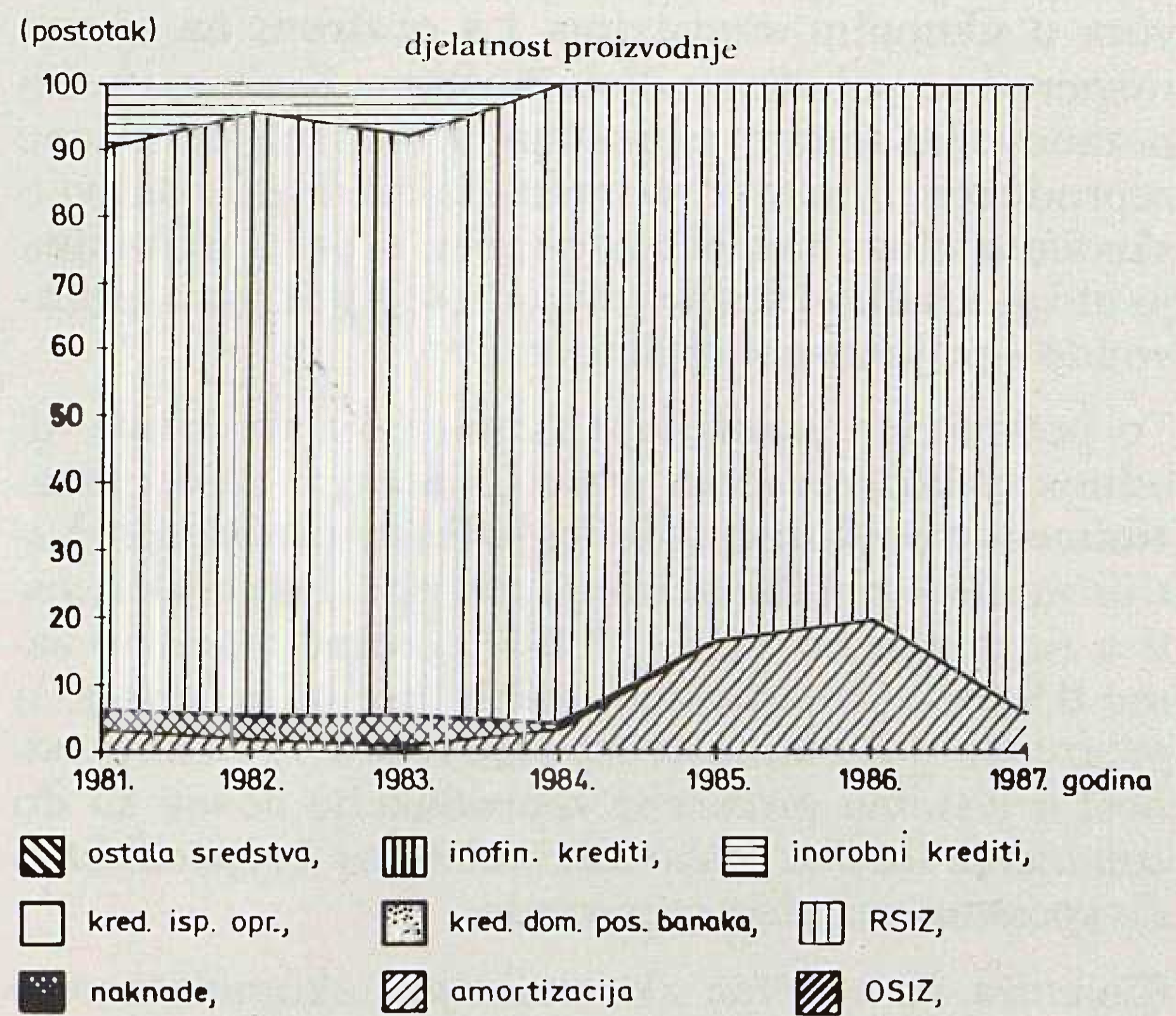
### 2.1. Struktura izvora sredstava za financiranje razvoja elektroprivrede

Pitanje strukture financijskih sredstava odnosno izvora kojima je potrebno osigurati financiranje proširene reprodukcije u elektroprivredi uvijek je pitanje velikoga ekonomskog i političkog značenja jer u biti postoje samo dva načina naknade sredstava za razvoj elektroprivrede. Prvi je cijena električne energije odnosno samofinanciranje, drugi su način eksterni izvori financijskih sredstava odnosno sredstva društvene reprodukcije. Međutim, cijena električne energije uvijek određuje, ovisno o ciljevima ekonomske politike, da li će društvo veće značenje pridati prvome ili drugom načinu prikupljanja financijskih sredstava.

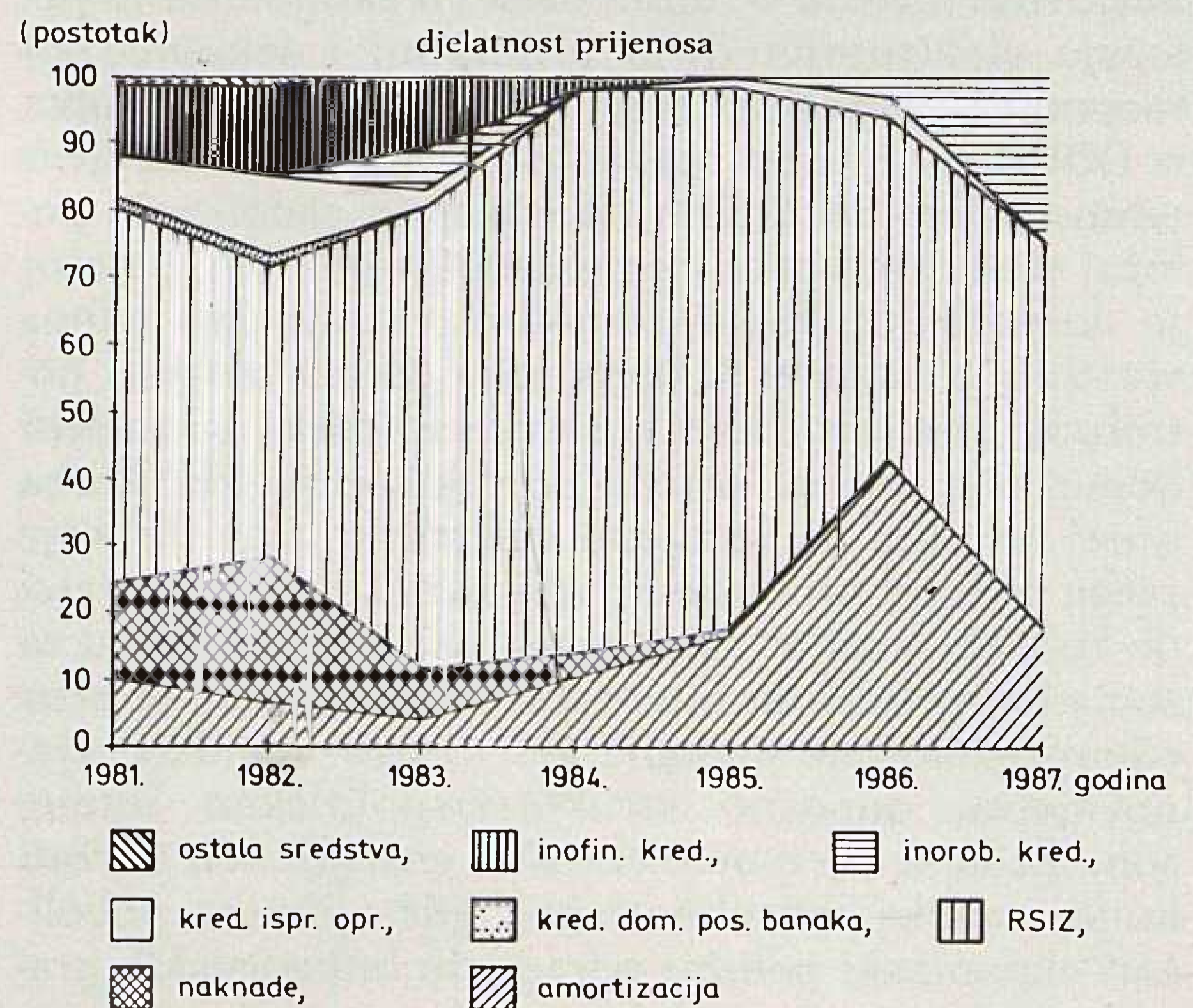
U postojećem sistemu financiranja proširene reprodukcije elektroprivrede, inauguriranom u Hrvatskoj sredinom 70-ih godina, sredstva za gradnju elektroenergetskih objekata i postrojenja predviđenih planovima razvoja osiguravaju se iz sljedećih izvora:

1. sredstava dohotka i amortizacije koja se u elektroprivrednim organizacijama obvezatno izdvajaju za proširenje materijalne osnove rada. Naime, prema društvenim dogovorima, elektroprivredne su organizacije u sklopu utvrđene cijene električne energije nakon zadovoljenja troškova jednostavne reprodukcije, bile obavezne osigurati sredstva za gradnju elektroenergetskih objekata u skladu s osnovama i mjerilima utvrđenim samoupravnim sporazumom i društvenim dogovorom o raspoređivanju dohotka odnosno na osnovi mjera utvrđenih zakonom;
2. naknada za priključke novih potrošača i povećanje angažirane snage postojećih potrošača električne energije;
3. udruživanjem dijela sredstava društvene reprodukcije na osnovi samoupravnog sporazuma odnosno zakona;
4. posebnim doprinosima potrošača električne energije;
5. kreditima banaka, inozemnim robnim i financijskim kreditima te sredstvima iz drugih izvora.

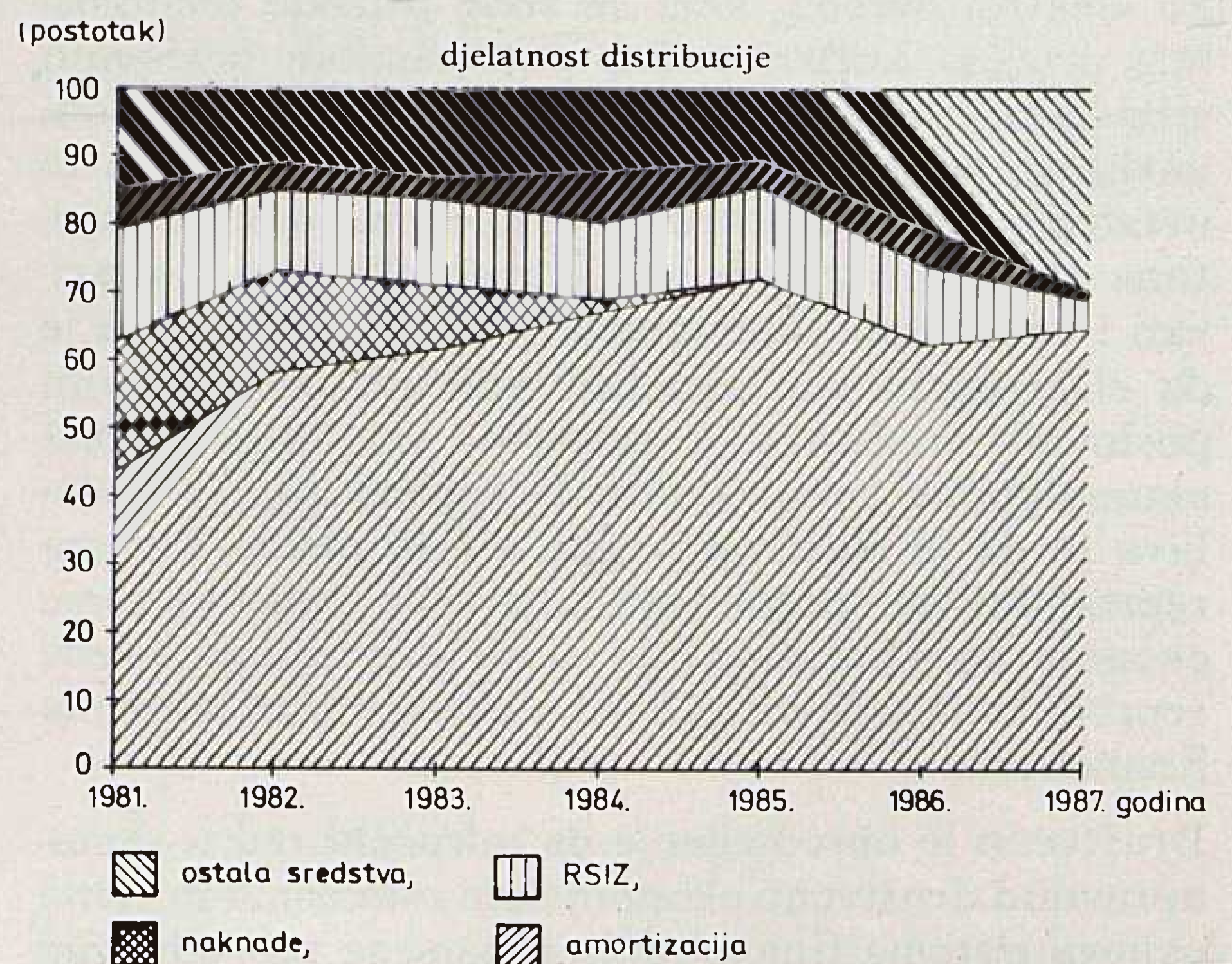
### Struktura sredstava utrošenih za financiranje razvoja elektroenergetskog sistema Hrvatske u razdoblju od 1981. do 1987. godine



Slika 6.



Slika 7.



Izvor podataka: Izvještaj o izgradnji elektroenergetskih objekata, ZEOH i RSIZ

Slika 8.

Podaci pokazuju da je takva struktura izvora sredstava za financiranje razvoja elektroprivrede Hrvatske izrazito nepovoljna s obzirom na udio pojedinog izvora u ukupnim sredstvima i s obzirom na njihov raspored po pojedinim djelatnostima. Kada je riječ o nezadovoljavajućim odnosima u sistemu proširene reprodukcije u elektroprivredi, misli se na relativno skromnu ulogu samofinanciranja, a dominantna je uloga kredita i funkcije kreditnog odnosa u proizvodno — prijenosnoj djelatnosti.

To potvrđuje i koeficijent financijske strukture, tj. odnos tuđih sredstava prema vlastitim sredstvima. Naime, on pokazuje da je na jedinicu utrošenih vlastitih sredstava u financiranju distributivne djelatnosti u razdoblju od 1981. do 1987. godine otpadalo samo 0,5 jedinica utrošenih tuđih sredstava, dok je u proizvodnoj djelatnosti taj odnos bio 1:9. Takvi odnosi u sistemu proširene reprodukcije doveli su do smanjenja ionako niske akumulativne i reproduktivne sposobnosti elektroprivrede.

Činjenica da veličina akumulacije i akumulativnost elektroprivrede, osim o stupnju učinka korištenih poslovnih sredstava, bitno ovisi i o ekonomskom položaju elektroprivrede u primarnoj i sekundarnoj raspodjeli i o politici raspoređivanja čistog dohotka u OOUR-u (interna raspodjela), a da uspostavljeni odnosi cijena na tržištu opredjeljuju ekonomski položaj elektroprivrede u primarnoj raspodjeli, u našoj je dosadašnjoj praksi samofinanciranje kao odnos vlastitih sredstava za investicije prema ukupno potrebnim investicijskim sredstvima imalo ograničeni domet u granama kao što je elektroprivreda. Treba imati na umu da je cijena električne energije prije svega rezultat proizvodnih mogućnosti elektroprivrede koje su rezultat društvenog utjecaja, a očituju se socijalno-političkim interesom, osobito kada se kroz cijenu električne energije želi zaštititi standard stanovništva, odnosno strukturno-političkim interesom, kada se cijenom električne energije želi održati konkurentna sposobnost privrede odnosno poboljšati ekonomski položaj određenih industrijskih grana.

Za elektroprivredu, koja se zbog prirode tehnološkog procesa koristi većim potencijalom poslovnih sredstava, nužna su i veća financijska sredstva za obnavljanje postojećih i izgradnju novih kapaciteta te uvođenje suvremene tehnologije. U normalnim uvjetima elektroprivredna bi djelatnost trebala ostvarivati i adekvatnu akumulaciju. Međutim, činjenica je da elektroprivreda raspolaže visokim potencijalom poslovnih sredstava, a ostvaruje vrlo nisku stopu akumulativne i reproduktivne sposobnosti. Razumljivo je da je elektroprivreda s vrlo niskom stopom reproduktivne sposobnosti u izrazito nepovoljnom ekonomskom položaju i da su financiranju proširene reprodukcije uglavnom ovisi o ekstremnim izvorima financiranja.

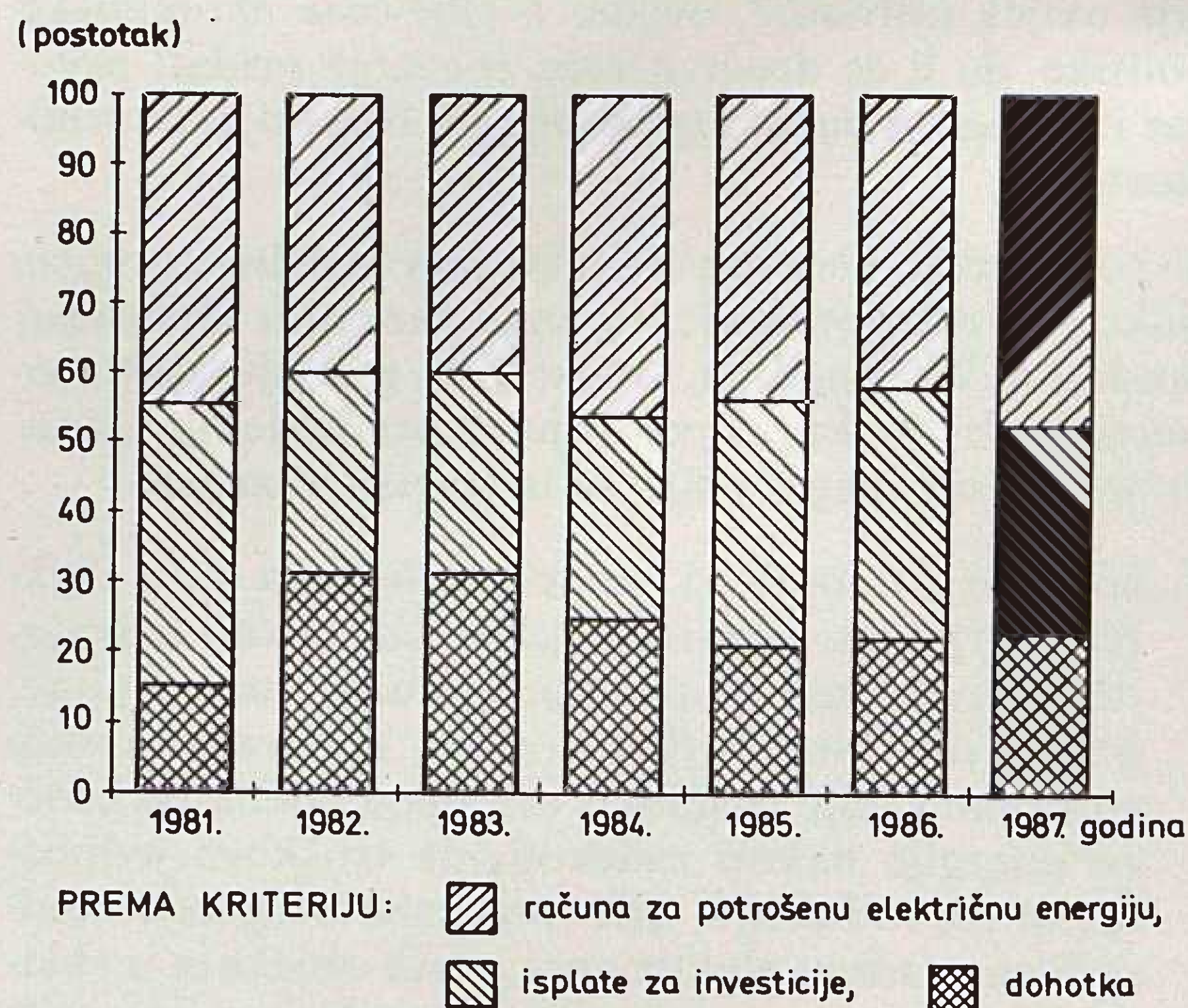
Društveno je opredjeljenje da udruženi rad u samoupravnim društveno-ekonomskim odnosima postane osnova sistema financiranja proširene reprodukcije u elektroprivredi. Međutim, udruživanje rada i sred-

stava u dosadašnjem je financiranju izgradnje elektroenergetskih objekata i postrojenja bilo relativno rijetko. Za udruživanje sredstava društvene reprodukcije od strane potrošača električne energije, koje se provodi na osnovi samoupravnog sporazuma odnosno zakona, može se reći da je to ponajprije način osiguranja i koncentracije sredstava radi financiranja izgradnje elektroenergetskih objekata i postrojenja.

Korisnici društvenih sredstava udružuju dio sredstava društvene reprodukcije na temelju sljedećih kriterija:

- 4% iznosa isplata za investicije prema samoupravnom sporazumu odnosno zakonu, ima nekoliko izuzetaka (od te opće obveze). Sredstva se izdvajaju pri svakoj isplati za investicije, i to iz sredstava iz kojih su se plaćala ta ulaganja;
- 25%, 10%, 5% iznosa računa za potrošenu električnu energiju (samoupravnim sporazumom odnosno zakonom utvrđen je postotak za pojedine grupe potrošača). Sredstva se uplaćuju istodobno s plaćanjem računa za potrošenu električnu energiju, i to iz sredstava poslovnog fonda;
- 0,552% dohotka (taj je postotak izdvajanja utvrđen samoupravnim sporazumom odnosno zakonom). Ta se sredstva udružuju iz sredstava poslovnog fonda.

**Struktura udruženih sredstava društvene reprodukcije za financiranje gradnje elektroenergetskih objekata u razdoblju od 1981. do 1987. god.**



Izvor podataka: ERC UBH Privredna banka Zagreb

**Slika 9.**

Strukturu ukupno udruženih sredstava društvene reprodukcije u promatranom razdoblju prosječno čine:

- 45,3% sredstava uplaćenih prema kriteriju potrošnje električne energije
- 32,2% sredstava uplaćenih prema kriteriju investicija
- 22,5% sredstava uplaćenih prema kriteriju dohotka.

Stoga je za mnoge aspekte analize i ocjenu funkcioniranja sistema proširene reprodukcije u elektropriv-

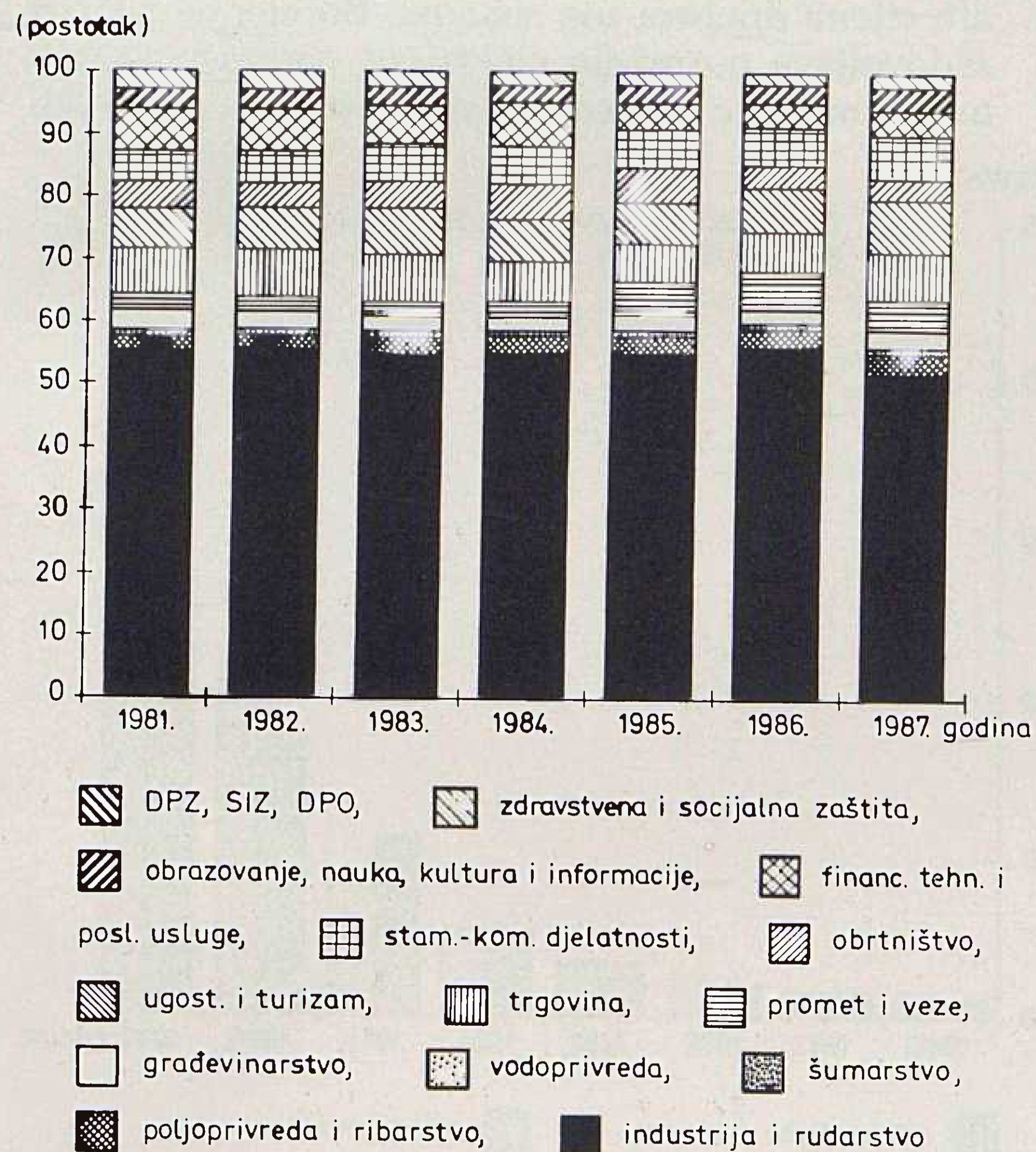
redi najvažnije razmotriti koliko koja grupa potrošača odnosno koja privredna područja, grane, skupine i podskupine svojim udruženim sredstvima pridonose financiranju razvoja elektroenergetskog sistema, naročito ako znamo da instrumenti po kojima su se sredstva udruživala nisu analizirani u primjeni još od njihova uvođenja (1972. god.), pa prema tome nisu ni mijenjani.

Očito je da je u sadašnjem razvojnom trenutku, svakako nepovoljnom, kako za privredu Hrvatske, tako i za jugoslavensku privredu uopće, posljedica tendencije smanjivanja bruto-investicija u osnovne fondove privrede bio realan pad udruženih sredstava za financiranje razvoja elektroprivrede, što se naročito očituje u industriji i rudarstvu (sl. 10). Stoga je, kada je riječ o sredstvima potrošača udruženim na osnovi isplata za investicije, funkciju financiranja razvoja elektroprivrede nužno promatrati u sklopu razvoja ukupne privrede.

Smanjenje akumulativne i reproduktivne sposobnosti organizacija udruženog rada opća je karakteristika privrednog razvoja naše zemlje u posljednjim godinama, što svakako ima i, negativan utjecaj na visinu sredstava udruženih na osnovi ostvarenog dohotka. Zato je funkcija financiranja razvoja elektroprivrede, kada je riječ o sredstvima potrošača udruženim na osnovi ostvarenog dohotka, ovisna o ekonomskom položaju pojedinoga privrednog subjekta, privredne grane odnosno područja.

Industrija i rudarstvo privredna su područja koja, pored ostaloga, karakterizira velika potrošnja električne energije. Iako u strukturi ukupne potrošnje električne energije postoje tendencija pada udjela industrijske potrošnje, ona je još uvijek najmasovnija i

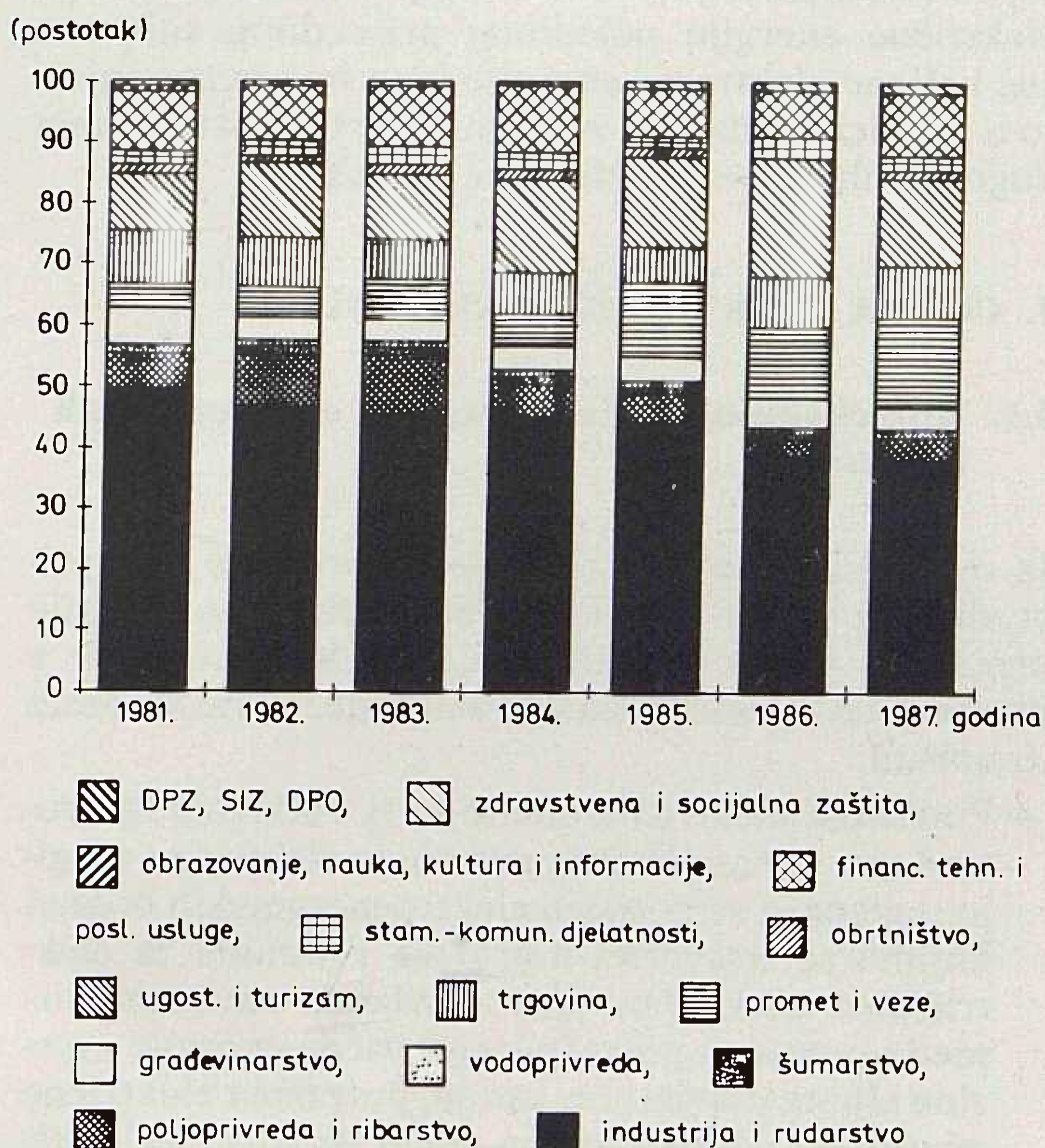
Kriterij: Račun za potrošenu električnu energiju



Slika 11.

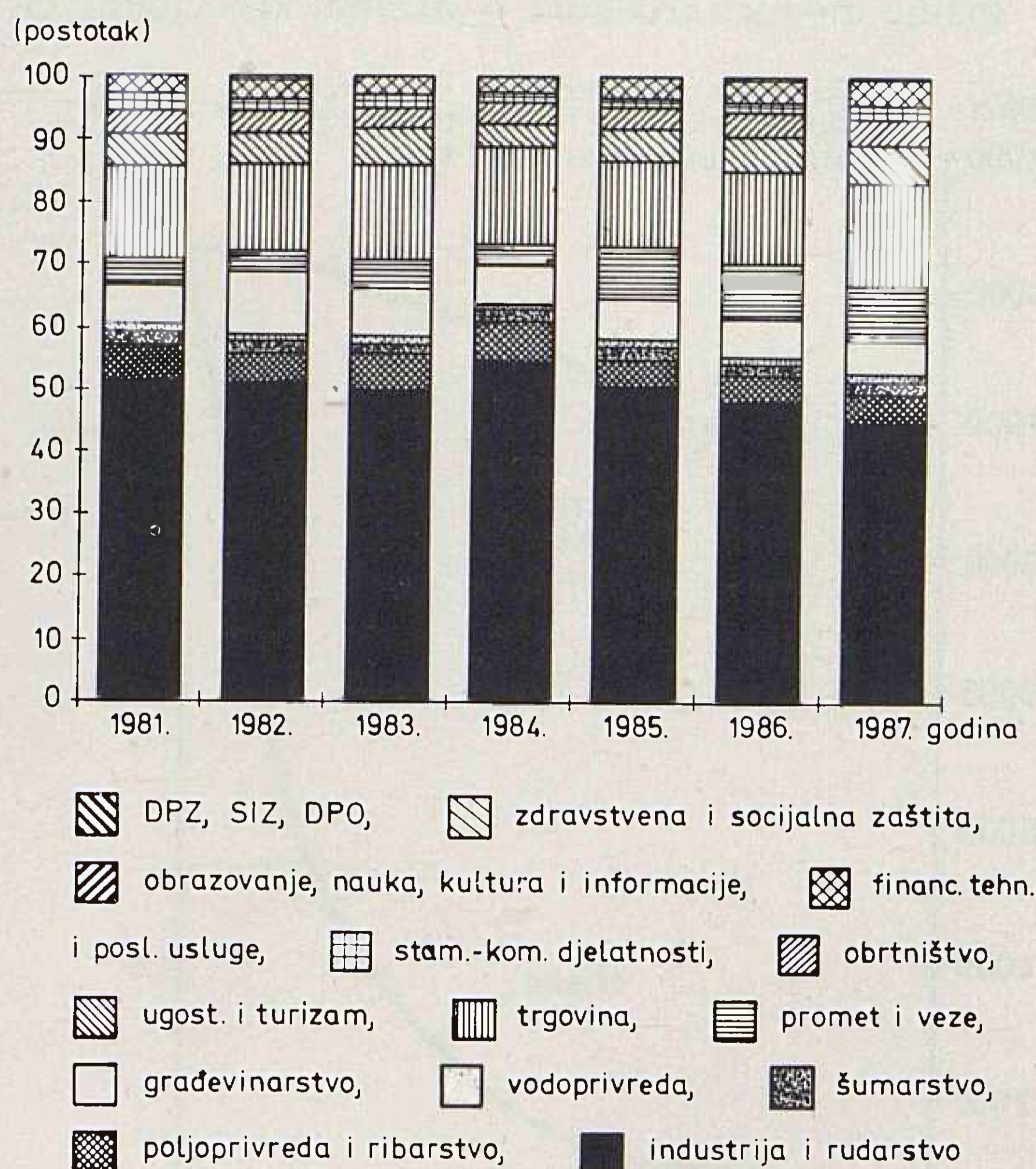
Struktura udruženih sredstava društvene reprodukcije za financiranje izgradnje elektroenergetskih objekata u razdoblju od 1981. do 1987. god. po privrednim područjima

Kriterij: Isplata za investicije



Slika 10.

Kriterij: Ostvareni dohodak



Izvor podataka: ERC UBH Privredna banka Zagreb

Slika 12.

najvažnija kategorija potrošnje, što se jasno odražava i na visinu sredstava potrošača udruženih na osnovi računa za potrošenu električnu energiju (sl. 11). Međutim, visina udruženih sredstava potrošača po toj osnovi nije isključivo u funkciji količine potrošnje električne energije pojedinog privrednog subjekta već i cijene električne energije koja ima važno mjesto u politici cijena kao važnom sredstvu ostvarivanja dugoročnih ciljeva ekonomske politike.

### 3. CIJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE

#### 3.1. Nivo cijene električne energije u elektroprivredi Hrvatske

Iz osnovnih karakteristika elektroprivrede kao privredne djelatnosti i proizvođača električne energije proistječu i neke određene njezine karakteristike s obzirom na cijenu električne energije. Ukratko ćemo ih opisati.

— Potrošnja električne energije, tj. zadovoljenje potrošnje i prognoziranje potrošnje električne energije sagledava se pomoću elektroenergetskih bilanci kojima se izravna potražnja i ponuda za električnom energijom. Uspostavljanje ravnoteže između ponude i potražnje električne energije i njezine cijene u uvjetima kad je, potražnja električne energije u odnosu prema cijeni izrazito neelastična znači problem u njezinu utvrđivanju (monopol-ska cijena). Stoga je cijena električne energije pod društvenom kontrolom i formira se u procesu društvenog dogovaranja i samoupravnog sporazuma zadovoljava potražnju električne energije uz najmanje moguće troškove u sistemu kao cjelini, ci-

Potrošnja električne energije krajnjih potrošača u elektroprivredi Hrvatske u razdoblju od 1980. do 1987. godine povećavala se po prosječnoj godišnjoj stopi od 3,3% godišnje. Prosječna se prodajna cijena u istom razdoblju povećavala po prosječnoj godišnjoj stopi od 62,6% godišnje.

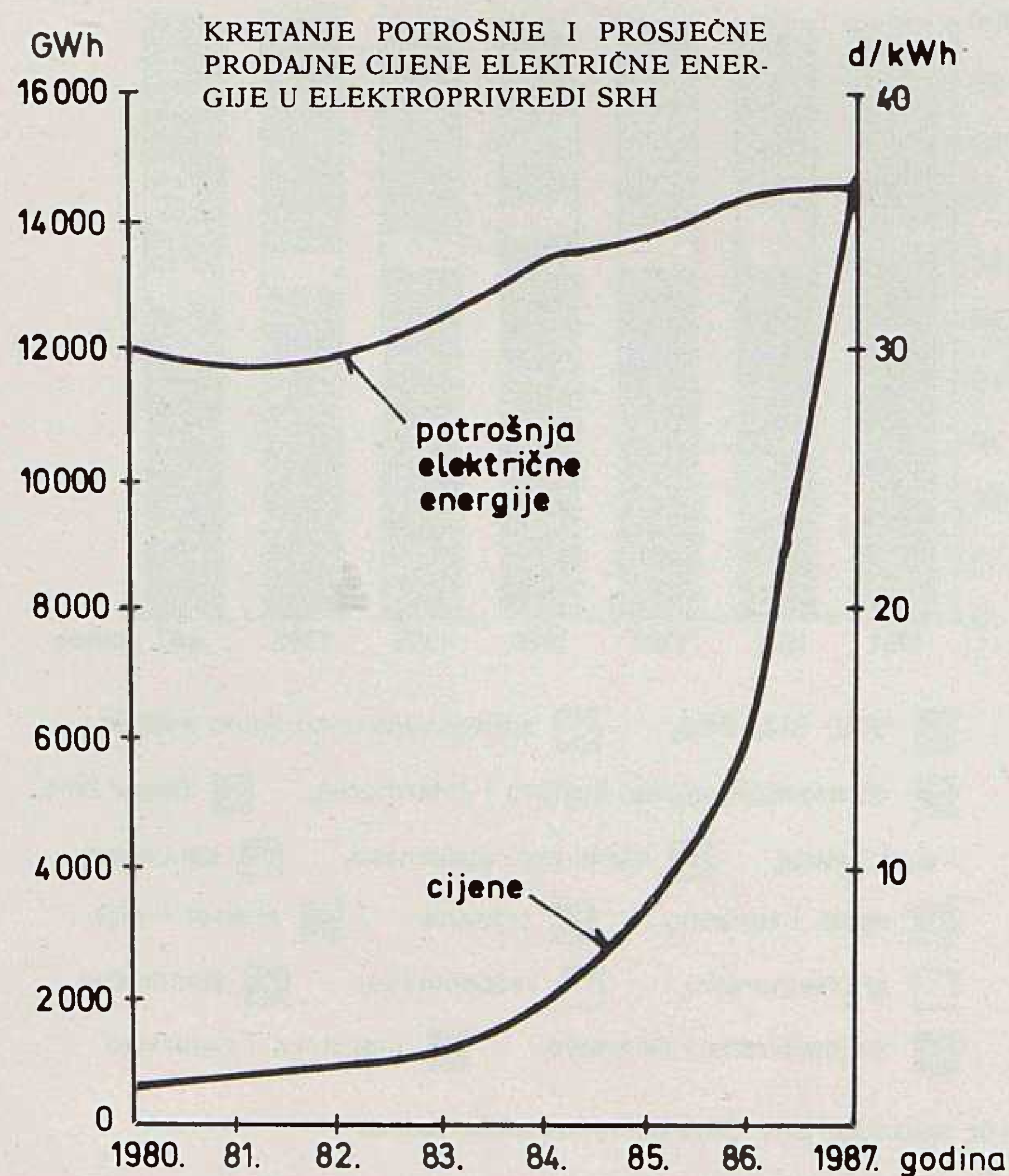
Uspješno zadovoljavanje potrošnje električne energije u doba najveće potražnje zahtijeva kontinuiranu gradnju kapaciteta. To znači da izgradnja sistema mora biti u funkciji potrošnje električne energije. Svako odstupanje izgrađenosti sistema od potrošnje električne energije izaziva negativne ekonomske efekte.

Povećanje proizvodnih kapaciteta hidroelektrana i termoelektrana u elektroprivredi SR Hrvatske od 1980. do 1987. godine iskazano u MW instalirane snage na pragu elektrana, izgleda ovako:

	MW na pragu			Prosječna godišnja stopa rasta
	1980.	1987.	Razlika	
hidroelektrane	1540,0	1899,9	359,9	3,5%
termoelektrane	1118,0	1160,0	42,0	0,6%
<b>Ukupno</b>	<b>2658,0</b>	<b>3059,9</b>	<b>401,9</b>	<b>2,4%</b>

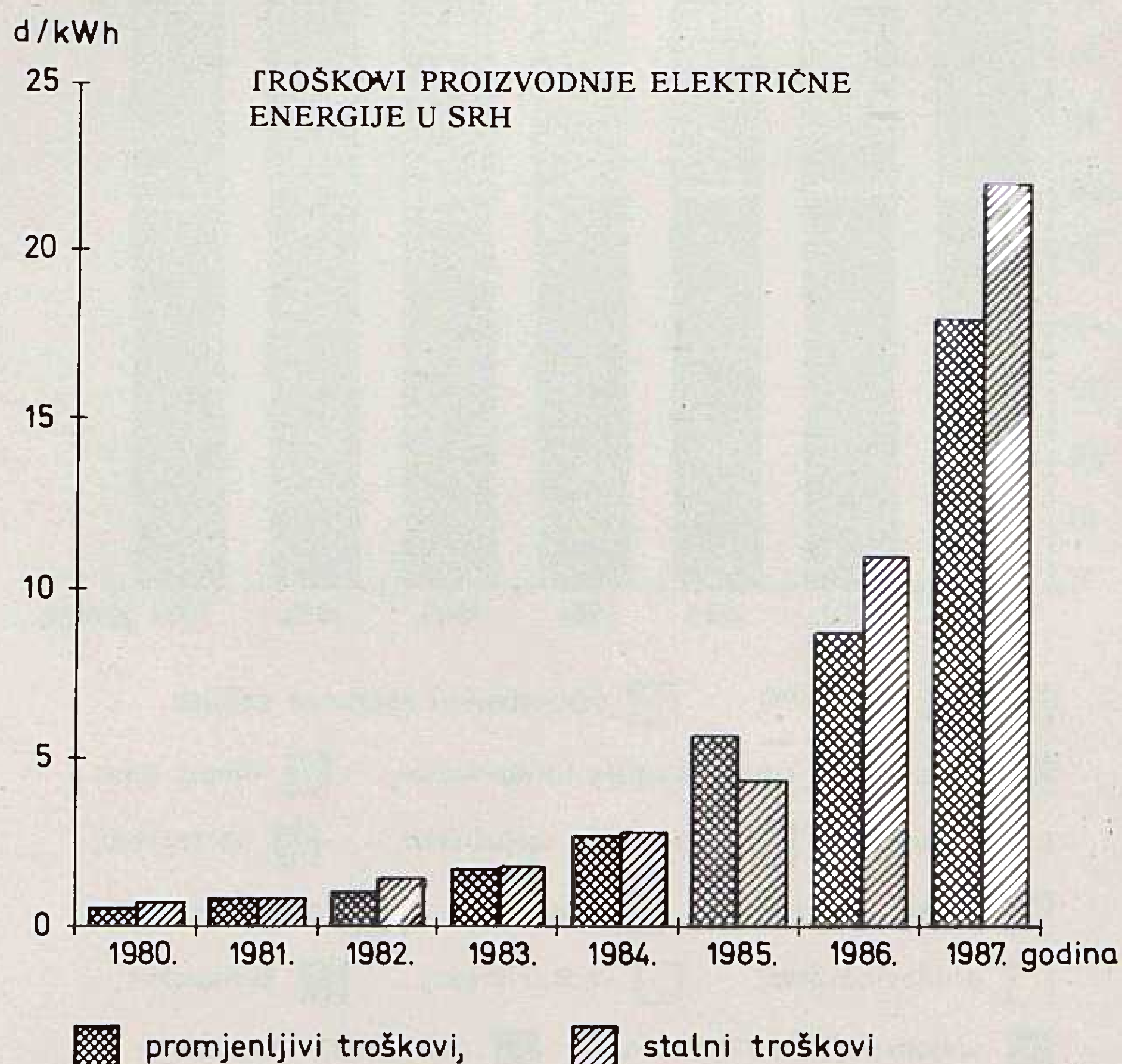
Prosječno godišnje povećanje proizvodnih kapaciteta od 2,4% niže je od prosječnog povećanja potrošnje električne energije (3,3).

— Karakteristika elektroprivrede da funkcioniše kao jedinstveni tehničko-tehnološki sistem za proizvodnju, prienos i distribuciju električne energije nametnula je potrebu utvrđivanja cijene električne energije kao jedinstvenog proizvoda tehničko-tehnološkog sistema, a ne kao zbroja pojedinačnih cijena dijelova tog sistema. Budući da sistem zadovoljava potražnju električne energije uz najmanje moguće troškove u sistemu kao cjelini, ci-



Izvor podataka: Analiza poslovanja elektroprivrede Hrvatske

Slika 13.



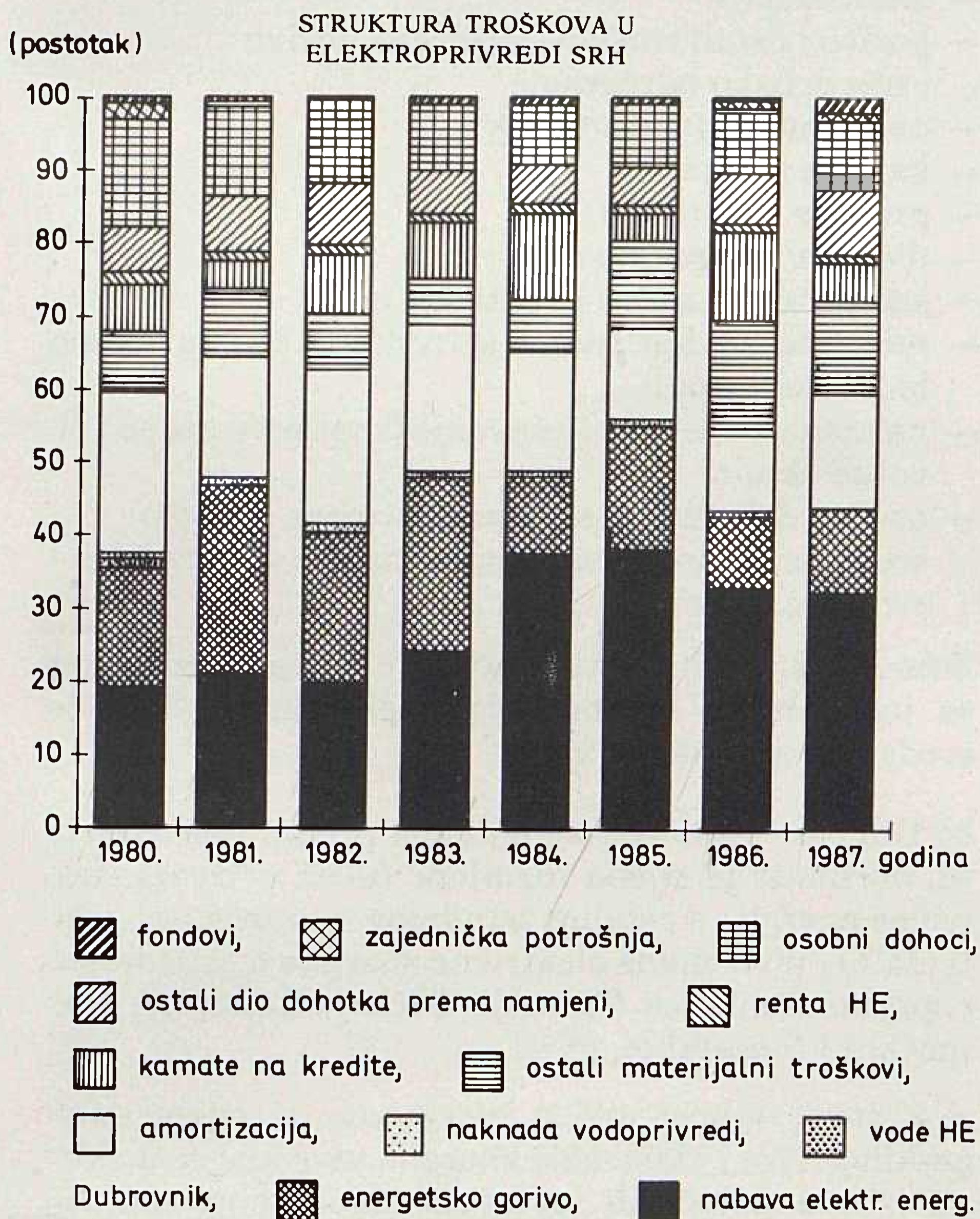
Izvor podataka: Analiza poslovanja elektroprivrede Hrvatske

Slika 14.

jena električne energije mora obuhvatiti troškove i dohodak racionalne proizvodnje električne energije ukupnoga elektroenergetskog sistema.

Ukupni troškovi proizvodnje prijenosa i distribucije električne energije po jedinici isporučene električne energije SRH od 1980. pokazani su na slici 14.

Struktura troškova proizvodnje električne energije elektroenergetskog sistema SR Hrvatske bila je sljedeća:



Izvor podataka: Analiza poslovanja elektroprivrede Hrvatske

Slika 15.

### 3.2. Način utvrđivanja cijene električne energije

#### a) Prodajna cijena električne energije

Cijena električne energije u elektroprivredi Hrvatske, prema Zakonu o elektroprivredi, utvrđuje se, na osnovi SAS-a o uređivanju međusobnih odnosa SIZ-a potrošača električne energije Hrvatske i Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske kao prosječna prodajna cijena električne energije na prijenosnoj mreži i prosječna cijena električne energije na distribucijskoj mreži, a izračunava se na osnovi kriterija i mjerila istog sporazuma za petogodišnje plansko razdoblje.

Prosječna cijena električne energije, tzv. reprodukcijaska cijena, treba da osigura troškove i dohodak jednostavne reprodukcije, uključivši i troškove nabave električne energije na prijenosnoj mreži te sredstva rezervi za pokrivanje rizika rada i poslovanja.

Reprodukcijaska cijena električne energije utvrđuje se kao jedinična cijena na osnovi elektroenergetske

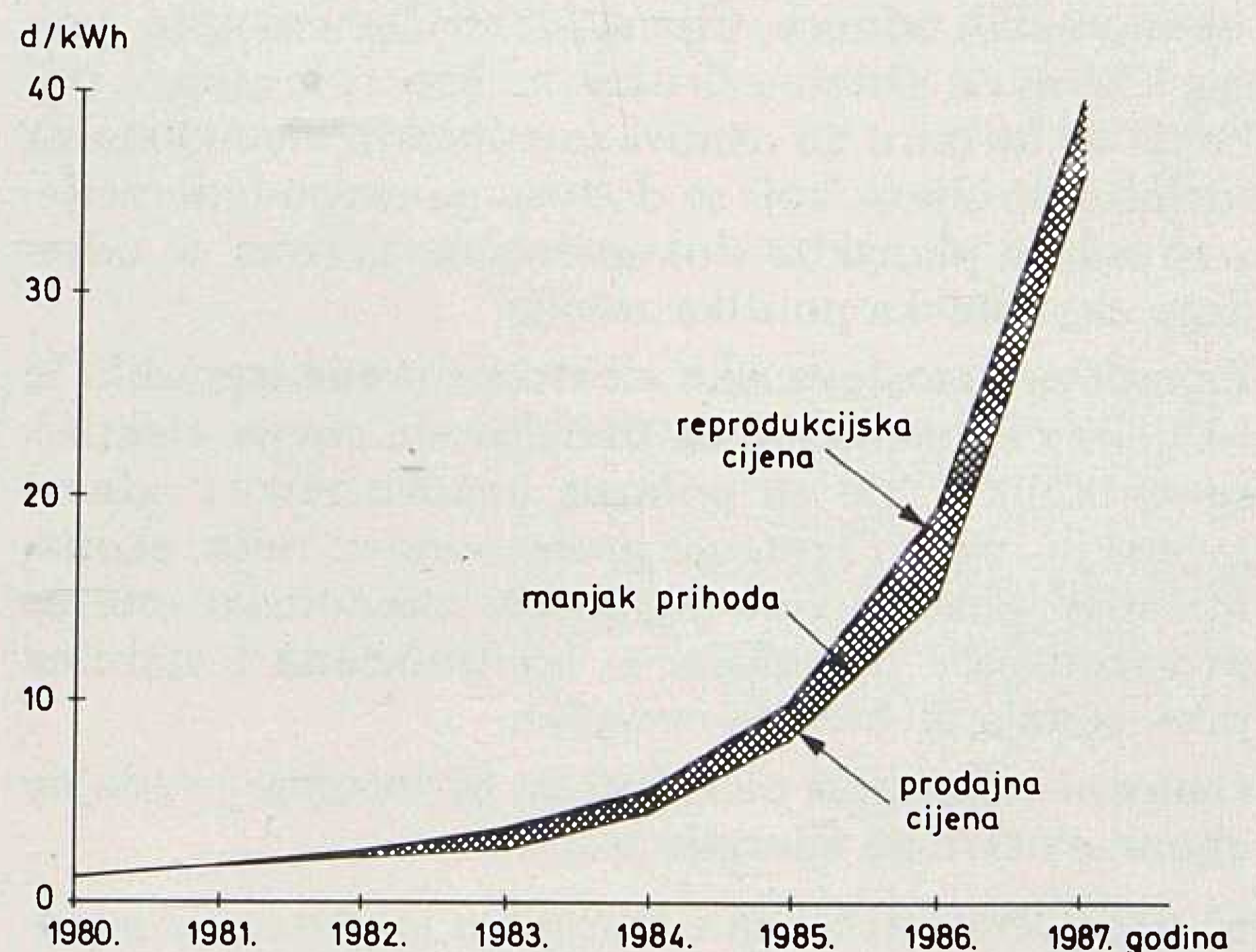
bilance i apsolutnih iznosa troškova i dohotka jednostavne reprodukcije iz prethodnog razdoblja, uz odgovarajuće korekcije elemenata troškova i dohotka čija su ostvarenja u proteklom razdoblju bila poremećena poslovanjem s manjkom ili zbog drugih razloga koji su utjecali na neprimjerena ostvarenja pojedinih elemenata troškova i dohotka elektroprivrednih organizacija. Iznimku čine oni elementi troškova i dohotka koji se izračunavaju na osnovi planskih elemenata. To su:

- troškovi nabave električne energije iz drugih elektroenergetskih sistema
- troškovi materijala za preradu
- naknada vodoprivredi
- amortizacija novih elektrana
- kamate na kredite za osnovna sredstva u proizvodnim i prijenosnim organizacijama
- hidroenergetska renta
- sredstva obaveznoga rezervnog fonda
- sredstva fonda rizika rada i poslovanja i
- dio poslovnog fonda za obavezne zajmove.

Reprodukcijaska cijena električne energije osnova je za izradu tarifnih stavova za prodaju električne energije pojedinim kategorijama potrošača. Tarifni stavovi po svim kategorijama potrošnje jednaki su za sve potrošače priključene na prijenosnu i distribucijsku mrežu.

Način i politika utvrđivanja prodajne cijene električne energije vodi raskoraku između prodajne cijene po tarifnim stavovima i reprodukcijaska cijene, što znači manjak ili višak prihoda (sl. 16).

PROSJEČNA PRODAJNA I REPRODUKCIJASKA CIJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE U ELEKTROPRIVREDI SRH



Izvor podataka: Analiza poslovanja elektroprivrede Hrvatske

Slika 16.

Prethodna slika pokazuje da prodajna cijena električne energije u elektroprivredi Hrvatske od 1980. do 1987. godine nije bila reprodukcijaska cijena električne energije koja je osiguravala pokriće troškova jednostavne reprodukcije, a kamoli sredstva za proširenu reprodukciju što bi ih normalno morala sadržavati cijena električne energije.



### b) *Interne cijene električne energije*

Interna cijena električne energije primjenjuje se za utvrđivanje udjela jedinica sistema u zajedničkom prihodu.

Interni međusobni ekonomski odnosi elektroprivrednih organizacija proizvodnje i prijenosa električne energije te radnih organizacija distribucije električne energije uspostavljeni su na načelima osiguravanja približno jednakoga ekonomskog položaja u danim materijalnim uvjetima privređivanja i ravnopravnog stjecanja dohotka svakog OOUR-a prema radu i doprinosu u stvaranju zajedničkog proizvoda i zajedničkog prihoda.

Utvrđivanje i raspoređivanje zajedničkog prihoda proizvodnje i prijenosa električne energije provodi se na osnovi postavljenih kriterija i mjerila, odnosno internih cijena učinaka koji bi morali stimulirati proizvodnost radnika, racionalnije i efikasnije korištenje sredstava i smanjenje troškova poslovanja svakog OOUR-a u sastavu radne organizacije.

Zajednički prihod distributivnih radnih organizacija uspostavljen je odredbama tarifnog sistema prema kojem su tarifni stavovi iz distributivne radne organizacije na mreži prijenosa jednaki.

### 3.3. Prijedlog za utvrđivanje cijene električne energije

Zakonske odredbe i kriteriji za formiranje cijena proizvoda i usluga određuju i cijenu kao izraz djelovanja ekonomskih zakonitosti, tj. zakonitosti tržišta u uvjetima socijalističkih samoupravnih društveno-ekonomskih odnosa. Cijena električne energije, prema Zakonu o sistemu društvene kontrole cijena, treba da se formira na osnovi zajedničkih elemenata za formiranje cijena koji se donose na nivou federacije, a utvrđuju planskim dokumentima kojima se određuje ekonomska politika zemlje.

Zajednica jugoslavenske elektroprivrede izgradila je »Zajedničke elemente za utvrđivanje cijena električne energije«, čije su polazne osnove nivo i odnosi svjetskih cijena, kretanje proizvodnosti rada, ekonomičnosti poslovanja i dugoročni ekonomski interes proizvođača i potrošača — kontinuirana i stabilna proizvodnja električne energije.

Osnovni zajednički elementi za formiranje prodajne cijene električne energije jesu:

- a) prosječno utrošena i korištena sredstva za proizvodnju na osnovi jedinstvenih standarda i normativa,
- b) odnosi i nivo svjetskih cijena,
- c) odnosi cijena energenata.

a) Prema prvom kriteriju, cijena električne energije utvrdila bi se za sve elektroprivredne djelatnosti:

- hidroelektrane
- termoelektrane na ugljen
- termoelektrane na tekuća goriva i plin
- nuklearne elektrane

- prijenosne organizacije
- distribuciju

sa stanjem dana 31. VI. 1985. god. po jedinici (kWh) proizvedene električne energije na pragu elektrana, po jedinici (kWh) prenete električne energije na pragu prijenosne organizacije i po jedinici (kWh) distribuirane električne energije na pragu distribucije.

Elementi cijene jesu:

- amortizacija
- gorivo i ostali troškovi vezani za gorivo
- investicijsko održavanje
- ostali materijalni troškovi
- kamate na kredite
- premije osiguranja
- dio dohotka prema namjeni
- sredstva za naučno-istraživački rad
- naknada za korištenje prirodnih resursa (samo hidroelektrane)
- naknada za zaštitu i očuvanje čovjekove radne i životne okoline
- osobni dohoci i zajednička potrošnja radnika
- sredstva za proširivanje materijalne osnove rada i sredstva rezervi.

Tom strukturom cijene električne energije osigurava se jednostavna reprodukcija elektroprivrede i dio sredstava za vlastiti razvoj.

b) Odnosi i nivo svjetskih cijena prema tom kriteriju, normativ je cijena razmjene (uvoz — izvoz) električne energije s ostalim zemljama u inozemnoj valuti (35%) i nivo cijena električne energije u zapadnoevropskim zemljama (Austriji, Grčkoj, Italiji, SR Njemačkoj i Švicarskoj, 65%)

c) Kriterij odnosa cijene energenata, tj. cijene energijskih goriva i električne energije utvrđuje se u sklopu izbora pojedinih vrsta energije prema njihovu materijalnom vrednovanju.

Cijena električne energije formirana na osnovi zajedničkih elemenata mjenjala bi se godišnje s izmjenom sezona, a povećavala proporcionalno porastu cijena industrijskih proizvoda. Cijena bi se mjenjala i u slučaju promjene strukture proizvodnje (novi objekti), s tim da dosegnuti nivo cijene ne bi prelazio nivo svjetske cijene »uvećan« za dio sredstava za proširivanje materijalne osnove rada.

Cijena električne energije formirana na osnovi zajedničkih elemenata polazi od jedinstvenoga tehničko-tehnološkog sistema Jugoslavije, a utvrđuje se na nivou elektroprivreda republika i autonomnih pokrajina i osnova je za izradu tarifnih stavova za prodaju električne energije pojedinim kategorijama potrošača.

Promatramo cijenu električne energije i načela njezina formiranja s teorijskog stajališta — razmatrajući koncepte tzv. normalne cijene, svjetske cijene i specifične cijene proizvodnje električne energije, ili sa stajališta zakonskog normiranja — navedena reprodukcijaska cijena i cijena formirana na osnovi zajedničkih elemenata, cijena električne energije trebala bi sadržavati:

- sredstva za pokrivanje troškova jednostavne reprodukcije
  - sredstva za proširenje materijalne osnove rada
  - sredstva za pokrivanje rizika rada i poslovanja
- tako da se respektiraju odnosi koji proistječu iz njezinih osnovnih karakteristika i iz činjenice da je i električna energija roba čiju cijenu treba formirati na načelima socijalističke robne proizvodnje.

Osnovni kriteriji formiranja cijene električne energije trebaju biti tako normirani da cijena pokrije samo društveno potrebne troškove cijelog sistema pri optimalnoj ekonomiji sistema (najniži troškovi), sa stopom akumulacije koja je u funkciji konkretno utvrđenog programa razvoja elektroprivrede na osnovi realnog porasta potrošnje električne energije.

## LITERATURA

- [1] Izvještaj o izgradnji elektroenergetskih objekata 1981 — 1987, ZŌEH I RSIZ
- [2] ERC UBH Privredna banka, Zagreb
- [3] Statistički godišnjak SFRJ, 1987.
- [4] Samoupravni sporazum o udruživanju dijela sredstava društvene reprodukcije radi financiranja izgradnje i rekonstrukcije elektroenergetskih objekata za razdoblje od 1986. do 1990. godine
- [5] Proračun prosječne prodajne cijene električne energije elektroprivrednog sistema Hrvatske za razdoblje od 1981. do 1985. godine, IE Zagreb, 1981.
- [6] Samoupravni sporazum o uređivanju međusobnih odnosa SIŽ-a potrošača električne energije Hrvatske i ZEOH-a, ZEOH, 1983.
- [7] Samoupravni sporazum o utvrđivanju i raspoređivanju zajedničkog prihoda osnovnih organizacija udruženog rada proizvodnje i prijenosa električne energije, ZEOH, 1983.
- [8] Zajednički elementi za obrazovanje cena električne energije, Jugel, 14. IV. 1988.
- [9] Analiza poslovanja elektroprivrede Hrvatske (1980 — 1987.), ZEOH

## INVESTMENTS, FINANCING AND PRICE OF ELECTRIC POWER

In the paper is described a process of reproduction that begins with investments and ends with accumulation. The extensive reproduction means accumulation that results in greater level of production. Extensive reproduction in electric power enterprises results in increased supply of electric power on the base of economic relations in investments, financing and price of electric power.

## INVESTITIONEN, FINANZIERUNG, PREIS DER ELEKTRISCHEN ENERGIE

Der Prozess der Reproduktion beginnt mit dem Verbrauch und endet mit der Bildung der Akkumulation. Die Akkumulation in der Menge die ein größeres Niveau der Erzeugung ermöglicht, ist als erweiterte Reproduktion bekannt. Die Verwirklichung des Prozesses der erweiterten Reproduktion in der Elektrowirtschaft durch den man die wachsenden Bedürfnisse nach der elektrischen Energie befriedigt, bedeutet die Wiederherstellung der ökonomisch gerechtfertigten Relationen unter den Investitionen, der Art der Finanzierung der Investitionen und des Preises der elektrischen Energie.

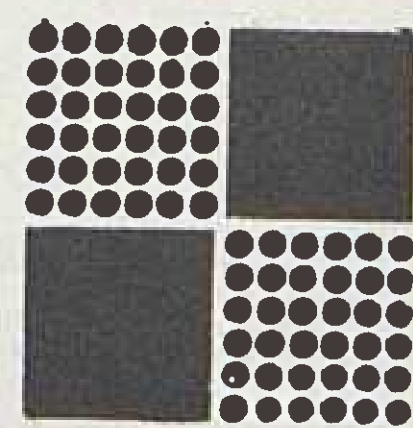
## КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЕ, ФИНАНСИРОВАНИЕ, СТОИМОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Процесс во спреизводства начинается затратами, а заканчивается образованием аккумуляции. Образование аккумуляции в количестве, делеющем возможным более бысокий уровень производства известно как расширенное воспроизводство. Осуществление процесса расширенного воспроизводства в электрохозяйстве, которым будут удовлетворены возрастающие потребности электроэнергии, значит восстановление экономически превильных соотношений капиталовложения, финансирование капиталовложений и стоимости электроэнергии.

Naslov pisaca:

**Marijan Magdić, dipl. oec.**  
**Mr. Luka Staničić, dipl. oec.**  
**Smiljana Jurišić, dipl. oec.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb,**  
**Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

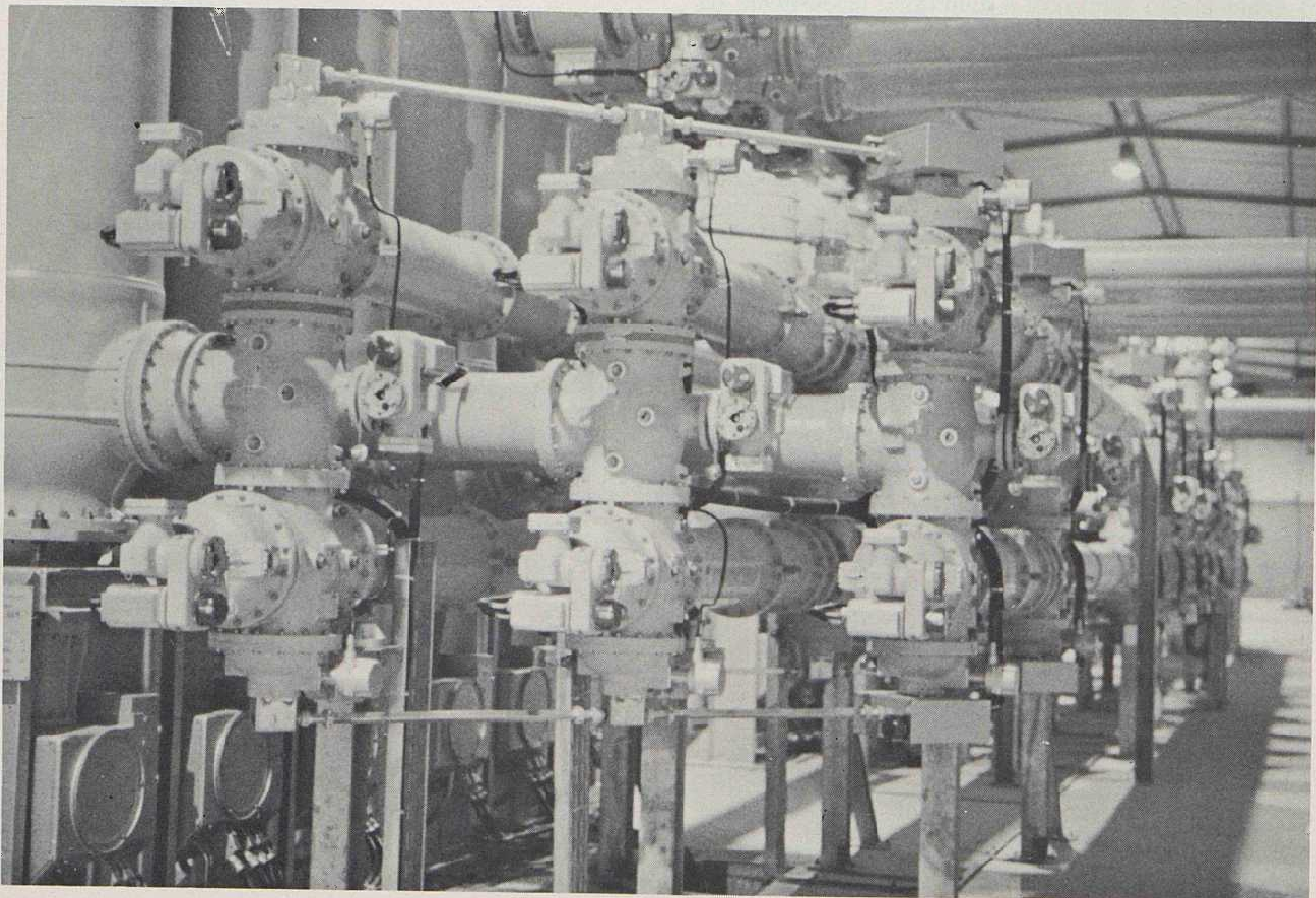
Uredništvo primilo rukopis:  
 1988 — 05 — 27



Radna organizacija za *elektromontažne radove*

ZAGREB ● Kesterčankova 1

- montaža i remont visoko i niskonaponskih postrojenja i razvodnih mreža
- montaža i remont kompletnih elektromotornih razvoda, rasklopnih postrojenja, instalacije rasvjete i uzemljenja
- montaža i remont uređaja, opreme i instalacija za automatiku, mjerenje, regulaciju
- kontrola i izrada tehničke dokumentacije za navedene djelatnosti  
Radove izvodi u zemlji i inozemstvu



# KRITIČKI OSVRT NA ULOGU STUDIJE O UTJECAJU NA OKOLINU U RJEŠAVANJU EKOLOŠKIH PROBLEMA

Dr. Niko Malbaša, Zagreb

UDK 557.4

PREGLEDNI RAD

Analiziraju se institucionalne granice rješavanja problema zaštite čovjekove okoline i smanjenja rizika za ljudsko zdravlje i život u SR Hrvatskoj. Posebno se razmatra Studija o utjecaju na okolinu kao ključni dokument pri planiranju izgradnje objekata te mogući nedostaci postupka izrade i vrednovanja Studije. Upozorava se na ekonomsku pozadinu ekoloških inicijativa i na ovisnost njihova uspjeha o općoj materijalnoj osnovi društvene zajednice te na potrebu da se sredstva namijenjena zaštiti okoline upotrijebe za ono od čega se očekuju maksimalni ekološki efekti.

**Ključne riječi:** Studija o utjecaju na okolinu, planiranje izgradnje objekata, uvjeti uređenja prostora.

## 1. UVOD

U SR Hrvatskoj, i u SRFJ-u kao cjelini, postoji dobra zakonska osnova za rješavanje ekoloških problema. Nedostaju, doduše, precizniji podzakonski akti o zaštiti zraka i u nekim drugim područjima, ali je slična situacija i u nekim drugim zemljama koje su, međutim, u praktičnom rješavanju ekoloških problema mnogo efikasnije. Kad je riječ o SR Hrvatskoj, stanje je čak mnogo bolje nego u drugim republikama.

Koncepcija smanjenja rizika za ljudsko zdravlje i život te koncepcija zaštite i unapređenja čovjekove okoline, ostvarena obavezom izrade Studije o utjecaju na okolinu (SUO) i njezine primjene u načelu je moderan i vrlo efikasan način pravilnog vrednovanja ekoloških tema u planiranju gradnje pojedinih privrednih objekata.

Ipak, rezultati nisu zadovoljavajući. Osobito veliki problemi javljaju se u pripremnim radovima za velike industrijske, infrastrukturne i energetske objekte. Umjesto da pomogne njihovu izgradnju minimizirajući nepovoljne ekološke utjecaje, ponuđena koncepcija često čini suprotno stvarajući nepremostive probleme, pa se dobivanje potrebnih uvjeta i dozvola oteže unedogled, a konačni je rezultat u ekološkom i ekonomskom smislu često negativan. Objekt košta mnogo više nego što je planirano, a smanjenje štete za okolinu je manje nego što je objektivno moguće postići s utrošenim sredstvima.

Zašto je situacija takva? Može li se promijeniti najbolje? Što valja napraviti?

Ovaj je članak pokušaj da se daju barem djelomične podloge za odgovor na ta pitanja. On je doprinos dogradnji sistema koj nije tako loš da bi ga trebalo iz temelja mijenjati, ali ni tako dobar da može ostati neizmjenjen.

Prije upuštanja u kritiku domaće prakse nužno je nešto reći o općim pretpostavkama za racionalan pristup ekološkim temama.

Nije sporno da nova tehnološka rješenja nose i rizik za ljude i njihovu okolinu. Isto tako, barem općenito gledajući, tehnološki napredak povećava ekonomsku moć društva, čime se stvaraju nužni uvjeti za smanjenje štetnih ekoloških posljedica.

Pritom se u analizama koristi i štete od nekog ekološkog poremećaja mogu uočiti tri specifična polazišta.

Prvo mišljenje polazi od toga da je svaki poremećaj u okolini izazvan ljudskom aktivnošću a priori štetan, jer mijenja ravnotežu u prirodi. Takav stav, makar u osnovi ispravan, vrlo je konzervativan je ne uzima u obzir činjenicu da je ljudska aktivnost (djelatnost) osnova ljudske materijalne i duhovne egzistencije te da je i čovjek sa svojim djelovanjem također dio ekološkog sistema.

Drugi pristup zahtijeva izbjegavanje štetnih utjecaja na okolinu, a dopušta ili čak i podržava različite korisne aktivnosti, neovisno o poremećajima koji se time u okolinu unose. Taj je stav u osnovi pragmatičan, polazi isključivo sa stajališta čovjeka, makar je često vrlo teško povući granicu između korisnoga i štetnog poremećaja. Vrlo je čest subjektivizam u ocjenjivanju, posebno ako proces donošenja ocjene iziđe izvan stručnih granica i postane dio aktivnosti javnosti.

Treće stajalište u osnovi polazi od prvoga, ali s bitnom razlikom što prihvaća ekološke poremećaje kao nužnost ekonomskoga i privrednog razvoja koji je osnova društvenog razvoja općenito. Privredni i ekonomski razvoj istodobno se smatra nužnim predujetom u kompleksnom pristupu problemu zaštite okoline. Bitna osobina tog pristupa jest neodvojivost i uzajamna povezanost ekonomskih i ekoloških parametara. Svaka aktivnost u okolini ima određene po-

sljedice («ekološku cijenu»), koje se mogu smanjiti samo uz dodatne troškove. Zadatak je nadležne društvene zajednice da propiše u svako doba optimalan odnos između ekoloških šteta i ekonomskih posljedica.

Posljednji se pristup čini najprihvatljivijim. Naime, može se dokazati da je provedivost neke ekološke inicijative bitno, mada ne isključivo ovisna o ekonomskoj bazi društva i njegovu ukupnom razvoju. Naime, svako je društvo u svom razvoju prolazilo, prolazi ili će prolaziti, usporeno ili ubrzano, kroz slične faze koje se razlikuju po osnovnim osobinama u tretiranju općih ekoloških tema pri donošenju društvenih planova razvoja. To su uglavnom sljedeće faze:

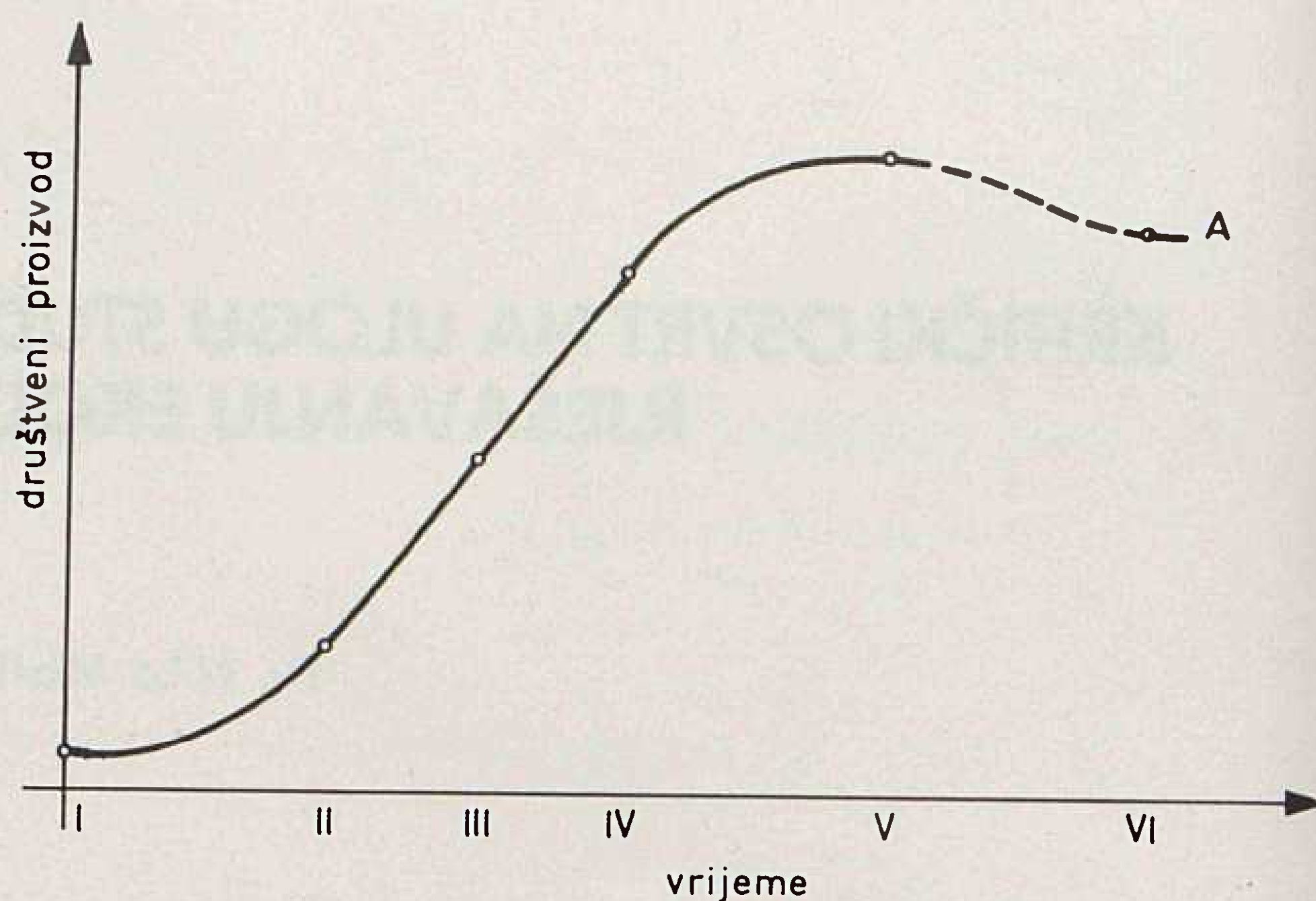
- ignorira se utjecaj na okolinu i bira ekonomski najpovoljnija varijanta,
- optimalna je ona varijanta s najmanjim negativnim utjecajem na okolinu u sklopu ustanovljenog minimuma ekonomske rentabilnosti,
- osnovni kriterij za određivanje optimalnog plana jest potreba da njegova društvena korist bude barem tolika koliki je i negativan utjecaj na okolinu,
- optimalna je varijanta ona s najmanjim troškovima u granicama ustanovljenih, strogih ekoloških ograničenja,
- ignorira se ekonomska cijena i bira varijanta s najmanjim ekološkim posljedicama.

Pristup a) karakterističan je za predindustrijsko društvo odnosno za početnu fazu industrijalizacije. Pristupi b), c) i d) u sadašnje su vrijeme realni za najveći broj zemlja. Pritom je pristup b) karakterističan za industrijsko društvo u razvoju i uglavnom je primjeren zemljama u razvoju, a pristup d) karakterističan je za industrijski razvijene zemlje i označuje prijelaz u postindustrijsko društvo. Pristup e) je osobina postmodernog društva u kojemu su ekološke teme postale toliko dominantne da su zakočile svaki dalji razvoj jer su marginalni troškovi rasta već toliko visoki da svako dalje povećanje korisnoga društvenog proizvoda vodi probijanju globalnih ekoloških limita.

Može se opravdano pretpostaviti da su pristupi od a) do e) kompatibilni s osnovnim fazama razvoja modernoga industrijskog društva koje se obično prikazuje tzv. logističkom krivuljom (sl. 1).

Pritom faza a) odgovara ubrzanome ekonomskom rastu, stopa rasta se s vremenom povećava i doseže maksimalne vrijednosti. Faza b) odgovara prijelaznom razdoblju prema razvijenom industrijskom društvu, stope rasta su vrlo visoke i stabilne. Faza c) označava period kada stope rasta polako počinju padati, faza d) prijelaz prema postindustrijskom društvu, a faza e) odgovara postindustrijskom društvu u kojemu su stope rasta minimalne ili jednake nuli («nulti ekonomski rast»), jer ne postoje pozitivni motivi ni ekološke mogućnosti za dalji rast.

Iako logistička krivulja kao osnovni model za potrošnju resursa odnosno novostvorenu vrijednost uglavnom nije sporna, razilaženja nastaju u interpretaciji njezine vremenske dimenzije.



- I — početak ubrzanoga rasta
- II — kraj ubrzanoga rasta — početak prijelaznog razdoblja
- III — početak usporavanja
- IV — kraj prijelaznog razdoblja
- V — gornja granica rasta
- VI — optimalno ravnotežno stanje

Slika 1. Krivulja rasta industrijskog društva

Jedni vjeruju da će kontinuirani znanstveni i tehnološki razvoj, potpomognut zakonima tržišne privrede, uz adekvatno podizanje ekološke svijesti omogućiti, s jedne strane, odgađanje fizičkih granica rasta odnosno postepeno prilagođavanje tim granicama za duži period. Nasuprto tome, drugi tvrde da je situacija mnogo ozbiljnija nego što većina to želi priznati, da su ograničenja u znanstvenoj i tehnološkoj sferi (odnosno mogućnost primjene znanstvenih i tehnoloških izuma u rješavanju tekućih problema) već nastala, te da su se mehanizmi tržišta i slični regulatorni mehanizmi već pokazali problematičnima. Ne ulazeći u te rasprave, kao ni u njihovu filozofsku, sociološku, ekonomsku i političku pozadinu, nameću se sljedeći zaključci:

- većina razvijenih zemalja već je ušla u period u kojemu se znatan dio dohotka mora odvajati za smanjivanje onečišćenja okoline i očuvanje prirodnih resursa. Približava se, generalno gledajući, doba kad će biti potrebno više novca, energije i društvenog rada da bi se dobila jednaka ili čak manja količina korisnog proizvoda. Nadalje, svako novo tehnološko rješenje zahtijeva dodatne resurse, proizvodi nova onečišćenja i troši dodatnu energiju. Tako je svaki dodatni privredni rast opterećen sa sve više neproduktivnih kontrolnih mjera;
- sve zemlje, jamačno, neće jednako ili bar ne u isto vrijeme osjetiti taj problem. Najprije će biti pogođene uglavnom razvijene zemlje odnosno one koje najprije prijeđu točku IV na krivulji A (sl. 1). Odgoditi dolazak u stanje V, koje je krajnje nepoželjno, iako izgleda neizbježno, moguće je na tri načina:
  - novim tehnološkim rješenjima,
  - prebacivanjem kompletnih industrijskih grana u manje razvijena područja odnosno u zemlje koje su u svom razvoju negdje u području II–III, uz maksimalno iskorištavanje njihovih

- prirodnih resursa i maksimalnu naplatu svog znanja i tehnoloških inovacija,
- c) pojačanom kupnjom prirodnih resursa (naročito onih koji su bitni za najmodernija tehnološka rješenja) iz zemalja koje zbog nižega tehnološkog razvoja i ekonomske ovisnosti još ne mogu optimalno koristiti takve resurse;
3. akcijama iz točke 2. tehnološki najrazvijenije zemlje pokušat će i vjerojatno uspjeti odgoditi svoj dolazak u točku zasićenja i ubrzati isti postupak u drugim zemljama, ali na nižoj tehnološkoj razini. Takav nepovoljan rasplet izazvat će, vrlo vjerojatno, i socijalna i politička previranja i promjene ne samo između pojedinih zemalja, nego i u njima zato što približavanje točki zasićenja vodi do neizbježne potrebe za rekonstrukcijom i promjenom mnogih tradicionalnih vrijednosti. Gdje će konačno biti ravnotežno stanje VI, ovisi o rezultatima tih promjena i njihovoj uspješnosti;
  4. zemlje u razvoju i nerazvijene zemlje mogu taj, za njih nepovoljan, trend donekle ublažiti samo:
    - a) čuvanjem i racionalnim trošenjem strateških resursa (vode, terena, vrijednih minerala, energetskih oblika),
    - b) ubrzanim stvaranjem uvjeta za tehnološki napredak (razvijanje vlastitih i uspješno kopiranje stranih tehnoloških dostignuća),
    - c) optimalnim ulaganjem sredstava u zaštitu okoline pazeći pritom na svoje ekonomske mogućnosti.
 Nažalost, prilike u nerazvijenim zemljama, pa čak i u većini zemalja u razvoju, upravo su obrnute. Stateški se resursi neracionalno troše i, štoviše, maksimalno izvoze. Udio vlastite tehnologije se smanjuje a sredstva za zaštitu i unapređenje okoline i prirodnih resursa nedovoljna su i često se neracionalno troše;
  5. ako se promatra samo potrošnja energije, može se konstatirati da će se ona po jedinici korisnog proizvoda zbog tehnoloških inovacija smanjivati a istodobno će zbog porasta marginalnih troškova rasta, uvjetovanih, između ostaloga, i sve većim ulaganjima u zaštitu okoline, rasti. Krajnji je ishod uglavnom nepovoljan, pa je u duljem periodu rast potrošnje energije uvijek viši od rasta korisnog proizvoda. Rast potrošnje energije nastavlja se i pri »nultom« rastu korisnog proizvoda jer tehnološka razina ne raste nego, štoviše, čak pada. Nadalje, povećanje tehnološkog stupnja vodi sve većem udjelu električne energije u ukupnoj potrošnji energije, pa je stoga rast potrošnje električne energije uvijek veći od rasta potrošnje ukupne energije.

Takav dulji uvod nužan je kao opći okvir za analizu prilika u našoj zemlji koja je predočena analizom samo jednog segmenta, analizom SUO-a i njezina utjecaja na optimalnu upotrebu energetskih resursa i minimizaciju troškova za zaštitu okoline.

Prije određivanja ekoloških kriterija nužno je, dakle, napraviti detaljnu analizu mogućnosti društvene zajednice da plati određenu cijenu za smanjenje štet-

nih poremećaja u okolini. Ta cijena ne smije biti tako visoka da postane kočnicom daljega privrednog rasta, ali ni preniska da ekološki poremećaji postanu kočnica tog istog razvoja. Pritom je potrebno ispravno usmjeriti raspoloživa sredstva u područja na kojima će se postići najveći pozitivni efekti. To treba da bude osnovni putokaz za planiranje razvoja privrede u cjelini. Pri takvom se pristupu glavni problemi svode na izbor kriterija koje treba primijeniti u alokaciji raspoloživih sredstava za zaštitu i unapređenje čovjekove sredine i metoda koje pritom valja primijeniti. Uzrok gotovo svih problema jest činjenica da je za donošenje ispravnih odluka neizbježna usporedba različitih tipova rizika odnosno šteta za okolinu, a to je moguće samo ako su oni iskazani istim fizičkim jedinicama i, također, ako se tim jedinicama može prijelimiti odgovarajuća cijena. Međutim, budući da većina parametara u takvoj analizi, npr. ljudsko zdravlje ili život, estetske vrijednosti, prirodne ljepote i sl., obično nisu predmet kupovine ili prodaje na tržištu, krajnji je rezultat uglavnom neprincipijelan i subjektivan, a metode koje se u takvim slučajevima primjenjuju često su problematične.

Čini se da je mnogo praktičnije i etički prihvatljivije u takvim situacijama tražiti odgovor na ovakvo pitanje: Kolika je društveno opravdana protuvrijednost jediničnog utjecaja na okolinu? Ako je npr. utjecajni parametar imisija  $SO_2$ , pitanje se može konkretizirati: Koliko je određena društvena zajednica spremna platiti za jedinično sniženje imisije  $SO_2$ ? Ako je u igri više, npr. N parametara, nužni su i odgovori na  $N-1$  pitanja sljedećeg tipa: Koji je odnos važnosti između jediničnog sniženja vrijednosti parametara  $N_i$  i isto takvog sniženja vrijednosti parametara  $N_j$ ? Ako su npr. utjecajni parametri sadržaj lebdećih čestica u zraku i veličina BPK-5 u vodotoku, pitanje  $N_{ij}$  glasi: Koliko je za određenu društvenu zajednicu korisnije (produktivnije, racionalnije) sniziti sadržaj lebdećih čestica u zraku za jedinični iznos od isto takvoga sniženja sadržaj BPK-5 u obližnjem vodotoku?

Odgovori na takva pitanja nisu lagani. Zadatak je SUO-a da ponudi barem glavne odgovore na slična pitanja, te da svaki pojedini objekt uskladi s općim ciljevima postavljenim u danome društveno-ekonomskom sistemu na određenom stupnju njegova razvoja.

## 2. OSNOVE ZA RJEŠAVANJE EKOLOŠKIH PROBLEMA U SFRJ i SRH

Neposredno nakon rata bilo je nužno obnoviti zemlju i zapuštene resurse te razviti potrebnu infrastrukturu. U takvim prilikama, koje dominiraju i u svjetskim ili, barem, evropskim razmjerima, ekološkim temama nije pridana velika pažnja. Na krivulji sa slike 1. vidi se da su čak i najrazvijenije zemlje bile pozicionirane u području I–II, dakle u području koje karakterizira brz rast u uvjetima kad ekološki kriteriji praktički ne postoje, a budućnost se uglavnom bazira na viziji temeljenoj na izobilju svih energetskih oblika, minerala, obradive zemlje, kvalitetne vo-

de i drugih prirodnih resursa. Čemu voditi brigu o nečemu čega ima u neograničenim količinama? Međutim, takav, u osnovi krajnje liberalistički odnos prema prirodnim resursima nije dugo potrajao iako su, barem u nas, neki osnovni stavovi iz tog doba još prisutni u široj javnosti. Već početkom šezdesetih godina pojavili su se prvi problemi vezani za onečišćenje okoline i neracionalno iskorištenje prirodnih resursa, pa u Ustavu iz 1963, u čl. 20. piše sljedeće:

»Zemlja je dobro od općeg interesa.

Svako zemljište mora se iskorištavati u skladu s općim uvjetima što ih predviđa zakon, kojim se osigurava racionalno iskorištavanje zemljišta i drugi opći interesi.

Šume i šumsko zemljište uživaju osobitu zaštitu što je određuje zakon.«

Godine 1965. donesen je i niz osnovnih zakona (o zaštiti zraka, zaštiti spomenika kulture, iskorištavanju poljoprivrednog zemljišta, o šumama, vodama, morskom ribarstvu itd.) koji, nažalost, uglavnom nisu praćeni adekvatnom podzakonskom regulativom. K tome, problemi tog tipa postepeno prelaze u jurisdikciju republika i pokrajina, pa se dalje neujednačeno razvijaju.

Potkraj šezdesetih i početkom sedamdesetih godina industrijski razvijene zemlje već počinju naglo osjećati terete dotadašnje niske ekološke svijesti. One su tada (sl. 1) već bile prešle točku II. Rast je stabiliziran, mijenjaju se ekološki kriteriji, a opća se situacija prenosi i na zemlje u razvoju. Konferencija Ujedinjenih naroda u Stockholmu, u cijelosti posvećena ljudskoj okolini, te razne druge rasprave na različitim razinama (npr. publikacija »Granice rasta« — Rimskog kluba) i s različitim pretenzijama, kao, uostalom, i tzv. naftna kriza iz 1973, pokazali su da je o prirodnim resursima i o ekološkim problemima potrebno brinuti više nego dotada.

Naš Ustav iz 1974. u tome je napravio veliki korak naprijed. Neke formulacije iz njega zaslužuju da ih se citira:

Osnovna načela V, stav 6:

»Radi zaštite i unapređivanja čovjekove okoline, radni ljudi i građani, organizacije udruženog rada, druge samoupravne organizacije i zajednice te socijalističko društvo osiguravaju uvjete za očuvanje i unapređivanje prirodnih i drugih vrijednosti čovjekove okoline koje su važne za zdrav, siguran i djelotvoran život te rad sadašnjih i budućih naraštaja.«

Član 85.

»Zemljište, šume, vode, vodotoci, more i morska obala, rudna blaga i druga prirodna bogatstva, dobra u općoj upotrebi te nekretnine i druge stvari od posebnog kulturnog i povijesnog značenja uživaju, kao dobra od općeg interesa, posebnu zaštitu i koriste se pod uvjetima i na način koji su propisani zakonom.«

Član 87.

»Radni ljudi i građani, organizacije udruženog rada, društveno-političke zajednice... imaju pravo i dužnost da osiguravaju uvjete za očuvanje i razvoj prirodnih i radom stvorenih vrijednosti čovjekove okoline te da sprečavaju i otklanjaju štetne posljedice,

koje zagađivanjem zraka, tla, vode, vodotoka i mora, bukom ili na drugi način ugrožavaju te vrijednosti ili dovode u opasnost život i zdravlje ljudi.«

Član 192.

»Čovjek ima pravo na zdravu životnu okolinu. Društvena zajednica osigurava uvjete za ostvarivanje tog prava.«

Time je na najvišoj razini inauguriran prelazak točke II na slici 1, ali, nažalost, unatoč nizu zakona donesениh u proteklom periodu, u praksi se smjernice iz Ustava još nisu realizirale.

Tako je u razdoblju 1974–1980. doneseno mnogo saveznih i republičkih zakona i podzakonskih akata, a dopunjeni su i mnogi stari dokumenti. Između ostalog, u SRH su doneseni: Rezolucija o zaštiti čovjekove sredine, Zakon o vodama, Zakon o šumama, Zakon o lovstvu, Zakon o prostornom planiranju i korištenju građevinskog zemljišta, Pravilnik o katastru ribolovnih područja, Zakon o zaštiti prirode, Zakon o izgradnji objekata, savezni Zakon o zaštiti od ionizirajućih zračenja i pripadnih 9 pravilnika te niz drugih uredbi, odluka i sl.

Kršenje zakona o zaštiti i unapređenju čovjekove okoline podliježe i krivičnom gonjenju (čl. 169 Krivičnog zakona SRH).

Konačno, potkraj 1980. god. donesen je i Zakon o prostornom planiranju i uređenju prostora (ZPP), koji propisuje izradu SUO-a za »objekte čijim bi se građenjem, upotrebom i tehnologijom rada mogle narušiti vrijednosti čovjekove okoline ili koji bi nepovoljno djelovao na razvoj drugih djelatnosti, odnosno na zdravlje ljudi kao i na objekte određene posebnim propisima...« Bile su potrebne još gotovo četiri godine da se donese Pravilnik o izradi studije o utjecaju na okolinu (PSUO) (Nar. novine SRH 31/1984) u kojemu se detaljnije razrađuju zahtjevi iz ZPP-a. Bilo je, dakle, potrebno 10 godina da se zahtjevi Ustava i formalno razrade.

### 3. STUDIJA O UTJECAJU NA OKOLINU (DOMETI, OGRANIČENJA I PRIMJENA U PRAKSI)

Nagli porast zanimanja za ekološke probleme u svijetu posebno za one koji se odnose na onečišćenje okoline i očuvanje prirodnih resursa, ima, besumnje, osnovu u američkom zakonu poznatom pod skraćenim nazivom NEPA (National Environmental Policy Act), koji je donesen 1. 1. 1970. god. i za nekoliko godina uzrokovao naglu ekspanziju vrlo konzistentne prateće regulative. Osnovni dokument postaje Prikaz utjecaja na okolinu (Environmental Impact Statement) koji ovlaštene agencije izrađuju za potrebe javne rasprave na osnovi Izvještaja o okolini (Environmental Report) što je napravio zainteresirani investitor. Do kraja 1974. u SAD je napravljeno oko 6000 dokumenata a istodobno se utjecaj NEPA-e širio i u druge zemlje posredovanjem zajedničkih poslova. Nakon toga se u manjem ili većem opsegu proširio na gotovo cijeli svijet, pa nije mogao mimoći ni našu zemlju. U tom je smislu ZPP zapravo domaći NEPA, bez obzira na sve razlike, o čemu će se još pisati.

PSUO je prva razrada ZPP-a. On predviđa izradu SUO-a u dvije faze (prethodnoj i konačnoj), što je adekvatno američkom DES-u odnosno FES-u (Draft Environmental Statement, Final Environmental Statement). Dalja razrada PSUO-a u obliku standardnog formata za različite vrste objekata u nas nije još napravljena, osim djelomično, za nuklearne elektrane, pa pitanja vezana za kompletnost SUO-a opterećuju postupak dobivanja tzv. Uvjeta uređenja prostora (UUP), što je krajnji cilj svakog investitora.

Za objekte važne za republiku (Nar. nov. 45/82) nadležni je organ Republički komitet za građevinarstvo, stambene i komunalne poslove i zaštitu čovjekove okoline, koji na temelju rezultata SUO-a izdaje UUP. Uvjeti uređenja prostora određuju se prostornim planovima (čl. 7. ZPP-a), a njih donose društveno-političke zajednice. Za objekte republičkog značenja mjerodavan je Prostorni plan SRH. Na taj su način smjernice iz Ustava formalno realizirane.

U praksi, međutim, postoje ili se mogu pretpostaviti znatni formalni i suštinski problemi i nesuglasice. Neki od tih problema evidentni su i u SAD, gdje je takva praksa najprije inaugurirana, a neki proistječu iz određenih naših specifičnosti. U nastavku se daje analiza najvažnijih problema vezanih za izradu i primjenu SUO-a u našim specifičnim uvjetima.

#### a) Opasnost od birokratizacije postupka

Donošenje NEPA-e izazvalo je različite komentare u SAD, od onih vrlo pozitivnih, koji su tvrdili da je NEPA izazvala »zdravu reorganizaciju vladinih perspektiva i prioriteta, te da je za očuvanje i zaštitu okoliša napravila više nego sve dotadašnje mjere zajedno«, do vrlo negativnih. Razvoj prilika pokazao je da su prednosti NEPA-e veće nego nedostaci. Negativni komentari bili su uglavnom inspirirani mogućom birokratizacijom postupka i licenciranja pojedinih objekata. Stupanjem NEPA-e na snagu federalne su agencije dobile jako oružje za ostavarenje ciljeva u području unapređenja i zaštite okoline. Istodobno međutim, zbog velikog broja zahtjeva i njihove urgentnosti i nemogućnosti da se sve to obavi u zakonskom roku, javila opasnost da nadležne agencije formalno ispune DES i FES.

Donošenje PSUO-a izazvalo je gotovo iste rasprave kao i donošenje NEPA u SAD. Osnovni argumenti protiv izrade SUO-a bile su tvrdnje da je njezina izrada dodatno opterećenje na već ionako opterećene investicije. S vremenom su takvi i slični stavovi gotovo iščezli.

Opasnost od birokratizacije postupka nije, međutim, nikad postavljena kao bitan problem. Međutim, čini se da je on u nas posebno aktualan. Njegove su osnovne osobine ove:

- formalna umjesto suštinske analize,
- ignoriranje kvalitete,
- formiranje stručne komisije od visokospecijaliziranih eksperata koji uglavnom ne znaju dovoljno informacije o suštinskim ciljevima SUO-a,

- bavljenje sporednim problemima,
- bespotrebno arbitriranje društveno-političkih organizacija i nepotrebna politizacija problema,
- uključivanje sredstava javnog informiranja na pogrešnim temama i preko nekvalificiranih ljudi,
- vođenje javne rasprave unutar ekskluzivnih neformalnih grupa, bez ograničenja trajanja i na neadekvatan način, itd.

Pojavom navedenih ili sličnih osobina proces izrade i pregleda SUO-a te konkretne akcije koje iz njega proistječu gube na kvaliteti, ostavljaju investitora u stalnoj neizvjesnosti, vode neracionalnim stihijskim i, konačno, pogrešnim odlukama, i izazivaju manju ili veću društvenu štetu.

#### b) Nedostaci upravnog organa i detaljnih dokumenata s područja regulative

Postojanje osnovnih elemenata regulative — standarda, uputa, sigurnosnih kriterija i sl. nužno je, bar kao okvir za provođenje potrebnih aktivnosti. Ništa manje nisu bitne ni službe inspekcije i nadzora koje treba da osiguraju poštovanje opisanih mjera te da jamče da će korektivne akcije zaista biti kvalitetno izvedene i održavane dulje vremensko razdoblje. Mora se osigurati i mogućnost efikasnoga i ispravnog reagiranja u rizičnim situacijama postojanjem planova evakuacije i drugih mjera za ublažavanje posljedica ako ipak dođe do nezgode.

Nažalost, ako republički upravni organ nadležan za tako bitne i ključne aktivnosti kao što su praćenje SUO-a i davanje UUP-a u svom sastavu za tu svrhu ima samo nekoliko ljudi, uz to i neadekvatno stimuliranih i društveno motiviranih, gotovo je nemoguće realizirati društvenu odgovornost toga organa. Slična je ili još gora situacija s općinskim nadležnim organima kojima zakon odnosno podzakonski akti daju određene odgovornosti, ali im istodobno ne propisuju (bar tako izgleda u praksi) ni minimum potrebnih kvaliteta.

#### c) Neadekvatna veza SUO-a s ostalom dokumentacijom investitora

Glavno pitanje koje se pojavilo u praksi nakon ozakonjenja SUO-a kao novog dokumenta jest odnos prema ostaloj dokumentaciji koju investitor izrađuje u procesu licenciranja objekta. Dokumenti koji su neposredno vezani za SUO jesu investicijski program i idejni projekt. Dilema je riješena Zakonom o izgradnji objekata (ZIO), koji zahtijeva da investicijski program između ostaloga sadrži i analizu uvjeta uređenja prostora, s obzirom na to da se UUP daje na temelju SUO-a, to znači da investicijski program mora sadržavati i sve troškove vezane za problematiku okoline. Osim toga, idejni je projekt osnova za izradu SUO-a (čl. 10. ZIO-a).

Osim pojma »idejni projekt«, naša praksa poznaje i pojmove »idejno rješenje«, »osnovno rješenje«, odnosno »konceptijski projekt«. Nažalost, naša regula-



tiva ne definira precizno te pojmove ni njihov sadržaj, što ponekad uzrokuje manje ili veće probleme. Naime, svatko pod tim pojmovima razumijeva drukčiji sadržaj, uglavnom onaj koji mu odgovara ili se, u najboljem slučaju, ponaša prema uhodanoj praksi. SUO, međutim, kao novi dokument mora mijenjati staru praksu i dati joj novu kvalitetu, inače postaje bespredmetan.

Čini se da u toj novoj situaciji idejna projektna dokumentacija, dakle idejno rješenje i idejni projekt, postaju sastavni dio SUO-a, pa je na neki način time i definiran njihov sadržaj i opseg. Pritom idejno rješenje postaje sastavni dio prethodnoga SUO-a, a idejni je projekt sastavni dio konačnoga SUO-a. Tako idejni projekt kao sastavni dio konačnoga SUO-a i iz njega izveden UUP postaju osnovni dokumenti za javnu raspravu i za investicijski program te, konačno, za potrebe izrade tehničke dokumentacije objekta. Ako se cjelokupni problem tzv. pripremnih radova tako sagledava, onda SUO zaista postaje temeljni dokument koji sadrži sintezu tehničkih, tehnoloških, ekoloških, prostornih i globalno-strateških problema koji se odnose na dotični objekt, pa onda i investicijski program napravljen na temelju takvog dokumenta dobiva svoj puni smisao u ocjeni rentabilnosti objekta u sklopu svih utjecajnih faktora.

Praksa u SR Hrvatskoj, koja ima solidnu zakonsku osnovu za sagledavanje problematike na upravo navedeni način, u suštini nije zadovoljavajuća. Studija o utjecaju na okolinu, idejni projekt i investicijski program uglavnom su još uvijek tri odvojena dokumenta bez bitnije povezanosti. U takvim uvjetima SUO ostaje marginalni dokument koji, ako i ima potrebnu kvalitetu, ne može tu kvalitetu realizirati u praksi.

#### **d) Neadekvatna veza između raznih upravnih organa**

Pod upravnim organom razumijeva se savezni, republički ili općinski organ nadležan za davanje određenih mišljenja, dozvola, suglasnosti ili za propisivanje određenih radova u procesu licenciranja objekta, dakle u postupku traženja lokacijske, građevinske ili radne dozvole.

U SR Hrvatskoj je za izdavanje UUP-a nadležan Republički komitet za građevinarstvo, stambene i komunalne poslove i zaštitu okoline, ali u procesu izdavanja dozvola posebne ingerenciju imaju i drugi republički organi. To samo za sebe nije sporno ni problematično. Problem je u neadekvatnoj povezanosti između upravnih organa. Naime, nerijetko su te veze i vrlo loše, ne postoje precizni dokumenti koji reguliraju njihove nadležnosti i međusobne obaveze. Ne postoje ni zakonom ili na drugi način propisani rokovi vezani za pojedine aktivnosti u toku javne rasprave i davanje dozvola i suglasnosti. K tome ni institut javne rasprave nije preciziran; kaže se samo da se ona »provodi za svaku fazu studije«, da je organizira SSRN Hrvatske i da traje »najmanje mjesec dana«. Ovo posljednje posebno je problematično jer se trajanje javne rasprave u svjetskoj praksi uvijek ograni-

čava na određeni rok. »Beskonačna« javna rasprava, plus nesređeni odnosi između upravnih organa, plus niz drugih, manjih ili većih problema vezanih za prethodna dva često čine ukupni proces kontraproductivnim, nekorisnim čak i višestruko štetnim.

#### **e) Nepotpuni i neadekvatni podaci**

Neki od osnovnih uvjeta izrade kvalitetnoga SUO-a jesu kvalitetni podaci i informacije o prirodnim i ekološkim karakteristikama, što uključuje meteorološke, hidrološke, geološke, hidrogeološke, seizmološke, pedološke, biološko-ekološke i demografske podatke, podatke o resursima (korištenju vode, tla, ruda, minerala), informacije o zaštićenim prirodnim, ruralnim i urbanim vrijednostima, o arheološkom i kulturnom bogatstvu i nasljeđu, o onečišćenju zraka, vode, tla, o buci, o prometnoj povezanosti te socijalnim i ekonomskim karakteristikama užega i šireg područja.

Nužno je da podaci po količini i po kvaliteti odgovaraju namjeni, da budu verificirani i priređeni na način prikladan za jednostavnu upotrebu. Kvalitetno i pravilno održavanje opreme te kvalificiranost osoblja također su vrlo važni.

Količina podataka u našim uvjetima obično zadovoljava, ali kvaliteta malokad. Oprema je često neadekvatna i zastarjela. Gotovo i ne postoje široko zasnovani dugovremenski monitoring-programi. Mjerenja se obično obavljaju za konkretnu namjenu ili za potrebe konkretnog objekta odnosno investitora i njihova je primjenjivost time ograničena za druge korisnike. Uglavnom, svugdje se nešto mjeri, mnogo je ljudi uključeno u to, potroši se i relativno dosta sredstava, ali je efekt malen. Čest je i slučaj da oni koji mjere ne znaju pravilno iskoristiti podatke, a oni koji bi ih znali iskoristiti ne mogu do njih doći. Ili, još gore, oni koji znaju kako nešto izmjeriti nemaju za to potrebnu opremu koju pak imaju drugi, ali je ne znaju ispravno upotrijebiti itd. Poseban je problem činjenica da je većina potrebnih podataka i informacija, ako je i dostupna, neprikladno priređena za modernu obradu, te je zato nekorisna.

#### **f) Metode primijenjene u izradi SUO-a**

Pravilan izbor metoda u izradi SUO-a izuzetno je bitna pretpostavka konačnog uspjeha. Izabrane metode moraju pomoći u rješavanju niza ključnih pitanja kao što su:

- uspostavljanje odnosa između lokalnih kratkoročnih efekata i dugoročnih ciljeva
- zajednička procjena rizika od efekata rutinskoga i akcidentalnog tipa
- mogućnost istodobnog vrednovanja više različitih izvora rizika po različitim parametrima.

Postoje različite metode, od onih koje se potpuno baziraju na ekološkim principima do onih koje favoriziraju neku vrstu bilanciranja između pojedinih eko-

nomskih parametara (zaposlenosti, dohotka i sl.) i odgovarajućeg utjecaja na okolinu. Cost-benefit i, naročito, cost-effectiveness analiza, te brojne kombinacije različitih metoda i pristupa ostaju kao otvorena mogućnost. U određenim specifičnim slučajevima dolaze u obzir i razne asocijativne metode (Delphy-metoda, metoda nominalne grupe i sl.). Najveći problemi u praksi nastaju kad se inače dobre metode primjene na neadekvatan način.

### g) Izbor prikladnih modela

U sklopu procjene rizika potrebna se pažnja mora pridati izboru prikladnih modela za opisivanje najrazličitijih prirodnih pojava i efekata. Na nekim područjima postoje vrlo kvalitetni modeli, a na drugima su iskustva prilično oskudna (npr. modeliranje disperzije teških plinova). Osim toga, izbor modela u nekim slučajevima bitno ovisi o raspoloživim podacima i svrsi analize. Vrlo komplicirani modeli kombinirani s neadekvatnim podacima bez sumnje su najgora varijanta.

### h) Obrada pojedinog objekta u odnosu prema regionalnim planovima razvoja

Prema ZPP-u i PSUO-u, SUO se izrađuje za pojedine objekte. Pritom UUP treba da bude usklađen s postojećim prostornim planovima širega područja. Domet pojedine studije, dakle, bitno, ovisi o prostornim planovima šireg područja. Prostorni planovi međutim, imaju niz manjkavosti. Osnovne su u tome da se razmjerno dugo donose, da predugo traje procedura usuglašavanja, a kad se jednom donesu, vrlo se brzo pokažu neadekvatnima. Prostorno planiranje kao kontinuirani proces u nas još nije realizirano. U prostornim se planovima osobito loše obrađuju veći objekti i objekti republičke važnosti (energetski objekti, veliki privredni objekti, infrastrukturni objekti) na kojima se, zapravo, temelji kvalitetan prostorni plan. Stoga je u situaciji u kojoj ne postoje prostorni planovi ili su oni neadekvatni naknadno uvrštavanje u prostorni plan velikih energetskih ili, općenito, industrijskih objekata izuzetno teško i sporo. Rješavanje problema prostornog plana u fazi izrade SUO-a za pojedinačni objekt izuzetno je teško. Osobito je komplicirano u fazi izrade SUO-a odrediti međusobnu ovisnost između pojedinih izvora utjecaja na okolinu i između različitih objekata, jer su osnovni kriteriji za procjenu međusobne ovisnosti prije toga morali biti utemeljeni u sklopu izrade prostornih planova. Rezultat je to da pojedini projekti pretrpe veliku štetu zbog prevelikih zahtjeva, a drugi se mnogo veći onečišćivači okoline, tretiraju izuzetno blago.

### i) Posebna analiza svakoga pojedinog medija umjesto zajedničke obrade

Jedna od osnovnih prednosti izrade jedinstvenoga SUO-a upravo je intencija da se ne favorizira bilo ko-

ji medij odnosno sektor (voda, zrak, tlo, energija, resursi, promet it.) nego da se u analizu maksimalno uključe svi sektori istodobno. Time se postižu dva bitna cilja:

1. u analizu su uključeni svi sinergistički efekti između pojedinih polutanata i pojedinih sektora;
2. u obzir se uzima činjenica da neki izvor utjecaja na okolinu može (prema raspoloživim alternativama) povisiti rizik odnosno štetu s obzirom na jedan sektor ili medij, a može imati pozitivan efekt ako se promatra drugi sektor odnosno medij.

Evo nekoliko primjera.

- Povećana upotreba plina za grijanje smanjit će rizik vezan za kvalitetu zraka, ali će povećati rizik od moguće eksplozije ili trovanja plinom.
- Rashladni će tornjevi nepovoljno utjecati na kvalitetu zraka, ali će zato smanjiti štetni utjecaj na kvalitetu vode.
- Povećana upotreba ugljena u lokalnoj toplani može biti nepovoljna s estetskog stajališta, ali će upotreba pepela u industriji cementa spriječiti devastaciju prirodnog krajolika kakvu stvara cementara eksploatacijom kamena, važne sirovine za proizvodnju cementa.
- Posipanje cesta solju zimi smanjiti će štete i rizike u prometnim nezgodama, ali će povećati štete od korozije na automobilima i izazvati dodatno onečišćenje površinskih i podzemnih voda.

U praksi, međutim, pri izradi SUO-a, kao uostalom i pri izradi prostornih planova, još uvijek prevladava tzv. sektorski pristup, pa se npr. posebno obrađuje vodoprivredna problematika, posebno energetika, posebno poljoprivreda, industrija i sl. Pri procjeni utjecaja na okolinu posebno se analizira utjecaj na zrak, vodu, podzemne vode, korištenje terena i sl. Nerijetko to rade specijalizirane grupe, bez veće međusobne suradnje i koordinacije.

Velika prednost jedinstvenoga SUO-a treba da bude u maksimalnom iskorištavanju zajedničkog rada različitih specijalista u dobro koordiniranom timu.

### j) Izostanak analize mogućih alternativa

SUO se radi za konkretan objekt na bazi idejnog rješenja odnosno idejnog projekta objekta. Postupak je u praksi iterativan jer promjene utjecaja na okolinu dovode do promjena u projektu, i obrnuto. U SUO-u je potrebno, međutim, uključiti i analizu i pregled prethodnih radova koji su doveli do izbora tehnologije, lokacije i sl. Prethodni radovi obavezno moraju uključiti i analizu alternativnih rješenja u najširem smislu, i to putem:

- alternativnih komercijalno raspoloživih izvora energije (ako je riječ o energetskim objektima)
- alternativnih lokacija objekta
- alternativnih sistema, struktura i komponenata
- alternativnih tehnoloških rješenja.

Samo je po sebi razumljivo da će primjena inače dobrih metoda biti znatno obezvrjeđena ako nisu razmotrane i moguće alternative.

#### 4. ZAKLJUČAK

Pretenzija ovoga članka nije otkrivanje »apsolutnih istina« nego podsjećanje na probleme koji se javljaju ili se mogu pojaviti u realizaciji pozitivnih ekoloških koncepcija, te na izvjesnu determiniranost tog postupka, koji bitno ovisi o ekonomskim mogućnostima društva.

Kao i svugdje u prirodi, veliki skokovi bez štetnih posljedica nisu mogući, pa zato ni racionalni. Višegodišnje zanemarivanje ekoloških tema plaća se s kamata, ali ni prevelike pretenzije nisu ništa manje opasne. Samo odsumporavanje postojećih energetske kapaciteta u Jugoslaviji, npr. prema zakonima SR Njemačke, koštalo bi bar pet milijardi dolara. Ekonomske posljedice svih ekoloških inicijativa su, dakle, nesporne.

Zato glavni cilj pristupa problemima zaštite života i zdravlja ljudi i čovjekove okoline treba da bude racionalna alokacija sredstava za zaštitu okoline. Ona se moraju uložiti ondje gdje se postižu najveći pozitivni efekti. To se može postići samo na osnovi rezultata stručno provedenih tehničko-tehnološko-ekonomskih analiza. Pritom se ne smije zanemariti uloga javnosti, ali je isto tako jasno da ona ne smije utjecati na donošenje odluka niti može biti odgovorna za eventualne propuste.

#### LITERATURA

- [1] OPHULS, J., »Ecology and the Politics of Scarcity«, W. H. Freeman and Co., San Francisco, 1977.
- [2] BAUMOL, W., OATES, W., E., »Economics, Environmental Policy and the Quality of Life«, Prentice Hall Inc., 1979.
- [3] WILSON, J., et al., »Comprehensive Planning and Environment«, Abt. Assoc. Inc., 1979.
- [4] MORAN, J., M., et al., »Introduction to Environmental Science«, W. H. Freeman and Co., San Francisco, 1980.
- [5] MALBAŠA, N., »Podloge i upute za izradu studije o utjecaju nuklearnih elektrana na okolinu«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1983.
- [6] MALBAŠA, N., »Identification of Hazards form Energy and other Complex Systems for the Zagreb area Population and Environment«, IAEA/UNEP/WHO Workshop on Assessing and Managing Health and Environmental Risk from Energy and other Complex Industrial Systems, Pariz, 1986.

#### A CRITICAL REVIEW OF THE ENVIRONMENTAL STUDY IN SOLVING ECOLOGICAL PROBLEMS

In the paper are analysed institutional boundaries for solving ecological problems and efforts for reducing risks to human health and life in SR Croatia. Especially is analysed the environmental Study as a base document for power plant construction planning as well as possible deficiencies in elaboration of the Study. Stressed is the economy base for environmental initiative and its realisation in relation to national income as well as necessity for proper environmental investments with maximum ecological effects.

#### KRITISCHE BETRACHTUNGEN AUF DIE ROLLE DER STUDIE ÜBER DEN EINFLUSS AUF DIE UMWELT BEI DER LÖSUNG DER ÖKOLOGISCHEN PROBLEME

Es werden institutionale Grenzen der Problemlösung des Umweltschutzes und Verringerung der Gesundheitsrisiken und Lebensrisiken in der SR Kroatien analysiert. Besonders wird die Studie über den Einfluß auf die Umwelt als Schlüsseldokument bei der Planung und des Ausbaus der Objekte sowie die möglichen Mängel bei der Ausarbeitung und Bewertung der Studie behandelt. Man macht auf die ökonomischen Hintergründe der ökologischen Initiativen und die Abhängigkeit ihres Erfolges von der allgemeinen Basis der Gesellschaftlichen Gemeinschaft und auf die Notwendigkeit der Anwendung der Mittel für den Umweltschutz dafür, aufmerksam wofür man maximale ökologische Effekte erwartet.

#### КРАТКИЙ КРИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР РОЛИ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ РЕШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

Анализируются учрежденные границы решения проблем охраны окружающей среды человека и понижения риска, касающегося здоровья и жизни человечества в СР Хорватии. Особо рассматривается Изучение влияния на окружающую среду в качестве ключевого документа при планировании сооружения объектов, а также возможные недостатки способа выработки и оценки Изучения. Обращается внимание на экономическую обратную сторону экологических инициатив и на зависимость их успеха для общей материальной основы общественной среды, а также необходимость применения средств, предназначенных на охрану окружающей среды, на то, от чего ожидается наивысший экологический эффект.

Naslov pisca:

**Dr. Niko Malbaša, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb,**  
**Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-05-30

# MATEMATIČKI MODELI ZA PROCJENU UTJECAJA TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA NA OKOLINU

Mr. Vladimir Jelavić — dr. Jure Ćurković, Zagreb

UDK 621.311:577.4

PREGLEDNI RAD

U radu je dan pregled modela za procjenu utjecaja termoenergetskih postrojenja na okolinu. Opisane su osnovne postavke pojedinih grupa modela i prikazani modeli koji se primjenjuju u Institutu za elektroprivredu. Sagledavan je utjecaj onečišćenja atmosfere, hidrosfere i toplinskog opterećenja na okolinu.

**Ključne riječi:** matematički model, utjecaj na okolinu, disperzija, transport, onečišćivači, toplinsko opterećenje.

## 1. UVOD

Rješavanje problema zaštite čovjekove okoline i problema zadovoljenja energetske potreba zajedničkim sagledavanjem jedini je društveno prihvatljiv pristup. Da bi bilo moguće vrednovati ekološke činioce zajedno s ekonomskim i tehničkim, potrebno je što točnije kvantificirati utjecaj energetske postrojenja na okolinu. Kvantifikacija utjecaja na okolinu provodi se pomoću matematičkih modela.

Model se jednako često primjenjuje za postojeće i planirane objekte. Za postojeće objekte procjene se provode kao dopuna mjerenjima koja ne daju potpunu sliku prostornog opterećenja okoline. Za planirane je energetske objekte primjena modela nezaobilazna pri izboru lokacije, utvrđivanju projektnih parametara i izboru optimalnih tehnologija te mjera zaštitne okoline.

U svijetu se danas primjenjuje mnogo računskih modela za procjenu utjecaja energetske postrojenja na okolinu, a njihov je razvoj tek u zamahu. S tim u vezi, korisno je dati kratki pregled područja koje pokriva modeliranje, opisati osnovne postavke pojedinih grupa modela te prikazati koji se modeli koriste za pojedine aplikacije u Institutu za elektroprivredu.

U nastavku ćemo pisati samo o modelima za procjenu utjecaja termoenergetskih postrojenja u užem smislu, što isključuje aspekte problema utjecaja cijelog gorivog ciklusa, od proizvodnje goriva do odlaganja istrošenoga goriva.

Kad govorimo o utjecaju termoenergetskih postrojenja na okolinu, primarno značenje ima onečišćenje atmosfere, hidrosfere i njihovo toplinskog opterećenje. Onečišćenje atmosfere i hidrosfere događa se zbog emisije neradioaktivnih i radioaktivnih onečišćivača. Problem radioaktivnih onečišćivača nije samo povezan s radom nuklearnih postrojenja, već i u konvencionalnih termoenergetskih postrojenja na ugljen. U proizvodnji električne energije oko 2/3 ukup-

no uložene energije oslobađa se u okolinu u obliku topline. U sistemima s protočnim hlađenjem povisuje se temperatura vode u okolini (u rijekama, jezerima, morima), a u zatvorenom sistemu s rashladnim tornjevima, osim toplinskog opterećenja atmosfere, nastaje i njezino ovlaživanje.

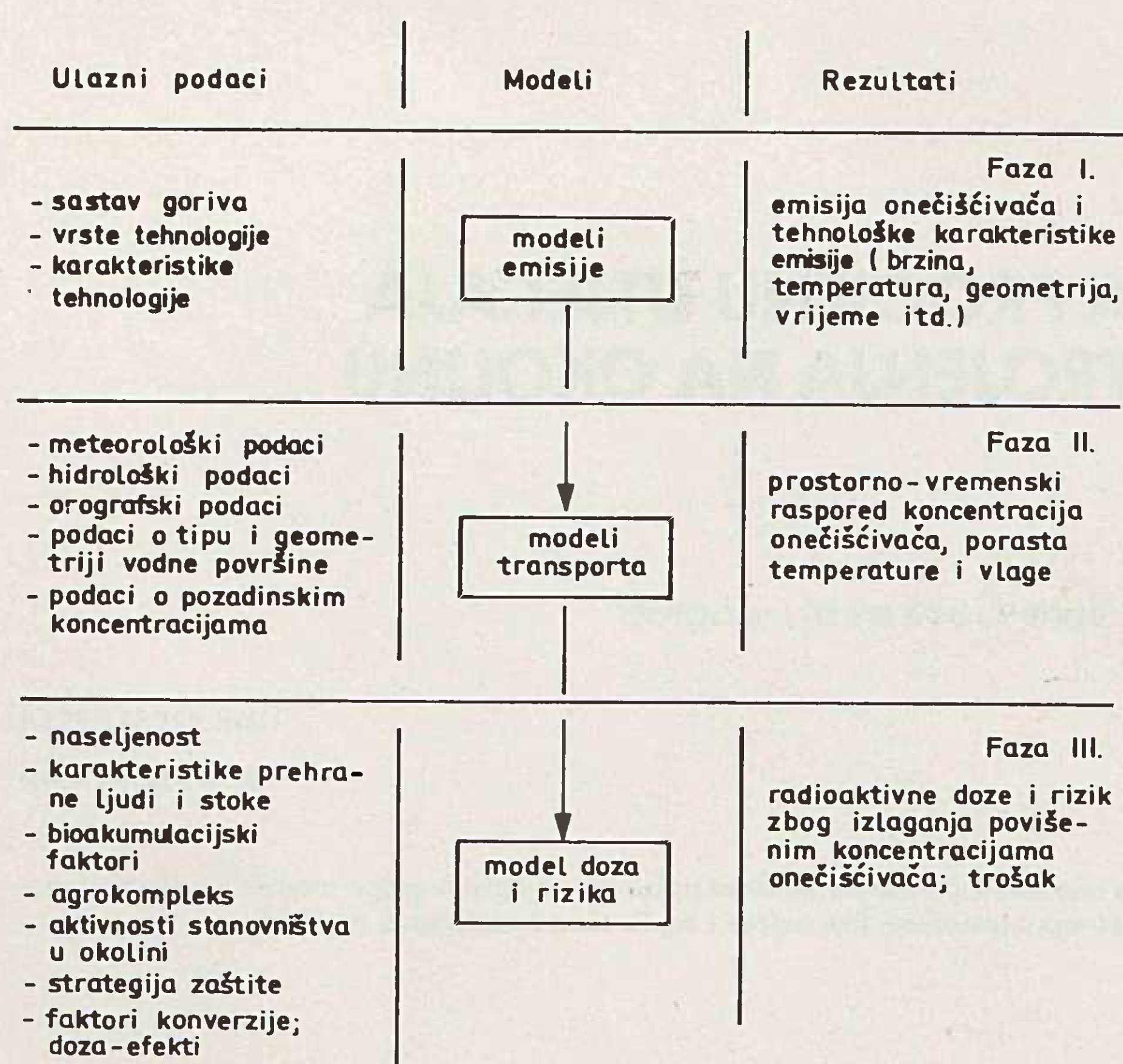
Da bi sve to bilo razumljivije, pobliže ćemo definirati što mislimo pod pojedinim pojmovima teksta. Pod matematičkim modeliranjem misli se na aproksimativno matematičko definiranje zakonitosti između pojedinih elemenata, činilaca fizikalnih pojava. Matematički model napisan jezikom elektroničkog računala naziva se program. U tom je smislu suštinski svejedno govorimo li o modelu ili programu, što je i razlog da se ta dva pojma upotrebljavaju kao sinonimi. Složenija konfiguracija koja se sastoji od više modela naziva se modelski sustav (sistem-model), a prevedeno na jezik kompjutera glasi programski sustav.

## 2. OPĆENITO O PROCJENI ONEČIŠĆENJA I TOPLINSKOG OPTEREĆENJA

Prikaz sheme postupka za procjenu onečišćenja i toplinskog opterećenja u najopćenitijem je obliku dan na slici 1. Na lijevoj strani slike pokazani su polazni podaci, u sredini je proces koji se modelira, a na desnoj su strani rezultati.

Proces procjene utjecaja počinje utvrđivanjem emisije ekološki znatnijih elemenata i spojeva (u nastavku onečišćivača ili utvrđivanjem oslobođene toplinske energije kad je riječ o toplinskom opterećenju).

Modeli za procjenu emisije onečišćivača simuliraju njihov tok kroz tehnološki proces izgaranja i pročišćavanja do ispuštanja u okolinu. Predmet promatranja često su samo tokovi onečišćivača koji najzbitnije utječu na atmosferu. To su: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i čestice, pri ispuštanju u atmosferu iz konvencionalnih postrojenja, ili, pak, radionuklidi kao što su I<sub>131</sub>, Cs<sub>137</sub>, Xe-133,



Slika 1. Opća shema postupka procjene utjecaja termoelektroenergetskih postrojenja na okolinu

Kr-85, H<sub>3</sub> i C<sub>14</sub>, iz nuklearnih postrojenja. Uz sastav i količinu ispuštanja određuju se ostale karakteristike ispuštanja, koje utječu na transport onečišćivača. To su izlazne brzine, temperature, geometrija ispusta, vrijeme ispuštanja itd.

Modelima za praćenje toplinsko-masennih tokova utvrđuje se količina topline koja se predaje okolini. Kao i za onečišćivače, potrebno je definirati i fizičke karakteristike ispuštanja.

Na osnovi podataka o emisiji i podataka o stanju okoline, koje se definira meteorološkim i hidrološkim podacima, modelima transporta onečišćivača ili modelima disipacije topline u slučaju toplinskog opterećenja, određuje se prostorno-vremenski raspored koncentracija onečišćivača odnosno temperatura.

Pošto su procijenjene koncentracije onečišćivača ili utvrđen raspored povišenih temperatura, pokušava se utvrditi njihov učinak na biljni svijet, životinjski svijet i čovjeka. U toj vazi, u kojoj se modeliraju mehanizmi utjecaja doza, postoji mnoštvo nedovoljno istraženih i empirijski nepotvrđenih pretpostavki. Tako je prihvaćeno mišljenje da se djelovanje radioaktivnosti na čovjeka zasniva na pretpostavci linearnog odnosa efekta i apsorbirane doze, bez obzira na nivo doze. Do pretvorbenih koeficijenata za proračun rizika dolazi se ekstrapolacijom stanja za koja su opažani efekti, dakle ekspozicije velikim dozama. O utjecaju neradioaktivnih onečišćivača zbog oskudnosti podataka i njihova velikog rasapa ne postoje ni približno općeusvojeni faktori odnosa doza i zdravstvenih efekata. U proračun se stoga često ulazi s faktorima koji su zadani kao statističke veličine. To je i razlog što se procjena utjecaja neradioaktivnih onečišćivača uglavnom završava na drugoj fazi sa slike 1, tj na proračunu prizemnih koncentracija onečišćivača u atmosferi. Koncentracije se zatim uspoređuju s koncentracijama za koje je uočeno djelovanje na ljude i biljke.

Posljednih godina, otkada je u svijetu izrađeno više studija kojima se kompariraju rizici različitih gorivih ciklusa energetskih postrojenja, modeli efekata sve se češće potvrđuju i nalaze svoju primjenu. Zasada valja prihvatiti činjenicu da oni daju dobru osnovu za komparaciju alternativa, a samo grubu sliku o apsolutnom nivou rizika.

Kad je riječ o efektima toplinskog utjecaja na čovjeka, ocjene mogu biti samo kvalitativne. Utjecaj na čovjeka — odražava se indirektno, zbog narušene ravnoteže biosvjeta i kemizma, ili direktno, zbog promjene mikroklimatskih uvjeta. Primjer posljednjega je npr. i mogućnost češće pojave magle zbog rashladnih tornjeva ili povišene temperature vodotoka. I u tom slučaju, kao pri analizi utjecaja neradioaktivnih onečišćivača, analize se završavaju na II. fazi sa slike 1. Distribucija porasta temperature (t) uspoređuje se s graničnim povećanjem do kojega se dolazi iskustveno-kvalitativnim analizama.

Opća shema postupka, kako je pokazano na slici 1, istovjetna je kad je riječ o procjeni utjecaja postrojenja za vrijeme normalnog rada ili akcidenata, ali se modeli razlikuju.

### 3. ONEČIŠĆENJE ATMOSFERE

#### 3.1. Neradioaktivni onečišćivači

##### a) Emisija

Emisija dimnih plinova utvrđuje se na osnovi jednostavnih stehiometrijskih izraza izgaranja. Teorijske vrijednosti potrebno je, međutim, korigirati s obzirom na specifičnosti izgaranja u pojedinom ložištu. Najjača je emisija sumpor-dioksida, sumpor-trioksida, dušik-oksida, ugljik-oksida i krutih čestica. Odstupanje realne emisije od teorijski proračunatih vrijednosti naročito se očituje u proračunu emisije sumpor-dioksida i dušičnih monoksida iz ugljena. Zbog alkalijskih spojeva u ugljenu sumpor se djelomično veže na pepeo, odnosno nastaje tzv. samoodsumporavanje. Ispitivanja pokazuju da je udio emitiranog sumpora obično veći od analizom utvrđenoga sagorivog sumpora u gorivu. To je zbog temperature u kotlu koja je mnogo viša od 800 °C (temperature analize) i zbog drukčijih tehničkih uvjeta izgaranja. Slično je i s dušičnim oksidima, čija se emisija utvrđuje na osnovi eksperimentalno utvrđenih faktora emisije. Navedeni podaci upućuju na nužnost što točnijeg utvrđivanja sastava goriva kao polazne osnove proračuna, a zatim i tehnoloških uvjeta izgaranja.

Proračun emisije polutanata postaje složeniji ako se provodi odsumporavanje ili odušičavanje dimnih plinova. Pri izboru optimalne tehnologije za odsumporavanje i stupnja odsumporavanja za svaki je postupak potrebno modelirati tokove mase i energije do ispuštanja u okolinu. Za potrebe utvrđivanja emisije svih ekoloških važnih spojeva i elemenata iz generatora pare i postrojenja za odsumporavanje razvijen je u Institutu za elektroprivredu model EODP; L. [1].

Model maksimalnog korištenja podataka s promatranog postrojenja, uz dopunu podacima širokog spektra ispitivanja na kotlovima i postrojenjima za odsumporavanje različitih tipova i snaga daje količine onečišćivača u šljaci, u letećem pepelu elektrofiltra, u radome i istrošenom reagensu te u dimnim plinovima koji se ispuštaju u atmosferu. Ti se modelom određuje količina i sastav emitiranih radioaktivnih sastojaka zbog prisutnosti urana i torija u ugljenu.

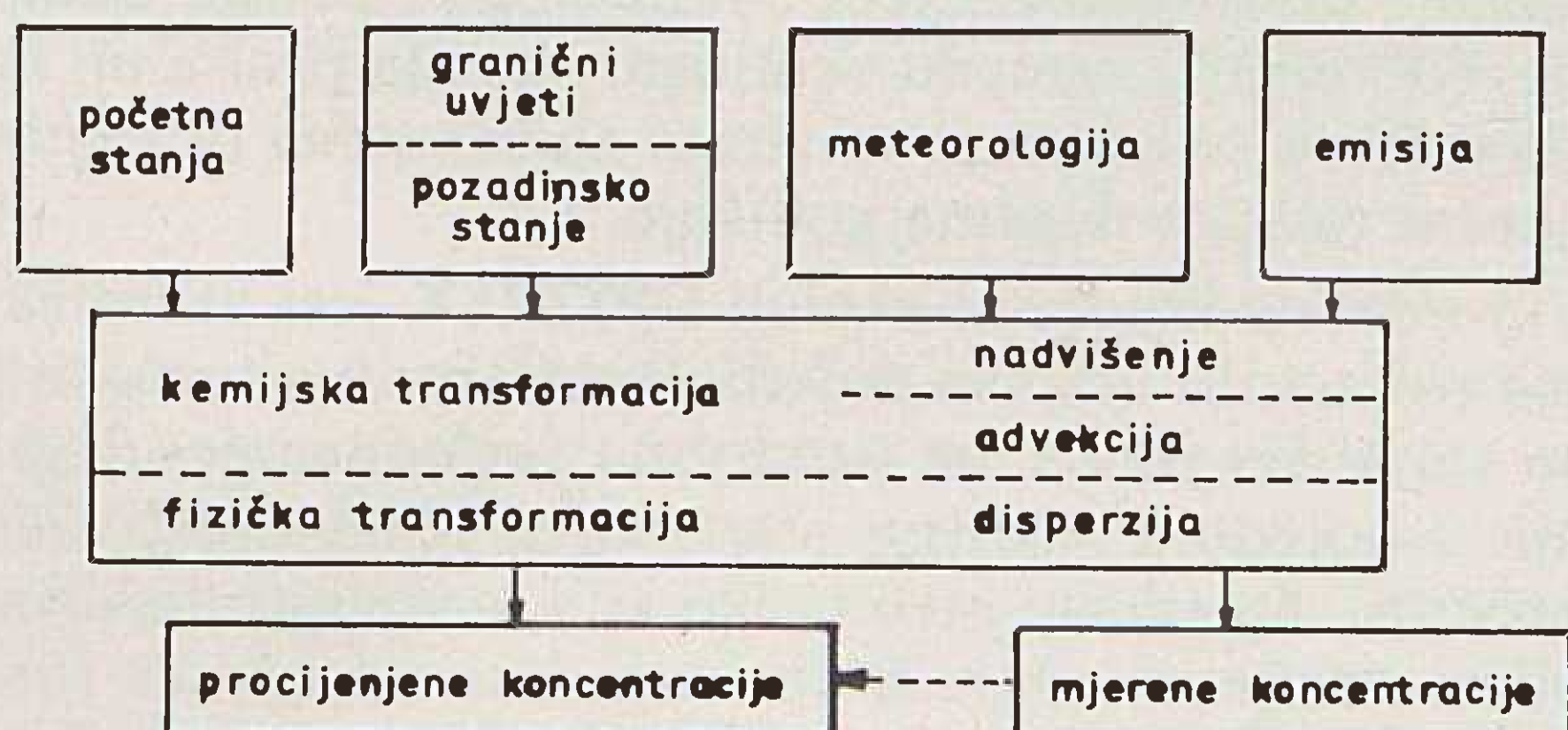
Osim ispuštanja onečišćivača kroz dimnjak, pri upotrebi ugljena javlja se problem emisije s deponija ugljena i transportera te emisije s odlagališta pepela i šljake. Tehničko-organizacijskim mjerama taj se utjecaj nastoji svesti na minimum, no pri izuzetnim meteorološkim prilikama on može biti velik. U tom je smislu na osnovi empirijski uspostavljenih izraza potrebno odrediti emisiju u funkciji meteoroloških parametara, najčešće samo brzine vjetera i stabilnosti atmosfere. Raspoloživi podaci tog tipa za različite fizičko — kemijske karakteristike deponiranog materijala relativno su oskudni i iskoristivi samo za grube procjene, pa su za detaljnije analize nužna mjerenja.

#### b) Disperzija onečišćivača atmosferom

Disperzijski je model skup matematičkih izraza za opisivanje rasprostiranja onečišćivača atmosferom. Procesi kojima podliježu polutanti ispušteni u atmosferu jesu transport, difuzija, kemijska i fizička transformacija te depozicija.

Rasprostiranje polutanata atmosferom karakterizira transport vjetrom i difuzija izazvana turbulentnim miješanjem. Doprinos molekularne difuzije je zanemariv. Turbulencija zraka izazvana je strujanjem zračne mase i termičkom stratifikacijom prizemnih slojeva atmosfere. U toku disperzije mnogi polutanti doživljavaju velike fizikalno-kemijske transformacije. Tipične fizikalno — kemijske transformacije uključuju aglomeracije čestica, raspadanje, oksidaciju i druge kemijske reakcije (najčešće s vodom), a fotokemijske promjene uključuju djelovanje ultraljubičastih zraka.

Depozicija polutanata iz atmosfere na zemlju moguća je u obliku mokroga ili suhog taloženja. Suho se taloženje zbiva zbog gravitacijske sile ili sudaranja dimne perjanice s preprekama pri rasprostiranju. Na slici 2. shematski su pokazani procesi koji se pokušavaju opisati matematičkim modelima disperzije.



Slika 2. Elementi modela disperzije

Ulazni podaci modela jesu meteorološki podaci i podaci emisije. Neki modeli zahtijevaju definiranje početnih stanja dvodimenzionalnih ili trodimenzionalnih distribucija koncentracija, definiranje graničnih stanja meteorologije i koncentraciju polutanata. Za druge je, pak, dovoljno samo poznavanje baznih koncentracija. Rezultati modela su procijenjene koncentracije koje mogu biti iskazane za različita vremena usrednjavanja, za pojedinačne točke ili prostorno uprosječene.

Velik broj različitih modela disperzije onemogućuje njihovu sistematsku klasifikaciju. Podjelu je u načelu moguće provesti po područjima njihove primjene (urbani model, ruralni, model za točkaste izvore, za linijske izvore, za plošne izvore, za kompleksne terene, za daljinski transport itd.) ili po primijenjenom matematičkom algoritmu. Podjele prema matematičkom postupku rješavanja problema često su vrlo različite. Može se ipak reći da se u praksi najčešće primjenjuju modeli utemeljeni na dva osnovna pristupa: gradijent-transportnoj teoriji (K-modeli) i modeli statističkog pristupa. Modeli sličnosti, numerički modeli viših redova zatvaranja, MonteCarlo-statistički modeli, modeli potencijalnog strujanja, premda obećavaju, zbog nedovoljne provjere i formata koji je često neprikladan za primjenu, svrstavaju se u razvojne modele. Njihovu punu primjenu i usvajanje od regulatornih organa valja očekivati tek u narednom periodu.

Gradijent — transporta teorija pretpostavlja da je difuzija u određenoj izdvojenoj točki atmosfere proporcionalna lokalnom gradijentu koncentracija, a proračun se bazira na jednadžbama količina gibanja i mase u fiksiranoj točki. Jednadžbe se rješavaju analitički ili numeričkim metodama. Statističkim (gausovskim) pristupom pokušava se utvrditi historijat izdvojene čestice i statistička svojstva potrebna za prikaz difuzije. Unutar navedene podjele moguće je provesti razvrstavanje u modele s trajektorijama i modele nepromjenjiva smjera. Modeli trajektorija najčešće se primjenjuju za kratkotrajna ispuštanja (npr. akcidenti nuklearnih elektrana), a pravocrtnim se modelima simulira onečišćenje u rutinskome dugotrajnom radu energetske izvora.

Proračun disperzije uključuje i proračun dimnog nadvišenja. Danas se najšire primjenjuje postupak proračuna dimnog nadvišenja po Briggsu. Uz osnovne tehnološke karakteristike ispuštanja, uzima u obzir i meteorološka stanja atmosfere definirana stabilnošću i brzinom vjetera. Taj je postupak razvijen na osnovi niza mjerenja u različitim orografskim i drugim uvjetima.

S pojavom prvih modela disperzije pokazala se potreba za njihovim sistematiziranjem radi nalaženja jedinstvenog paketa modela za pokrivanje spektra mogućih problema onečišćenja zraka. Svuda u svijetu pooštreni kriteriji o čistoći zraka i obaveza izrade studija utjecaja na okolinu u stadiju planiranja objekta intenzivirale su proces razvoja modela disperzije. Nakon donošenja Akta o čistom zraku iz 1970. u SAD Američka agencija za zaštitu okoline (EPA) —

Odjel za planiranje kvalitete zraka — pokrenula je razvoj programskog paketa za procjenu onečišćenja atmosfere neradioaktivnim polutantima. U najeminentnijim ustanovama EPA je sufinancirala razvoj modela koji su 1973. godine ponuđeni korisnicima u sklopu programskog paketa UNAMAP (User's Network for Applied Modeling on Air Pollution). Programski paket usavršavan je i dopunjavan novim modelima ukorak s novim spoznajama u području modeliranja disperzije. Programi paketa UNAMAP jednako se uspješno primjenjuje u SAD, u zemljama Zapadne Evrope i u Japanu.

Posljednja verzija programskog paketa UNAMAP 5/24/ sadrži 31 model. Svi modeli paketa UNAMAP instalirani su za upotrebu u Institutu za elektroprivredu.

Radi što racionalnije primjene pojedinih modela i povećanja pouzdanosti procjene, provedena u Institutu je komparativna analiza modela disperzije (L. [3]) kojom su precizno definirane pretpostavke za primjenu pojedinih modela u našim uvjetima, od faze preliminarnih procjena do konačnih analiza za predobradu podataka koji omogućuju vrlo jednostavnu primjenu više modela iste namjene, čime se povećava pouzdanost procjene. U nastavku, ukratko donosimo osobine nekih u dosadašnjem radu najčešće primjenjivanih modela.

- PTDIS** — model za prethodne procjene kratkotrajnih koncentracija iz točkastih izvora za receptora u smjeru niz vjetar. U modelu su uključeni efekti visine sloja miješanja i postupno dimno računa se prema Briggsu, a disperzijski koeficijenti prema Pasquill-Giffordu.
- PTMAX** — model za prethodne procjene maksimalnih koncentracija iz točkastih izvora u ovisnosti o stabilnosti i brzini vjetra. Koristi se konceptom finalnog nadvišenja izračunatim po Briggsovima izrazima.
- CDMQC** — klimatološki disperzijski model za procjenu dugotrajnih (sezonskih ili godišnjih) prizemnih koncentracija kvazistabilnih polutanata, uz primjenu prosječne emisije točkastih i plošnih izvora te pridružene funkcije frekvencije smjera vjetra, brzine vjetra i stabilnosti atmosfere. Model ima mogućnost kalibracije i određivanja doprinosa svakoga točkastog ili plošnog izvora onečišćenja.
- SHORTZ** — razvijen je za proračun kratkotrajnih koncentracija velikog broja receptora zbog emisije mnogobrojnih točkastih izvora, zgrada i površinskih izvora. Koristi se sekvencijalnim meteorološkim inputom (najčešće satnim) za proračun koncentracija s vremenom uprosječivanja 1 sat do godinu dana. Model je primjenjiv za ravni i kompleksni teren. U opciji za kompleksan teren zahtijeva znatan kapacitet vanjske memorije računala. Meteorološki podaci rutinskih

mjerenja mogu se pripremati pretprocesorskim programom METZ.

**LONGZ** — jednakih karakteristika kao **SHORTZ**, samo je namijenjen proračunu dugotrajnih (sezonskih ili godišnjih) prosječnih koncentracija.

**COMPLEX/PFM** — modificirana verzija modela **COMPLEX** (I i II) koja sadrži opciju za procjenu metodom potencijalnog strujanja (**PFM**). Ako se ne primjenjuje **PFM**, model izvodi **COMPLEX I** (22,5° sektorski uprosječena horizontalna i normalno distribuirana vertikalna razdioba) za klase stabilnosti 5 i 6 (E i F prema Pasquillu), a **COMPLEX II** (dvodimenzionalna normalna razdioba) za stabilnost 1 do 4 (A do D). Ako je odabrana **PFM**-opcija, proračun kao **COMPLEX II** izvodi se za klase stabilnosti od 1 do 3, **PFM**-proračun se provodi za klase od 4 do 6, ako je perjanica iznad diobene kritične strujnice toka, a **COMPLEX I** za stabilnosti od 4 do 6, ako je perjanica ispod diobene strujnice. Dodatni modeli za pripremu opsežnoga meteorološkog inputa jesu **SETUP**, **READ 56** i **PROFIL**.

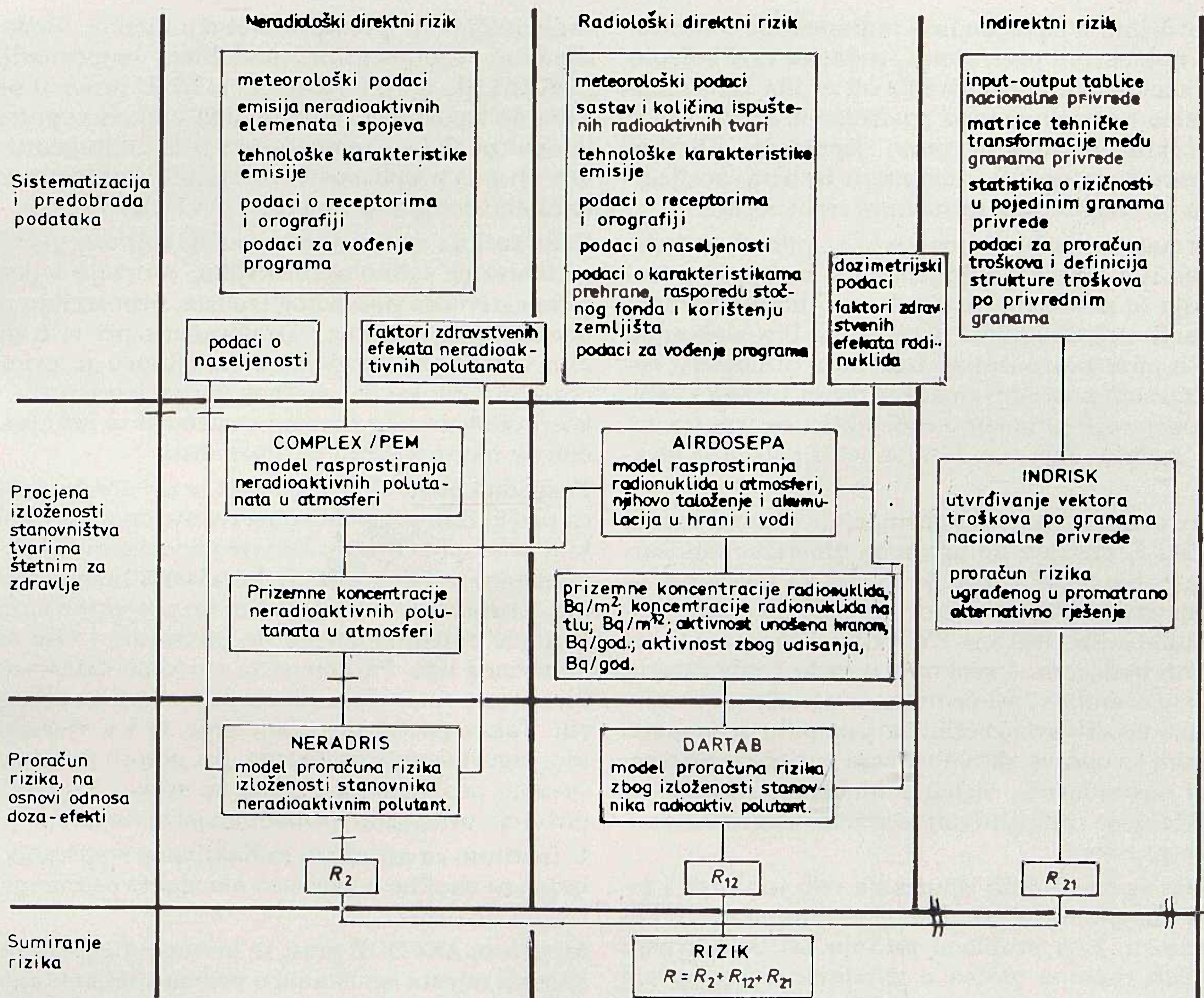
Valja reći da je primjena pojedinih modela u nas ograničena zbog neraspodivnosti meteoroloških ulaznih podataka, posebno u slučaju primjene regionalnih i mezo-modela te modela za realne simulacije na orografski razvijenom terenu. Ti modeli zahtijevaju ekstenzivna meteorološka mjerenja u prizemnim i višim slojevima atmosfere.

### c) Modeli rizika

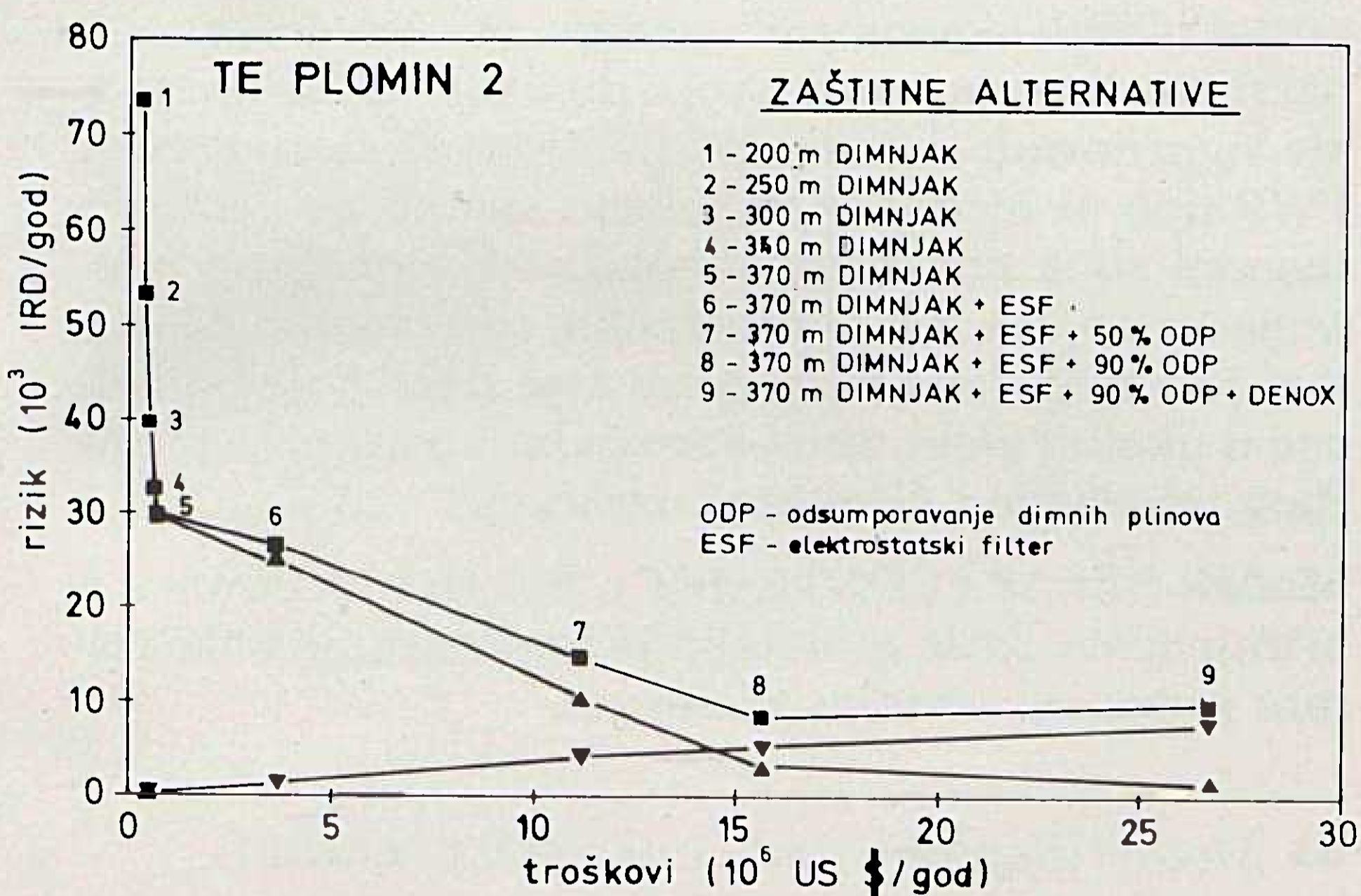
Proračun efekata povišenih koncentracija na zdravlje ljudi obično se zasniva na nekoliko najtoksičnijih onečišćivača čija se djelovanja superponiraju, bez sagledavanja njihova sinergetskog djelovanja koje je neosporno, ali zasad i nedovoljno istraženo. Konverzijski faktori, učinaka (bolesti ili smrti po 1 µg/m<sup>3</sup> koncentracije onečišćivača) koji su rezultat epidemiološko-toksioloških studija i analiza ekstremnih onečišćenja, pojavljuju se u vrlo širokom rasponu. Od onečišćivača obično se uočava utjecaj sumpor-dioksida, sulfata, dušičnog dioksida, nitrata i krutih čestica.

U Institutu se, u sklopu programskog sustava za nalaženje optimalnih mjera i tehnologije zaštite okoline (**OPTRISK**), između ostaloga, obavlja proračun rizika. Rizik se iskazuje smrtnim slučajevima ili izgubljenim radnim danima godišnje.

Cilj metode kojom se koristi **OPTRISK** jest utvrđivanje relativnih odnosa pojedinih zaštitnih alternativa sa stajališta rizika, uz istodobno sagledavanje ulaganja u pojedinu zaštitnu alternativu (cost-effectivnes pristup). Apsolutni nivo rizika koji može biti diskutabilan manje je važan. S obzirom na nesigurnost faktora utjecaja na kojima se zasniva proračun rizika, pri optimiranju sustavom **OPTRISK** provode se de-



Slika 3. Blok-shema programskog sustava OPTRISK



Slika 4. Krivulja rizik — trošak za različite alternative zaštite okoline, uz primjenu BISCHOFFOVA postupka odsumporavanja

taljne analize osjetljivosti i signifikantnosti rješenja. Na slici 3. pokazana je shema modela programskog sustava OPTRISK razvijenog u Institutu. Važna osobitnost modela je to što se osim direktnog rizika, zbog ispuštenih neradioaktivnih i radioaktivnih onečišćivača, sagledava i rizik ugrađen u proizvodnju zaštitne opreme, tzv. indirektni rizik. Statistikom ozlje-

da na radu u pojedinim industrijskim granama, upotrebom input-output tablica i matrica transformacije među pojedinim industrijskim granama moguće je za svaku strukturu kapitalnih ulaganja, iskazani naturalnim ili novčanim pokazateljima, doći do indirektnog rizika. Sumiranjem indirektnoga i direktnog rizika proračunava se točka u kojoj primjena zaštitnih alternativa postaje apsurdna jer ukupni rizik raste. Za ilustraciju na slici 4. dajemo prikaz primjene metode pri izboru optimalnih mjera zaštite TE Plomin; L. [4]. Na slici 4. izdvojene su krivulje rizika — trošak smo za jednu od promatranih tehnologija odsumporavanja.

### 3.2. Radioaktivni onečišćivači

#### a) Emisija

Model za utvrđivanje emisije radioaktivnih sastojaka iz termoenergetskih postrojenja na ugljen (EODP) opisan je u prethodnom odjeljku. Predmet te analize jesu radionuklidi lanca radionuklida  $U_{235}$ ,  $U_{238}$  i  $Th_{232}$ . Za proračun transporta osim količine i sastava potrebno je definirati distribuciju veličine čestica u kojima su aglomerirani radionuklidi.



Kad govorimo o ispuštanjima radionuklida u atmosferu iz nuklearnih postrojenja, redovito razlikujemo uvjete akcidentalnog ispuštanja od uvjeta ispuštanja za vrijeme normalnog rada postrojenja. Razlike su u tehnološkim karakteristikama ispuštanja (brzini, temperaturi, vremenu) i inventaru ispusta, posljedica čega je i različit tok proračuna transporta.

Pri normalnom radu radioaktivni se plinovi prije ispuštanja u atmosferu sakupljaju u tankove za raspad, gdje se zadržavaju sve dok se njihova aktivnost ne smanji na prihvatljivo nizak nivo. Dio niskoradioaktivnih plinova ispušta se izravno u atmosferu nakon filtarskih pročišćavanja. Proračun tokova i sabiranja ukupnoga plinovitog radioaktivnog ispusta zahtjeva sagledavanje svih komponenti i sistema elektrane.

Za tu se svrhu u Institutu primjenjuje poznati model PWR-GALE razvijen po uputama američke nuklearne regulative. PWR-GALE je model za proračun ispuštanja radioaktivnih plinovitih i tekućih segmenata iz nuklearnih elektrana PWR-tipa. Proračuni se temelje na podacima s reaktora u radu i laboratorijskim istraživanjima, pri čemu su ugrađene sve specifičnosti pročišćavanja efluenta na putu do ispusta. Modelom se uočava aktivnost koja potječe iz primarnoga i sekundarnog sistema hlađenja, sistema za pročišćavanje radioaktivnih onečišćivača i kontaminiranih prostora.

Problem akcidentalnih ispuštanja vrlo je složen i zahtjeva matematičke modele posebnih numeričkih mogućnosti. Prvi problemi počinju pri određivanju termičkih osobina goriva u uvjetima neregularnog hlađenja, zatim slijede problemi interakcije pregrijanoga goriva i hladila. Za najteže accidente potrebno je riješiti probleme interakcije rastaljenoga goriva, hladila, metalnih površina i betona te probleme očuvanja integriteta zaštitnog kontejnmenta u uvjetima visokih temperatura i tlaka. Sve je procese potrebno pratiti kao vremenski promjenjive veličine. Uz termo-hidrauličke proračune potrebno je simulirati ponašanje širokog spektra radionuklida u primarnom sistemu i kontejmentu, prateći sve kemijsko-fizikalne promjene i djelovanje sigurnosnih sistema.

Najšire primjenjivani model termo-hidrauličkog proračuna primarnog sistema hlađenja PWR-tipa elektrane jest RELAP; L. [5]. Poznati modeli istog opsega jesu RETRAN i TRAC; L. [6] i [7]. Tim je modelima moguće simulirati različite scenarije akcidenata prateći vremensko-prostorne promjene relevantnih parametara. Pri proračunu inventara radionuklida koji se ispuštaju iz primarnog sistema hlađenja u prostor kontejnmenta programi termo-hidrauličkog proračuna nastavljaju se modelima proračuna taljenja jezgre. Poznati modeli tog tipa jesu MARCH (L. [8]), KESS (L. [9]) i RACAP (L. [10]). Tim se modelima prati pregrijavanje gorivih šipki, oksidacija zaštitnih košuljica, likvifikacija goriva i interakcija rastaljenoga goriva i hladila u reaktorskoj posudi. Proračun se nastavlja modelima koji opisuju transport i dispoziciju radionuklida u primarnom sistemu hlađenja, a zatim modelima za proračun transporta i depozicije

radionuklida u prostoru kontejnmenta. Među posljednim spomenutim modelima najpoznatiji je CORRAL (L. [11]) i TRAP (L. [12]). U procesu proračuna do ispuštanja radionuklida u okolinu potrebna je analiza tlaka i temperature u kontejmentu radi utvrđivanja propusnosti i integriteta kontejnmenta u toku akcidenta (npr. model CONTEMPT).

Valja reći da se navedeni modeli, koji omogućuju izračunavanje tehnoloških uvjeta, sadržaja i pozicije radioaktivnoga plinovitog ispusta, primjenjuju u fazi projektiranja opreme, istraživanja i pri vrlo detaljnim analizama akcidenata. Za njihovu je primjenu potrebna edukacija znatnog broja istraživača visokospecijaliziranog znanja i stručnosti te primjena računala natprosječnih performansi.

Posljednji podatak je razlog da se pri analizi posljedica projektnih nezgoda konzervativnim determinističkim pristupom obično koriste podaci o radioaktivnom inventaru i tehnološkim karakteristikama ispuštanja, kategorizirani uz pojedini tip projektne nezgode. Pritome pojedina kategorija prezentira i više nezgoda sličnog tipa. Parametri za pojedine kategorije dobivaju se pomću složenih modela o kojima smo govorili. Takav postupak primjenjuje se i u vjerojatnim sigurnosnim analizama, pri prvom pristupu rješavanju problema, pri čemu se svakoj kategoriji ispuštanja pridružuje pripadna vjerojatnost.

U Institutu za proračun radioaktivnog ispuštanja u atmosferu okoline u uvjetima akcidenta primjenjuje se model AKCDOZ.

Modelom AKCDOZ prati se kretanje fisijskih produkata od mjesta ispuštanja u primarnom kontejmentu do izlaska u okolinu, u vremenski ovisnim intervalima. Pretpostavka modela je očuvani integritet kontejnmenta kao osnovne pasivne barijere i djelotvornost aktivnih sigurnosnih sistema za smanjenje radioaktivnosti na putu od izvora do okoline. Uz djelovanje sigurnosnih sistema zaštite, tipičnih za elektranu PWR-tipa, u model je uključeno smanjenje radioaktivnosti zbog prirodnog raspada i eventualnog taloženja sastojaka na pothlađenim stijenkama. Modelom je omogućeno i izračunavanje doza koje pojedinac u okolini elektrane i komandnoj prostoriji primi zbog inhalacije i direktnog ozračenja.

Modeli RELAP i CONTEMPT u fazi su instaliranja, a primjenjivat će se za detaljnije upoznavanje s fizikalnim procesima u toku akcidenta.

#### b) *Modeli disperzije radionuklida u atmosferi*

Modeli disperzije neradioaktivnih onečišćivača opisani su u poglavlju 3.1. Jedna od osnovnih razlika jest to što se osim procesa transporta, difuzije, suhog taloženja, mokrog taloženja i kemijske transformacije radioaktivnih onečišćivača prirodno raspadaju na putu do receptora. Ostale razlike vezane su za način ispuštanja. Osim ispuštanja iz dimnjaka, sagledavaju se ispuštanja iz povišenih izvora (ventilacijskih otvora) i prizemnih izvora. U akcidentu su osobito važna momentalna ispuštanja i simulacije u realnom vremenu.

Proces razvoja modela disperzije radioaktivnih onečišćivača tekao je usporedo s razvojem modela neradikalnih onečišćivača. Najčešće su primjenjivani modeli gausovskog tipa s Briggsovima izrazima za proračun dimnog nadvišenja. Za simulacije u realnom vremenu upotrebljavaju se modeli trajektorija, segmenti gausovski modeli ili gradijent-transportni modeli.

Proračun dugotrajnih (sezonskih ili godišnjih) koncentracija i taloženja provodi se u Institutu uz pomoć nekoliko modela. Za termoenergetska postrojenja na ugljen i za sagledavanje radiološkog utjecaja primjenjuje se model disperzije programa AIRDOSEPA; (L. [13]). Za rutinsko ispuštanje iz nuklearnih postrojenja osim AIRDOSEPA — modela primjenjuje se model XOQDOQ-82 (L. [14]), razvijen po uputama američke regulative, ili modelski sustav ATMOS, razvijen u Institutu za elektroprivredu. ATMOS je kompilacija spoznaja i postupaka preporučenih regulativom različitih zemalja. Model XOQDOQ i modelski sustav ATMOS omogućavaju izračunavanje dugotrajnih i kratkotrajnih koncentracija i taloženja.

Determinističkim analizama projektnih nezgoda promatraju se konzervativno ekstremno loši meteorološki uvjeti. Radi toga modelima se određuju kumulativne krivulje satnih koncentracija višegodišnjeg perioda. Određuju se zatim koncentracije unutar 95-tog i 99,5-tog percentila, relevantne za proračun posljedica i definiranje zaštitnih mjera kakav je koncept ekskluzivne zone ili zone niske naseljenosti u okolini nuklearne elektrane.

Vjerojatnosnim pristupom sagledava se akcident kao slučaj događaj u odnosu prema mogućim meteorološkim uvjetima čime se dobiva kumulativna krivulja vjerojatnosti primitka određenih doza odnosno konsekvencija. Na taj način rade složeni modeli za analize posljedica akcidentalnog ispuštanja u atmosferu CRAC2 (L. [15]) i TIRION (L. [16]), koji se koriste u Institutu.

Specijalno za potrebe nuklearne elektrane Krško, u suradnji s RHMZ-om, razvijen je model trajektorija koji omogućuje realne simulacije strujanja kontaminiranog zraka u okolini.

### c) Procjena radioaktivnih doza i rizika

Procjena radioaktivnih doza pojedinca i populacije obuhvaća proračun doza primljenih udisanjem radioaktivnog zraka, doza primljenih ekspozicijom radionuklidima istaloženim na zemlju, doza zbog uronjenosti, u radioaktivni oblik ili kontaminiranu vodu te doza primljenih kontaminiranom hranom. Navedeni putovi, redovno se analiziraju pri proračunu doza primljenih rutinskim ispuštanjem u atmosferu, a pri akcidentalnom se ispuštanju, zbog relativno kratkog vremena, obično promatra samo inhalacija i uronjenost u radioaktivni oblak.

Proračun doza provodi se za pojedine organe i cijelo tijelo. Doze cijelog tijela izračunavaju se zbrajanjem doza pojedinih organa, množenjem težinskim fakto-

rom, čime se dobivaju tzv. efektivne ekvivalentne doze. Važne su godišnje doze i doze koje se akumuliraju u organima u toku cijelog života (obično se promatraju za 50 ili 70 godina).

Na proračun doza nadovezuju se modeli za procjenu fatalnih kancerogenih bolesti i genetskih efekata zbog doza apsorbiranih u pojedinim organima. Proračun rizika zasniva se na pretpostavci da je svaka doza štetna i da postoji linearna ovisnost efekta o dozi. Neki modeli omogućavaju pretpostavke segmentnoga linearnog efekta ili nelinearnog odnosa (TIRION, naprimjer). Programi za proračun rizika koriste se vrlo velikim bankama podataka s konverzijskim faktorima odnosa doza — efekti. Konverzijski faktori definiraju se, kao npr. u DARTAB-modelu, za niskoletalne i visokoletalne doze, različite putove ozračenja, pojedine organe i sve radionuklide.

Za proračun doza i rizika, osim koncentracija radionuklida i taloženja, potrebni su i podaci o populaciji u ugroženoj okolini, podaci o agrokompleksu, karakteristika prehrane stanovništva i stoke, o bioakumulacijskim faktorima te konverzijski faktori za proračun doza. Oni su obično sadržani u programima. U analizi akcedenata potrebno je definirati strategije evakuacije i zaštite stanovništva.

U Institutu za elektroprivredu primjenjuju se modeli proračuna doza ukorak s prvim analizama vezanim za NE Krško. U posljednjih se nekoliko godina osim proračuna doza obavljaju procjene rizika za normalan rad i akcidentalna stanja.

S obzirom na vrlo opsežne ulazne podatke proračuna, u Institutu je razvijen niz pomoćnih programa za pripremu i predobradu podataka. Među najčešće primjenjivanim programima toga tipa je DEMOS, za definiranje prostornog rasporeda i procjenu stanovništva u okolini NE, i program PRPOLJ, za definiranje prostornog rasporeda agrokompleksa.

U nastavku su navedeni modeli koji se najčešće primjenjuju za proračun doza i rizika.

CAAC — programski sustav za procjenu rizika zbog ispuštanja radioaktivnih tvari u atmosferu pri normalnom radu NE. Sustav sadrži program za pripremu podataka (PREDA), program za proračun transporta i doza (AIRDOSEPA) te program za proračun rizika (DARTAB). Izrađen je za potrebe Američke agencije za zaštitu okoline.

CRAC2 — model za proračun rizika zbog akcidenta u NE i pripadnih troškova. Primijenjen je u poznatoj studiji rizika WASH-1400 (L. [11]).

TIRION4 — procjenjuje posljedice akcidentnog ispuštanja radioaktivnosti u atmosferu. Koristi se u Velikoj Britaniji.

GASPAR — program za proračun doza zbog rutinskog ispuštanja u atmosferu.

Osim navedenih modela upotrebljavaju se i modeli specifičnih namjena, te modeli različitih zemalja koji obrađuju istu problematiku, a primjenjuju se u analizi osjetljivosti i pouzdanosti rješenja.

## 4. ISPUŠTANJE ONEČIŠĆIVAČA U HIDROSFERU

### 4.1. Neradiološka zagađivala

Do ispuštanja većih količina neradiaktivnih onečišćivača u vodu može doći nepažnjom i mogućim tehničkim nezgodama. Potencijalna opasnost za veća ispuštanja tog tipa prisutnija je u postrojenjima koja imaju uređaje za odsumporavanje ili denoksidaciju dimnih plinova, u kojima u tehnologiji pročišćavanja upotrebljavaju veće količine reagensa. S obzirom na relativno malen utjecaj, taj oblik onečišćenja nije uobičajeno razmatrati na nivou koji bi zahtijevao primjenu složenijih matematičkih modela.

### 4.2. Radioaktivni onečišćivači

#### a) Emisija

Vrlo se male količine radioaktivnih onečišćivača ispuštaju pri normalnom radu nuklearne elektrane u obliku tekućeg ispusta. Novija rješenja obrade radioaktivnoga tekućeg otpada u nuklearnoj elektrani omogućuju potpunu redukciju tog oblika ispuštanja. Akcidentalna ispuštanja u vodotoke, premda su moguća, zbog male vjerojatnosti i relativno manjeg inventara ispuštanja, nisu takvo znatna kao ispuštanja u atmosferu. Ozbiljne posljedice moguće su pri najvećim akcidentima zbog zatajivanja svih sigurnosnih sistema, tzv. kineskog sindroma, kada velike doze radioaktivnosti mogu prodrijeti u podzemne vode.

Za utvrđivanje emisije radionuklida pri normalnom radu u Institutu se primjenjuje već spomenuti model GALE, a za akcidenta ispuštanja služe iskustveni podaci o radioaktivnim inventaru.

#### b) Transport radionuklida površinskom vodom

Modelima transporta radionuklida površinskom vodom određuje se prostorni raspored koncentracija u vodi i depozicija na obale i dno. Primjenjuje se velik broj modela, od jednostavnih algebarskih do složenih multidimenzionalnih modela baziranih na numeričkom rješavanju adveksijsko difuzijskih i pripadnih hidrodinamičkih jednadžbi. Pri modeliranju je uobičajeno da se odvojeno sagledavaju zone miješanja u blizini izvora i dalje od njega. U blizini izvora dominantni su faktori inercijski i uzgonski efekti ispuštanja te dubina i stanje vode u koju se radionuklidi ispuštaju, a u području udaljenom od izvora dominantna je geometrija vodene mase, odnosno tipa vodne površine.

Za proračun transporta radionuklida površinskom vodom u Institutu se primjenjuju jednostavniji analitički modeli kakav je model DUNA2 i modelski sustav LPGS. DUNA2 je model razvijen za transport radionuklida velikim rijekama. LPGS modelira disperziju u rijekama, jezerima, moru i podzemnim vodama (L. [17]).

#### c) Proračun doza i rizika

Proračun doza zbog ispuštanja radionuklida u površinske vode zasniva se na sagledavanju sljedećih putova ozračenja: ingestije vode, ingestije hrane i vode, vanjskog ozračenja s kontaminirane obale, vanjskog ozračenja zbog uronjenosti u kontaminiranu vodu.

Osnovni principi utvrđivanju doza jednaki su onima pri proračunu doza zbog ispuštanja u atmosferu. Računaju se individualne i populacijske doze, individualni rizik najugroženijih pojedinaca i ukupni rizik populacije.

U Institutu se za proračun doza koristi model LAD-TAP, izrađen po preporukama američke regulative za rutinska ispuštanja, a za proračun doza zbog akcidentnog ispuštanja i pripadnog rizika primjenjuje se modelski sustav LPGS.

## 5. UTJECAJ ZBOG TOPLINSKOG OPTEREĆENJA

### 5.1. Toplinsko opterećenje vodotoka

Utjecaj zbog ispuštanja velike količine topline u vodotok očituje se utjecajem na biljke i životinjske vrste u vodi, sadržaj otopljenog kisika i autoporofikacijske sposobnosti vode, klimu i pojavu magle, na nizvodne korisnike vode, na podzemne vode i sl. Da bi se navedeni utjecaji mogli valorizirati, potrebno je odrediti temperaturu vode vodotoka u različitim situacijama.

Za utvrđivanje prijenosa topline s toplinski opterećenog vodotoka i temperature vodotoka primjenjuje se model TEMP (L. [18]), razvijen u Institutu. Model TEMP služi za simulacije satnih vrijednosti temperature vode srednje velikoga riječnog toka. Verifikacija tog modela dobivena je usporedbom s podacima opsežnog mjerenja temperature rijeke Save.

### 5.2. Toplinsko opterećenje atmosfere

Utjecaj rashladnih tornjeva termoenergetskih postrojenja dominantan je oblik toplinskog opterećenja atmosfere. U Institutu se za analizu utjecaja rashladnih tornjeva na okolinu primjenjuje model ANL (L. [19]). Pomoću modela ANL, za određeni se vremenski interval mogu procijeniti sljedeći utjecaji:

- učestalost pojave i veličina perjanice rashladnih tornjeva
- vrijeme zasjenjenja tla u okolini rashladnih tornjeva
- količina vode i krutih tvari koja padne na okolino tlo
- mogućnost uzrokovanja magle
- mogućnost uzrokovanja mraza.

Model se koristi vrlo ekstenzivnim meteorološkim podacima, a predviđen je za proračun utjecaja različitih tipova rashladnih tornjeva. Zasada je korišten za procjenu utjecaja rashladnih tornjeva NE Krško.

## 6. ZAKLJUČAK

U radu je dan prikaz matematičkih modela za procjenu utjecaja termoenergetskih postrojenja na okolinu, s posebnim osvrtom na modele koji se primjenjuju u Institutu za elektroprivredu. Suradnja Instituta s mnogim institucijama koje se u svijetu bave istom problematikom (RSIC, IAEA, NEA, itd.) omogućuje konstantnu prisutnost u suvremenim tokovima razvoja modela za procjenu utjecaja na okolinu.

S razvojem kompjutera primjenjuju se sve složeniji modeli procjene, koji omogućuju vrlo pouzdanu kvantifikaciju parametara relevantnih za ocjenu utjecaja na okolinu. Često se događa da je raspoloživost i točnost ulaznih podataka posebno meteorološko-hidroloških, ograničavajući faktor njihove primjene. To je očito u našim uvjetima, u kojima postoje zadovoljavajuće baze podataka, osim za nekoliko energetskih lokaliteta.

U budućnosti se može očekivati daljnji razvoj modela, s naglaskom na modele specijalne namjene. Tendencija je da se takvi modeli objedine u tzv. korisniku orijentirane programske sustave koje bi mogli jednostavno primijeniti i stručnjaci koji nisu usko specijaliziranih.

## LITERATURA

- [1] B. NADINIĆ: »Proračun emisije ekološki značajnih elemenata i spojeva iz TE Plomin I i II za različite postupke odsumporavanja dimnih plinova«, Energija 3, 1987.
- [2] UNAMAP (Version 5): Users Network for Applied Modeling of Air Pollution, NMS, Springfield, 1986.
- [3] V. JELAVIĆ: »Komparativna analiza računskih modela disperzije iz točkastih izvora onečišćenja«, Energija 2, 1988.
- [4] J. ĆURKOVIĆ, V. JELAVIĆ, Ž. POSTRUŽIN, Z. VARAŽDINEC: »Izbor tehnologije za optimalnu redukciju rizika u okolini TE Plomin«, IE, 1987.
- [5] RANSOM, V. H. et. al.: »RELAP5/MOD1 Code Manual«, USNRC Report NUREG/CR 1826
- [6] MOORE, K. V. et. al.: »RETRAN Program for One Dimensional Transient Thermal-Hydraulic Analysis of Complex Fluid Flow Systems«, EPRI, 1978.
- [7] Los Alamos National Lab.: TRAC-PD2 — An Advanced Best-Estimate Computer Program for Pressurized Water Reactor LOCA, USNRC NUREG/CR-2054, 1981.
- [8] WOOTON, R. O, and H. I. AUCI: »MARCH (Meltdown Accident Reponse Characteristics) Code Description and User's Manual«, NUREG/CR-1711, BCL, Ohio, 1980.
- [9] GULDEN W. et. al.: »KESS, A Program System for the Analysis of Hydrotechnical Core Meltdown Accidents«, USNRC, 1980.
- [10] EPRI: RACAP-1: Reactor Accident Consequences Analysis Program, EPRI NP-1871, Palo Alto, 1981.

- [11] USNRC: Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risk in Vicinity of Commercial Nuclear Power Plants, WASH — 1400, 1975.
- [12] BAYBUTT, P. et. al: »An Assessment of LWR Primary System Radionuklide Retention in Meltdown Accidents Using the TRAP Computer Code«, Tennessee, 1980.
- [13] MOORE et. al: »Computerized methodology for estimating environmental concentrations and dose to men from airborne release of radionuclides«, ORNL, 1979
- [14] USNRC: Computer Program for the Meteorological Evaluation of Routine Effluent Releases et Nuclear Power Stations, NUREG-0324, 1982.
- [15] RITCHE et. al: »CRAC2 Model Description«, USNRC NUREG/CR-2552, 1987.
- [16] FRYER: »A guide to TIRION4 — a computer code for calculating the consequences of releasing radioactive material to the atmosphere«, United Kingdom Atomic Energy Authority, 1978.
- [17] WHITE J. E. and K. R. ECKERMAN: »A Computer Program for Calculating Radiation Exposure Resulting from Accidental Radioactive Releases to the Hydrosphere«, USNRC, NUREG/CR-2974, 1983.
- [18] MALBAŠA N.: » Prilog analizi prijenosa topline s toplinski opterećenog vodotoka, doktorska disertacija, 1988.
- [19] B. NADINIĆ: »Procjena utjecaja na okolinu rashladnih tornjeva NE Krško«, Energija 6, 1986.

### MATHEMATICAL MODELS FOR EVALUATION OF TPP IMPACT ON THE ENVIRONMENT

In the paper is presented a model for evaluation of TPP impact on the environment. Described are base principals of some models as well as the model applied in »Institut za elektroprivredu«. The model calculates impact on the air pollution, hydrosphere and thermal load on the environment.

### MATHEMATISCHE MODELLE ZUR BEURTEILUNG DES EINFLUSSES DER THERMOENERGETISCHEN ANLAGEN AUF DIE UMWELT

In dieser Arbeit spricht man über die Modelle zur Beurteilung des Einflusses der thermoenergetischen Anlagen auf die Umwelt. Es werden Grundthesen einzelner Modellgruppen beschrieben. Geschildert werden Modelle die am Institut für die Elektrowirtschaft angewendet werden. Man spricht über den Einfluß der Atmosphäre — Verschmutzung, der Hydrosphäre sowie über die Wärmebelastung der Umwelt.

### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

В работе приводится обзор моделей оценки влияния теплоэнергетических установок на окружающую среду. Описаны основные положения отдельных групп моделей и представлены модели, применяемые в Институте электрохозяйства. Рассматривается влияние загрязнения атмосферы, гидросферы и тепловой нагрузки на окружающую среду.

Naslov pisaca:

**Mr. Vladimir Jelavić, dipl. inž.**  
**Dr. Jure Ćurković, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb,**  
**Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-05-04



# ASTRA

**SPONZOR-SUORGANIZATOR  
UNIVERZIJADE '87**

ZAGREB  
JUGOSLAVIJA



n. sol. o. OOUR-a  
41000 ZAGREB, Varšavska 9  
Telefon: 041/427-111  
Telegram: ASTRA — ZAGREB  
Telex: 21177, 21254 YU MASEX, 21125,  
21281 YU ASTRA

- opskrba poljoprivrede sjemenskom robom, re-produkcijskim materijalom, strojevima i alatima;
- opskrba stranih brodova i jahti u domaćim lukama i marinama.

## Djelatnosti na vanjskom tržištu:

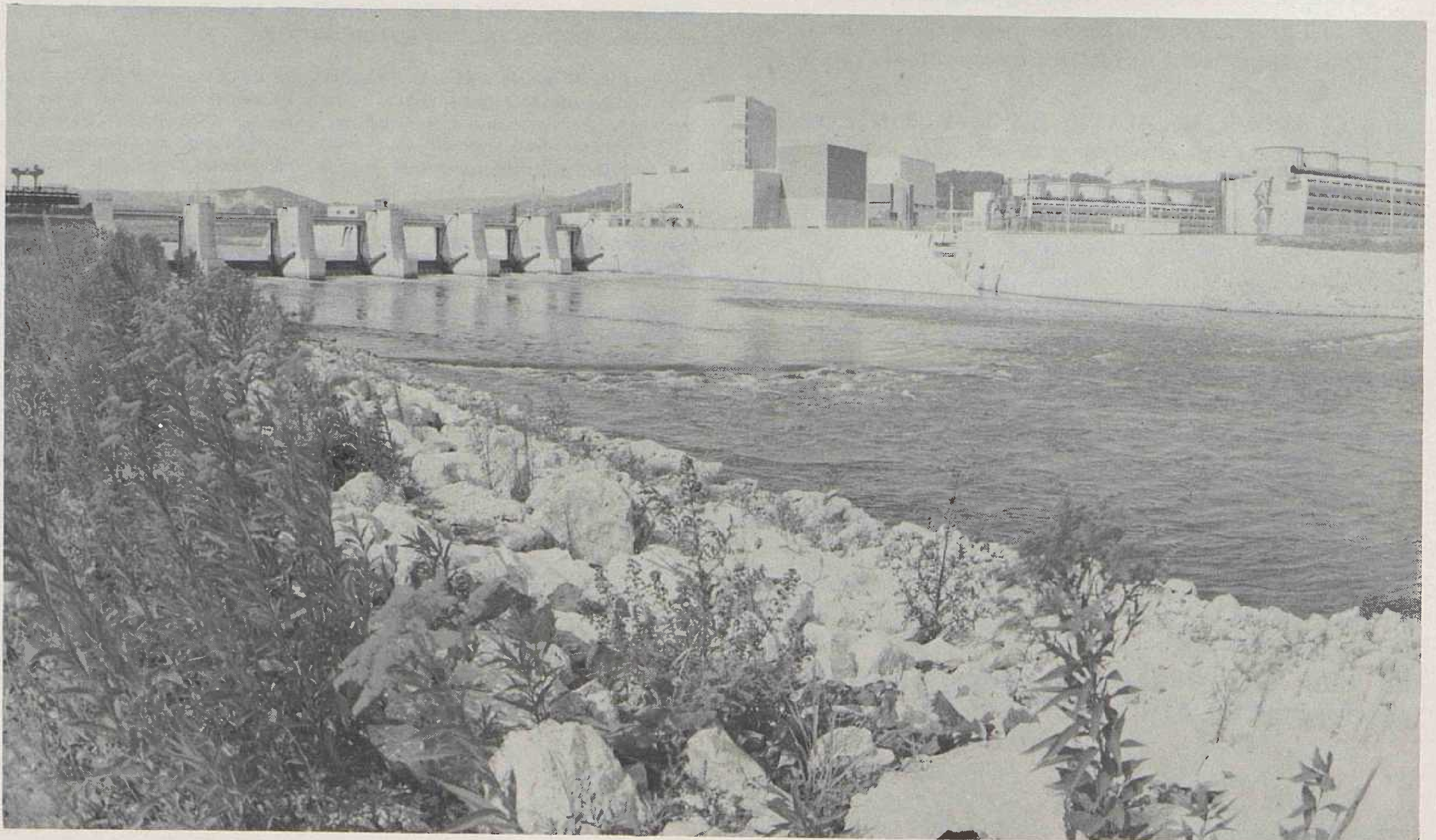
- izvoz-uvoz kompletnih objekata, postrojenja i opreme za sve grane industrije;
- izvoz-uvoz brodova i aviona;
- izvoz-uvoz poljoprivredno-prehrambenih proizvoda;
- međunarodno trgovinsko posredovanje;
- međunarodna trgovina putem mreže inozemnih firmi i predstavništava;
- zastupanje inozemnih firmi.

## Djelatnosti na unutrašnjem tržištu:

- ugostiteljsko-hotelijerska djelatnost putem vlastitih hotela, ugostiteljskih objekata, sportsko-rekreacijskih sadržaja, te prodaja avio-karata i aranžmana putem vlastite turističke agencije;
- prodaja, održavanje i popravak automobila iz programa VOLKSWAGEN-AUDI, te tehnički pregled svih vrsta vozila;

## OSNOVNE ORGANIZACIJE UDRUŽENOG RADA:

- **OOUR ZASTUPSTVO INOZEMNIH FIRMI**, Zagreb, Gajeva 5
- **OOUR MEĐUNARODNA TRGOVINA**, Zagreb, Gajeva 5
- **OOUR MAŠINOIMPEX**, Zagreb Varšavska 9
- **OOUR ZA VANSJKU I UNUTRAŠNJU TRGOVINU POLJOPRIVREDNO-PREHRAMBENIH PROIZVODA**, Zagreb, Harambašićeva 19
- **OOUR AUTOMOBILNE DJELATNOSTI**, Velika Gorica, Zagrebačka bb
- **OOUR UGOSTITELJSTVO**, Stubičke toplice
- **OOUR UGOSTITELJSTVO TOPLICE**, Krapinske Toplice
- **OOUR UGOSTITELJSTVO KUMROVEC**, Tuheljske Toplice



NE KRŠKO za koju je veliki dio opreme uvezla R. O. Mašinoimpex

# O NAPONSKOM SLOMU I PRILIKAMA U ZAPADNOM DIJELU JUGOSLAVENSKOGA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Mr. Zdenko Tonković, Zagreb

UDK 621.316.91  
PREGLEDNI RAD

U članku se ukratko izlaže bit naponskog sloma i daje osvrt na prijedlog praćenja međurepubličke razmjene jalovih snaga.

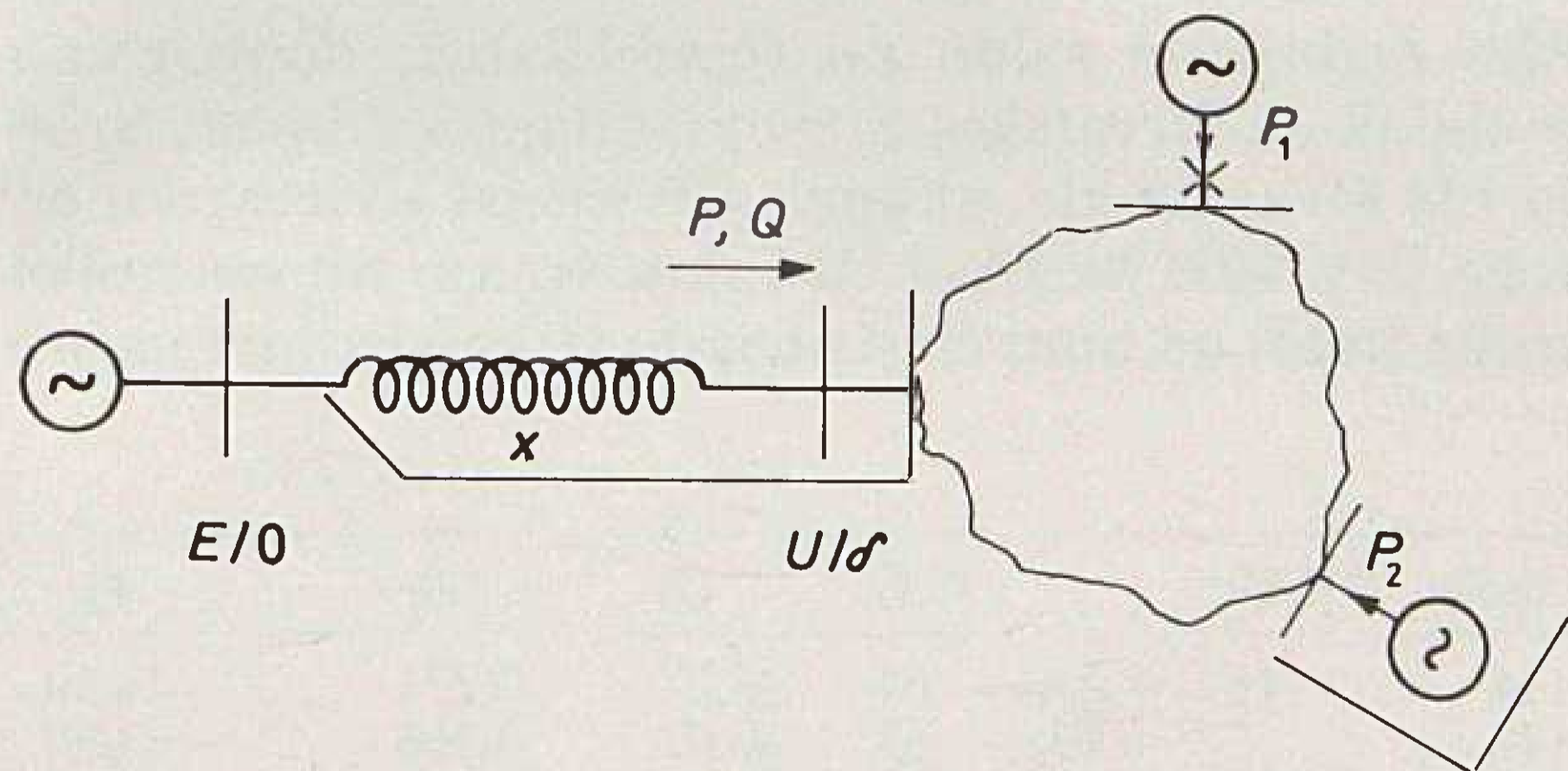
**Ključne riječi:** jalova snaga, naponski slom, međurepublička razmjena.

## I.

Raspad sistema 1. VIII. 1986. paradigmatički je sažeo sve slabosti jugoslavenskoga elektroenergetskog sistema, posebno njegova zapadnog dijela. U provedenoj analizi tog događaja te su slabosti ukratko rekapitulirane i nekoliko smo ih puta sažeto iznosili više kao pravce razmišljanja negoli kao iscrpnu elaboraciju; L. [1], [2].

Ovom bismo se prilikom osvrnuli samo na osnovnu slabost koja trajno prijeti kolapsom, naponskim slomom. To je deficitarnost zapadnog dijela sistema jalovom snagom.

Problem ćemo prikazati jednostavnim modelom, a fizikalnu je sliku lako generalizirati. Pretpostavimo da se jednim vodom reaktancije  $X$  prenosi snaga od jakog izvora do neke slabe mreže koju napadaju dva generatora (prema L. [3]), sl. 1.

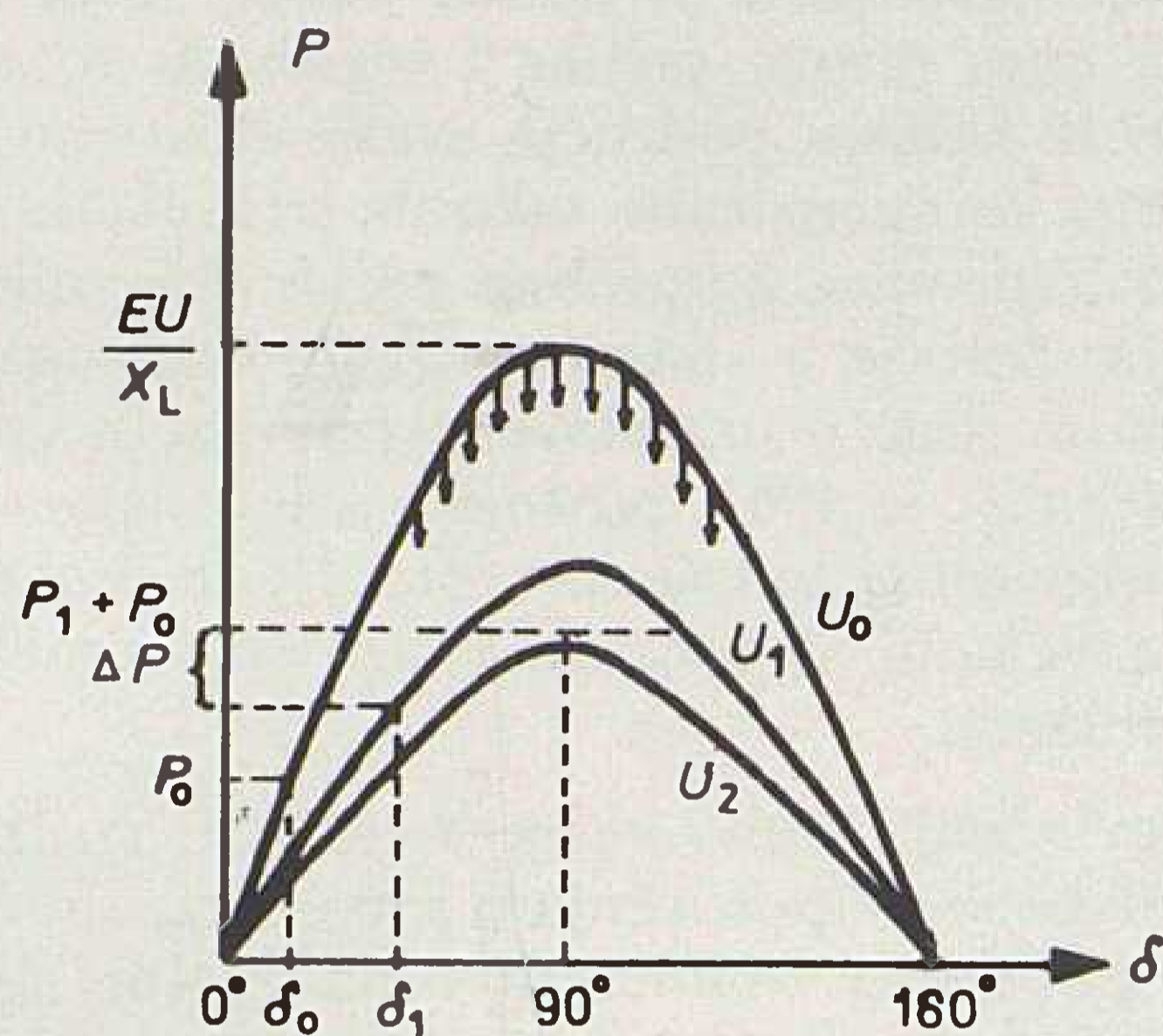


Slika 1.

Poznato je da veličina prijenosa djelatne snage ovisi o modulu i kutu napona na krajevima voda:

$$P = \frac{E \cdot U}{X} \sin \delta$$

Snaga prijenosa očito bi se mogla povećati sve dok se moduli napona ne razmaknu za električnih  $90^\circ$  (sl. 2).



Slika 2.

No taj je zakon samo dio pune istine o mogućnosti prijenosa, jer mu treba pridružiti i ovisnost jalove snage o naponima:

$$Q = \frac{EU \cos \delta}{X} - \frac{U^2}{X}$$

Za prijenos maksimalne djelatne snage potrebno je osigurati kompenzaciju voda

$$\frac{E^2 + U^2}{X}$$

Veličina potrebne jalove snage u svakom krajnjem čvorištu jednaka je, dakle, redu veličine prijenosa djelatne snage! Budući da su mogućnosti podrške u jalovoj snazi ograničene, maksimalna moguća snaga prijenosa znatno je ispod kuta  $90^\circ$  između modula napona na krajevima voda. Obično se uzima margina stabilnosti 30%, što odgovara električnom kutu  $44^\circ$ ; L. [4].

Pri toj konstataciji valja upozoriti na dvije činjenice: na veličinu jalove snage i njezinu lokaciju.

Jalova snaga, dakle, ograničava prijenos, pa je stoga uglavnom deplasirano govoriti o termičkoj granici u superponiranoj mreži. To je osobito izraženo u kon-

kretnoj situaciji tranzita na »Zapad« — i dugačke vodove 400 kV (Ernestinovo—Tumbri, 233 km i Obrovac—Melina, 181 km).

Vratimo se modelu sa slike 1. Što bi se dogodilo ispadom jednog od dva generatora u slaboj mreži? Napon u mreži pao bi na  $U_1$ , a prijenos bi se povećao za veličinu  $P_1 - \Delta P$ , pri čemu je  $\Delta P$  redukcija potrošnje zbog nižeg napona. Zbog većeg prijenosa kut između modula napona na sabirnicama jakog izvora i slabe mreže pao bi na  $\delta_1$ . U narednim bi trenucima preostali generator nastojao povećati uzbudu, a regulacijski transformatori nastojali bi vratiti teret na veličine prije kvara: prijenos se povećava na  $P_0 + P_1$ . Napon pada prema  $U_2$ , a za to stanje više nema presjecišta između snage prijenosa i funkcije  $P=f(\delta)$ . Rezultat je slom napona.

## II.

Zbog svoje podmuklosti jalovu snagu valja stalno držati na oku: pratiti prilike i regulirati tokove. U idealnom bi slučaju područje svake elektroprivrede trebalo biti kompenzirano tako da cirkulacija preko republičkih granica, a posebno preko državnih bude što manja. Zato je u »Samoupravnom sporazumu o zajedničkom radu u jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu« iz 1981. postojao jedan oštar član s točnom obavezom potpisnika (čl. 61), ali je u ovogodišnjoj novelaciji »Sporazuma« taj član omekšan i sasvim ublažen.

Velika povlačenja jalove snage iz SUDEL-a u Jugoslaviju i konstantna upozorenja o tome ukazuju na umjerenost globalnog bilanciranja na razini sistema. Donekle bi bio koristan takav saldo i na republičkim granicama, iako je njegova konkretna upotrebljivost relativna, pa bi valjalo podržati inicijativu EGS-a za potrebom kontrole protoka jalovih snaga na međurepubličkim dalekovodima. To bi mogao biti prvi korak s potencijalnim daljnim akcijama; L. [5].

Ilustrirat ćemo taj prijedlog na primjeru superponirane 400 kV-tne i 220 kV-tne mreže Hrvatske — ali u njenoj eventualnoj provedbi i implementaciji svakako treba uvesti i 110 kV-tne vodove zbog njihove brojnosti i značenja (priključene elektrane).

U donjoj je tablici za svaki međurepublički 400 kV-tni i 220 kV-tni dalekovod izračunata njegova induktivna reaktancija i kapacitivna susceptancija za dio na teritoriju Hrvatske.

Svi 400 kV-tni dalekovodi imaju po dva vodiča u snopu Al/Č 490/65 sa  $X=0,33 \Omega/\text{km}$  i  $B=3,6 \mu\text{S}/\text{km}$ , a svi su 220 kV-tni dalekovodi Al/Č 360/57 (osim onog Pehlin-Divača koji ima Al/Č 490/65) i uzeto je  $X=0,42 \Omega/\text{km}$  i  $B=2,7 \mu\text{S}/\text{km}$ .

Poznavajući napon  $U$  (kV), tok djelatne snage  $P$  (MW) i jalove snage  $Q$  (Mvar) u incidentnom čvorištu, moguće je odrediti generiranje ( $Q_c$ ) odnosno potrošnju jalove snage ( $Q_L$ ) za svaki od tih dalekovoda:

$$Q_c = U^2 B \quad (\text{DV daje})$$

$$Q_L = -(P^2 + Q^2) \frac{X}{U^2} \quad (\text{DV troši, prima}).$$

Iz tih je relacija očita i korisnost viših napona u sistemu (ali uz opasnost da napon pobjegne izvan dopuštenih granica u slučaju ispada elemenata sistema ili nižega konzuma).

Jalova snaga na svakom promatranom dalekovodu na republičkoj granici tada je:

$$Q_{\text{DV}} = Q + Q_L + Q_c,$$

odnosno za cijelu Hrvatsku

$$Q_{\text{SRH}} = \sum Q_{\text{DV}}.$$

Kao primjer smo očitali napone i tokove 23. V. u 12 sati i naveli ih u nastavku tablice. Na republičkoj se granici vidi da Hrvatska prima

$$Q_{\text{SRH}} = 459 + 90,68 - 193,49 = 356 \text{ Mvar}.$$

U RDC-u postoji mogućnost praćenja razmjene jalovih snaga pomoću tablice s mjerenjima u incidentnim čvorištima na hrvatskoj strani, dakle očišćeno od utjecaja dijela voda od čvorišta do granice. U našem primjeru razlika u pristupu iznosi stotinjak Mvar (459 vs. 356 Mvar).

Taj saldo na granici može biti samo gruba indikacija prilika s jalovom snagom, ali ipak daje neke tragove.

Ako razbijemo saldo po republikama, dobit ćemo podatak da Hrvatskoj Slovenija daje 267 Mvar, Srbija 135 Mvar (dakle, ukupno 402 Mvar) a Hrvatska od toga daje BiH 46 Mvar. U valoriziranju tih podataka treba imati na umu činjenicu da Hrvatska ima izvore

	km <sub>SRH</sub>	X <sub>SRH</sub> (Ω)	B <sub>SRH</sub> (μS)	U (kV)	P/Q	Q <sub>c</sub>	Q <sub>L</sub>	Q <sub>dv</sub>
DV 400 kV Tumbri—Krško 1	32,2	10,63	116	416	-21/- 63	20,07	0,271	-43,20
DV 400 kV Tumbri—Krško 2	32,2	10,63	116		-19/- 63	20,07	0,266	-43,20
DV 400 kV Ernestinovo—»Mladost«	51,7	17,06	186	404	-668/- 118	30,36	48,10	-135,74
DV 400 kV Ernestinovo—Ugljevik	52,6	17,36	189		217/- 22	30,85	5,06	3,79
DV 400 kV Melina—Divača	25,7	8,48	92	412	173/- 77	15,62	1,79	-63,17
DV 400 kV Konjsko—Mostar	68,2	22,51	246	406	-395/ 33	40,55	21,46	52,09
DV 220 kV Mraclin—Cirkovci	75,5	31,71	204	216	-30/- 74	9,52	4,33	-68,81
DV 200 kV Mraclin—Jajce	65,8	27,64	178		-26/ 17	8,30	0,57	24,73
DV 220 kV Međurić—Prijeđor	32,0	13,44	86	215	-76/ 29	3,97	1,92	31,05
DV 220 kV Đakovo—Tuzla 1	26,3	11,05	71	212	-31/- 39	3,19	0,61	-36,42
DV 220 kV Đakovo—Gradačac	27,3	11,47	74		-1/- 20	3,33	0,10	-16,77
DV 220 kV Zakučac—Mostar	49,5	20,79	134	226	-121/- 3	6,84	6,03	-12,19
DV 220 kV Pehlin—Divača	5,8	2,44	16	226	33/- 49	0,82	0,17	-48,35
					-965/- 459	193,49	-90,68	-356,19

izvan republičkih granica i da bi njihovom proizvodnjom jalove snage trebalo bonificirati taj uvoz; isto vrijedi i za dodatne zakupe. Naprimjer, u Sloveniji je bila angažirana snaga NE Krško od 614 MW, 117 Mvar (415 kV), i ako bi se jalova snaga bilancirala kao i djelatna, Hrvatskoj bi pripalo 58,5 Mvar pa bi uvoz iz Slovenije računski bio toliko manji. Na drugoj strani, s obzirom na zakupljene izvore u BiH (Tuzla, Kakanj, Gacko, Dubrovnik), davanje Hrvatske u BiH još je veće od 46 Mvar.

Spomenimo i potrošnju velikih tranzita (o čemu smo već govorili u tekstu o gubicima; L. [7]) koji se tretiraju kao sistemski interes, ali se nedaćama što prate te tranzite tereti lokalna elektroprivreda (gubici, jalova snaga).

Uz poteškoće računskog ekvivalentiranja u saldu na granici jalove snage generirane u izvorima izvan republičkih granica javljaju se i druga razmišljanja.

Razmotrit ćemo primjer NE Krško. Ako bi se uvoz jalove snage iz Slovenije računski smanjivao za polovinu angažirane jalove snage NE Krško, naš bi interes bio što veće angažiranje, a to se, vjerojatno, ne uklapa u plan vođenja pogona u EGS-u i podržavanja naponskog nivoa. Primjer se može generalizirati i za ostale trajno ili na određeno vrijeme zakupljene izvore.

Daljnje je pitanje problem raspodjele deficita unutar republičkih granica i korespondentne situacije s druge strane granice, a o tom bitnom aspektu saldo na granici ne otkriva mnogo.

Pitanje je također kako podržati velike tranzite koji su ove godine posebno intenzivni (i već su jedanput gotovo izazvali raspad sistema, 26. V, istina, ne samo zbog jalove snage).

Sve upućuje na potrebu nadrepubličke obrade jalovih snaga u složenoj i fleksibilno postavljenoj funkciji cilja, sastavljenoj od komponente optimiranja i one sigurnosti, sa stalnom interakcijom između dijelova i cjeline i to na svim naponskim nivoima. Jalova je snaga izrazito sistemsko pitanje, i odugovlačenje efikasnoga i aktivnog suočavanja s njim vodi ubrzanom degradaciji pogona sa značajnim posljedicama. Pregled neizvršenih zaključaka s mnogih dosadašnjih tematskih skupova i komisija bio bi dobar podsjetnik za novi pristup statusu jalove snage.

## LITERATURA

- [1] Z. TONKOVIĆ: »Raspad zapadnog dijela elektroenergetskog sistema Jugoslavije 1. VIII. 1988«, »Energija«, br. 2, Zagreb, travanj 1987, str. 107–119.
- [2] Okrugli stol »Energije«, »Energija«, br. 5, Zagreb, listopad 1987, str. 394–408.
- [3] Grupa autora: »Planning against voltage collapse«, »Electra«, br. 111, Pariz, ožujak 1987, str. 55–75.
- [4] Grupa autora: »EHV and UHV Line Loadability Dependence on Var Supply Capability«, IEEE—Trans, Vol. PAS-101, No. 9, 1982, str. 3568–3575.
- [5] Interni materijal: pismo ZEOH-u od 7. I 1988. iz Sektora eksploatacije EGS-a (autor mr. Marjan Koželj)
- [6] Z. TONKOVIĆ: »Gubici u prijenosnoj mreži Hrvatske«, »Elektroprivreda«, br. 9–10, Beograd, rujan-listopad 1987, str. 408–411.

### VOLTAGE BREAKDOWN AND CONDITIONS IN WESTERN PART OF YUGOSLAV ELECTRIC POWER SYSTEM

In the paper is briefly described the voltage breakdown as well as suggestion for greater flow of reactive power in interconnection lines between republics.

### ÜBER DEN SPANNUNGSANFALL UND DIE VERHÄLTNISSE IM WESTLICHEN TEIL DES JUGOSLAWISCHEN ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEMS

Im Artikel wird in Kürze das Wesentliche des Spannungsausfalls erklärt und eine Betrachtung auf den Vorschlag der Untersuchung des Austausches der Verlustkräfte zwischen den Republiken gegeben.

### О КРУШЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ И ПОЛОЖЕНИИ В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЮГОСЛАВСКОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В статье вкратце излагается сущность крушения напряжения и рассматривается предложение о наблюдении за межреспубликанском обмене реактивной мощности.

Naslov pisca:

**Mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb,**  
**Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-05-25





1927 — 1987.

Radna organizacija

**„ELKA”**

Tvornica električnih kabela

s neograničenom odgovornošću

OOOR-a

Zagreb, Žitnjak bb

Tel.: 223-999

Telex: 21-193, P. O. B. 150

## **PROIZVODNI PROGRAM:**

Energetski kabele za napone:

1 kV — s termoplastičnom izolacijom

10 kV — s izolacijom od:

— umreženog polietilena

— etilen-propilena

— PVC-a

20 kV — s izolacijom od:

— umreženog polietilena

— termoplastičnog polietilena

35 kV — s izolacijom od:

— umreženog polietilena

— etilen-propilena

Termoplastikom izolirani instalacijski vodovi i kabele,

Gumom izolirani instalacijski vodovi i kabele,

Brodski kabele izolirani etilen-propilenom i plaštom od neoprena,

Samonosivi kabelelki snopovi Elkalex-1,

Telekomunikacijski kabele s izolacijom i plaštom od termoplastičnih materijala,

Telefonske montažne žice,

Specijalni vodovi i kabele,

Rudarski kabele,

Optički kabele,

Lakirana žica,

Aluminijska, alu-čelična i E-ALMg 1 užad,

Čelična užad za dizalice, brodove i druge namjene,

Konektori,

Umreživi polietilen.

# KOMPENZACIJA JALOVE SNAGE I ENERGIJE U DISTRIBUTIVNIM MREŽAMA

Mr. Željko Rajić — Dasenko Baldasari, Zagreb

UDK 621.3.016.25:621.316  
PRETHODNO SAOPĆENJE

U radu je opisan problem toka jalove snage kroz radjelnu mrežu i njezin negativan utjecaj na gubitke radne snage i energije, naponske prilike i propusnu moć sistema. Naznačen je optimizacijski postupak određivanja veličine i razmještaja kondenzatorskih baterija tako da se postignu najveće uštede. Na realnom primjeru distributivne mreže ilustrirani su energetske efekti kompenzacije i verificirane pripadne financijske uštede.

**Ključne riječi:** razdjelna mreža, jalova snaga i energija, racionalizacija, kompenzacija.

## 1. UVOD

Zadatak elektroenergetske mreže jest prijenos električne energije od izvora do potrošača, uz zadovoljenje svih tehničkih uvjeta kvalitetne isporuke uz najmanje ukupne troškove. Da bi elektroenergetski sistem, a to uključuje i sve njegove sastavne dijelove, mogao što uspješnije funkcionirati, moraju biti ispunjeni uvjeti za pogon koji teži optimalnome. Zato posebnu pažnju treba pridati planiranju i izgradnji sistema te efikasnom praćenju i upravljanju njegovim radom.

Distributivna je električna mreža u mnogim svojim dijelovima podizgrađena te su za takve okolnosti karakteristični relativno visoki gubici električne energije i loše naponske prilike. Pritome stalni nedostatak investicijskih sredstava u cjelokupnome elektroenergetskom sistemu znači, s užeg stajališta distribucije, još veće zaostajanje izgrađenosti mreže u odnosu prema porastu potrošnje. Nadalje, sve se oštrije postavlja problem deformacije oblika napona i struje uzrokovanog pojavom viših harmonika sa svim neželjenim posljedicama.

Sadašnje stanje u distribuciji električne energije karakteriziraju:

- loše naponske prilike
- znatna visina gubitaka
- visok stupanj »zagađenosti« višim harmonicima
- sve veća cijena električne energije, pa prema tome i jalove
- sve ozbiljniji problemi vezani za podmirenje rastuće potrošnje električne energije
- sve veći troškovi poslovanja
- stalno zaostajanje izgrađenosti mreže

što ozbiljno ugrožava kvalitetu opskrbe i sigurnost pogona.

Zato je intenzivnije provođenje mjera racionalizacije potrošnje i eksploatacije u takvoj situaciji očekivana reakcija.

Kompenzacija jalove snage u razdjelnoj mreži, a s tim i određeni pozitivni pomaci u naponskim prilikama, gubicima, rasterećenju mreže i troškovima poslovanja pokazuju se kao efikasna mjera i po brzini realizacije i po izuzetno brzom povratku uložених investicijskih sredstava.

## 2. OSNOVNI RAZLOZI PROVOĐENJA KOMPENZACIJE

Tok struje kroz elemente mreže stvara gubitke radne i jalove snage dane izrazima (1) i (2):

$$\Delta P = I^2 \cdot R = \frac{I_R^2}{\cos^2 \varphi} \cdot R = \frac{P^2}{3U^2 \cos^2 \varphi} \cdot R \quad (1)$$

$$\Delta Q = I^2 \cdot X = \frac{I^2 R^2}{\cos^2 \varphi} \cdot X = \frac{P^2}{3U^2 \cos^2 \varphi} \cdot X \quad (2)$$

gdje su:

- $\Delta P$  — gubici radne snage po fazi [W]
- $\Delta Q$  — gubici jalove snage po fazi [VAr]
- $I$  — jakost struje [A]
- $I_R$  — radna komponenta jakosti struje [A]
- $R$  — radni otpor mreže [ $\Omega$ ]
- $X$  — jalovi otpor mreže [ $\Omega$ ]
- $P$  — radna snaga [W]
- $\cos \varphi$  — faktor snage
- $U$  — nazivni napon [V].

Prema tome, čak kad bi potrošači i zahtijevali samo radnu snagu, u mreži bi se generirala jalovina i nepotrebno izazvala dodatne gubitke.

Na temelju izraza (1) i (2), očito je da se gubici snage mogu smanjiti:

- povećanjem nazivnog napona
- smanjenjem opterećenja mreže

- povećanjem presjeka vodova
- poboljšanjem faktora snage (kompenzacijom).

U postojećoj mreži jedino brzo i djelotvorno rješenje jest kompenzacija.

Tok jalove snage kroz mrežu, osim što suvišno okupira kapacitet elemenata sistema i stvara dodatne gubitke radne snage, nepovoljno djeluje i na naponske prilike.

Uz zadovoljavajuću točnost, pad napona može se prikazati sljedećim izrazom (3):

$$\Delta U \approx \frac{PR + QX}{U} = \frac{PR}{U} \left(1 + \frac{X}{R} \operatorname{tg} \varphi\right) \quad (3)$$

gdje su:

- $\Delta U$  — pad napona [V]
- $Q$  — jalova snaga [VAr].

Kompenzacija u razdjelnim mrežama provodi se ugradnjom kondenzatorskih baterija koje mogu biti paralelno ili serijski priključene.

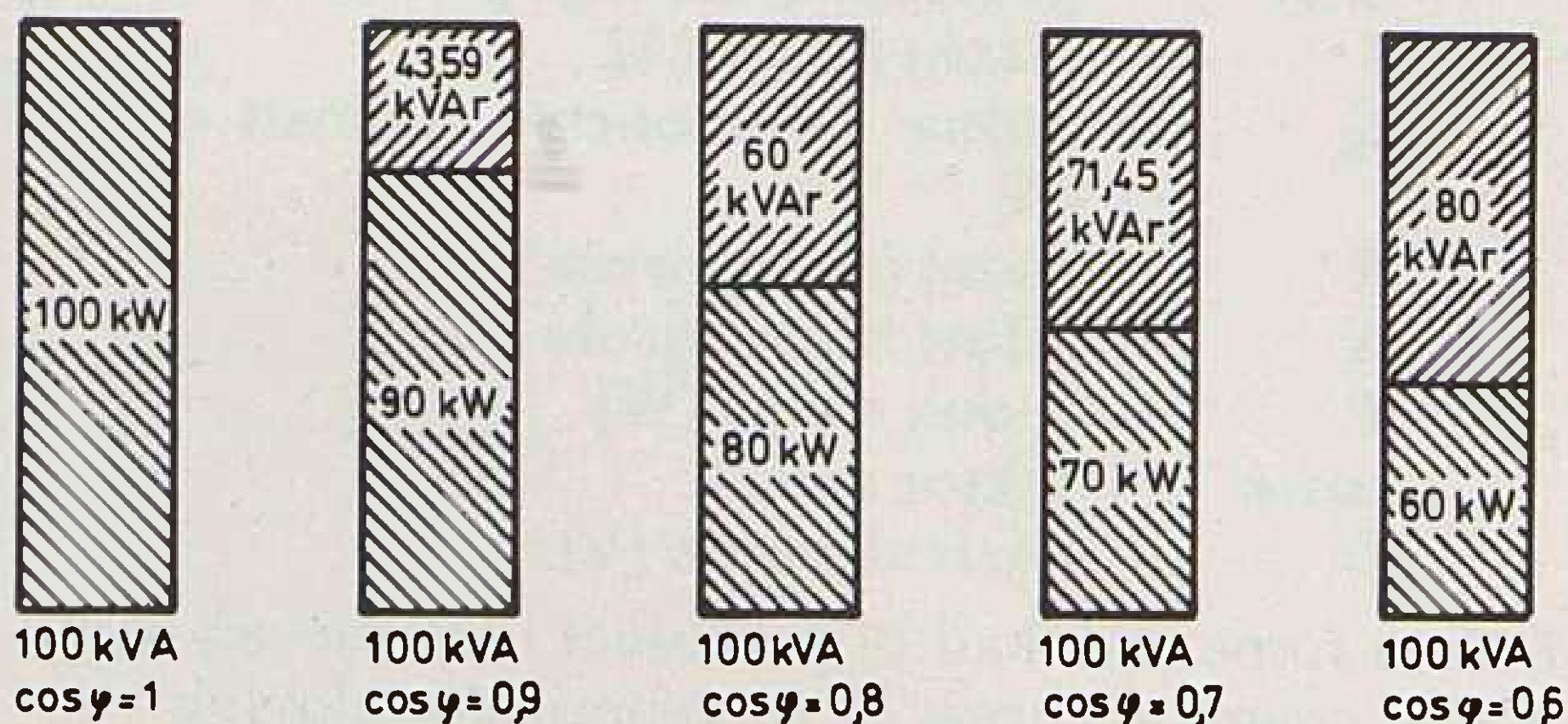
Primjena paralelno priključenih baterija mnogo je povoljnija od serijskog instaliranja kondenzatorskih baterija koje je praćeno znatnim teškoćama (ferorezonancijom u transformatorima, podsinhronom rezonancijom za vrijeme pokretanja motora, zaštitom kondenzatora od struja kratkog spoja) i izvodi se samo u slučajevima izuzetno niskih faktora snage.

Praktično, u distributivnim se mrežama ugrađuju samo paralelno priključene baterije. Njihovom se primjenom ne povećava struja kratkog spoja u mreži, gubici radne snage u njima vrlo su maleni, a za priključenje nisu potrebni transformatori. Najveći nedostatak paralelno instaliranih baterija jest smanjenje njihove snage uz pad napona, a u takvim bi slučajevima bio poželjan upravo suprotan efekt.

Općenito, tehničko-ekonomski efekti kompenzacije jesu:

- rasterećenje električne mreže
- reduciranje gubitaka radne snage
- reduciranje gubitaka radne energije
- poboljšanje naponskih prilika
- reduciranje prekomjerno preuzete jalove energije u sistemima u kojima se penalizira.

Na slici 1. pokazan je negativni utjecaj jalove snage na propusnu moć električne mreže.



Slika 1. Smanjenje protoka radne snage kroz mrežu zbog pogoršanja faktora snage

Valja naglasiti da osim jalove energije koju zahtijevaju potrošači velik utjecaj na ukupnu potrošnju imaju

transformatori i vodovi. Transformatorima je već u praznom hodu potrebna određena količina induktivne jalove struje za magnetiziranje, a s porastom opterećenja »vuku« proporcionalno sve više jalovine. Vodovi, ovisno o vrsti, presjeku, naponskom nivou i opterećenju mogu biti potrošači ili izvori jalove snage i energije. Duljina voda nema kvalitativnog utjecaja na potrošnju, ali je bitna za ukupni količinski doprinos. Povećanjem pogonskog napona raste utjecaj kapacitivne komponente, a utjecaj induktivne se smanjuje. Porast opterećenja, pak, izaziva dodatni induktivni doprinos voda.

### 3. IZBOR MJESTA INSTALIRANJA I VELIČINE KONDENZATORSKIH BATERIJA

Cilj nastojanja je određivanje takvog razmještaja i snage kondenzatorskih baterija da ukupne uštede, umanjene za troškove kompenzacije, budu najveće.

Funkcija cilja može se općenito izraziti kao (4):

$$\max Z = \max (\Delta \Delta P \cdot c_s + \Delta \Delta E \cdot c_e + \Delta E_{\text{prek}} \cdot c_j - T_b) \quad (4)$$

gdje su:

- $\Delta \Delta P$  — smanjenje gubitaka radne snage [kW]
- $\Delta \Delta E$  — smanjenje gubitaka radne energije [kWh]
- $\Delta E_{\text{prek}}$  — smanjenje prekomjerno preuzete jalove energije [kVArh]
- $c_s$  — cijena radne snage [d/kW]
- $c_e$  — cijena radne energije [d/kWh]
- $c_j$  — cijena jalove energije [d/kVArh]
- $T_b$  — ukupni troškovi instaliranja kondenzatorskih baterija [d].

Izraz (4) ne obuhvaća pozitivan utjecaj kompenzacije odnosno odgovarajuće uštede zbog rasterećenja mreže i poboljšanja naponskih prilika. Posebno valja istaknuti problem vrednovanja povećanja propusne moći električne mreže. Na temelju rezultata više provedenih istraživanja svaki bi oslobođeni kilovat trebalo valorizirati faktorom i do 80 puta većim u odnosu prema normalnoj jediničnoj cijeni električne snage.

Uštede zbog smanjenja ili potpunog eliminiranja prekomjerno preuzete jalove energije uzimaju se u obzir samo u distribucijama u kojima se ona penalizira. Naime, prekomjerno preuzeta jalova energija obračunava se na osnovi dogovorenog kriterija i nema pokriće u stvarnim tehničkim gubicima, a njezino naplaćivanje služi kao mjera za poticanje smanjenja jalove potrošnje.

Neki načini rješavanja, precizan oblik, struktura i broj ograničenja funkcije cilja, dane izrazom (4), navedeni su i detaljno opisani u L. [1] i [2].

Za određivanje veličine i razmještaja kondenzatorskih baterija u distributivnoj mreži potrebno je poznavati podatke o glavnim elementima, tj. vodovima i transformatorima te vrijednosti dijagrama opterećenja u čvorovima analizirane mreže. Utvrđivanje

dnevnih dijagrama opterećenja i njihovih promjena u toku promatranog perioda (za potrebe osnovnih proračuna obično se uzima jedna godina) ozbiljan je problem zbog veličine mreže, raznolikosti konzuma i oskudnih pogonskih mjerenja.

Budući da su raspoloživa samo sustavna mjerenja na obračunskim mjernim mjestima, a i ona su manjkava s obzirom na registriranja jalove snage, za potrebe provođenja kompenzacije nužno je razraditi precizan program posebnih mjerenja radne i jalove snage, a u pojedinim čvorovima i napona. Budući da je riječ o mreži s velikim brojem čvorova, nužan je kompromis između broja mjerenja i minimuma podataka zahtijevanih za kvalitetnu realizaciju ugradnje baterija. S obzirom na to da je riječ o višim naponskim nivoima čija opterećenja služe i kao vrlo važan pokazatelj energetske prilika u mrežama nižeg napona koje napajaju, valja utvrditi dnevne diagrame opterećenja u svim transformatorskim stanicama 110/x kV i 35/10 kV. Mjerenja za 10 kV-tne izvode i transformatorske stanice 10/0,4 kV provode se na reprezentativnim uzorcima.

Izbor dijelova 10 kV-tne mreže i pojedinih TS 10/0,4 kV na kojima se obavljaju mjerenja radi se tako da se što točnije utvrdi utjecaj:

- različitih potrošača u strukturi potrošnje
- različitog broja potrošača po TS 10/0,4 kV
- različitog broja TS 10/0,4 kV po 10 kV-tnom izvodu
- TS 10/0,4 kV različite nazivne snage
- različitih tipova 10 kV vodova
- različitih dužina 10 kV-tnih izvoda

da bi se uspostavili funkcijski odnosi između tih fizičkih pokazatelja i izmjerenih veličina, što omogućuje predviđanje energetske prilika i u dijelovima mreže u kojima nije provedeno mjerenje.

Mjerenja u direktno ovisnim dijelovima mreže provode se istodobno s obaveznim obuhvatom radnoga i neradnog dana.

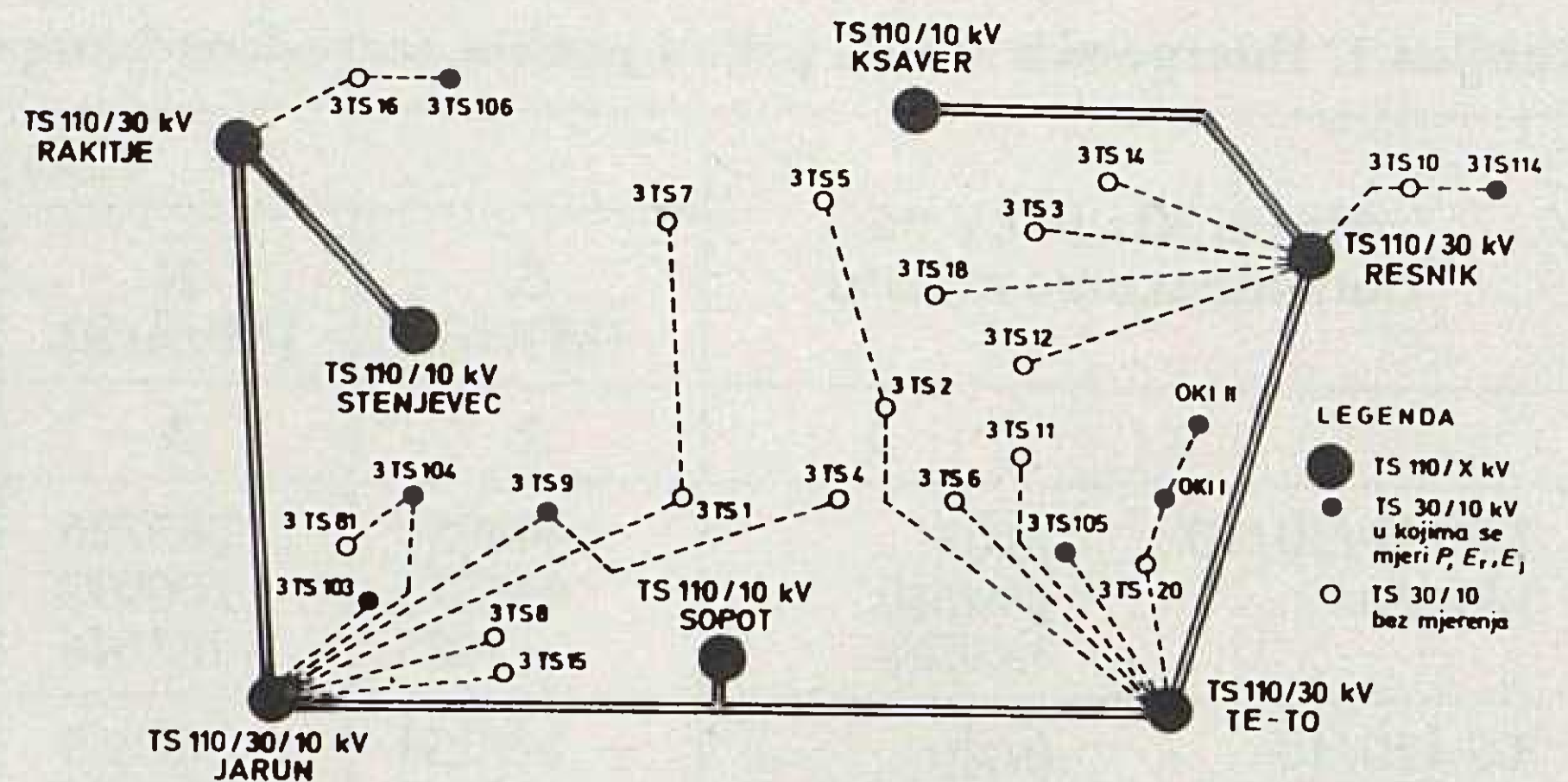
Pravilan izbor dijagrama opterećenja osnova je za točno utvrđivanje tokova snaga kroz mrežu te računanje gubitaka snage i energije prije i poslije kompenzacije odnosno u toku proračuna izbora lokacija i veličine kondenzatorskih baterija.

#### 4. ILUSTRATIVNI PRIMJER

Ukratko ćemo prezentirati procijenjenje efekte kompenzacije u distributivnoj mreži grada Zagreba, čija je praktična realizacija u toku; L. [1].

Na slici 2. shematski je prikazano uobičajeno uklopno stanje 110 kV-tne i 30 kV-tne mreže grada Zagreba.

Energetski efekti kompenzacije (smanjenje jalove energije, smanjenje radnih gubitaka energija i snage) odnose se samo na 10 i 30 kV-tnu mrežu jer 0,4 kV-tna mreža nije razmatrana. Stoga bi stvarni ukupni gubici energije i snage bili veći za gubitke u niskonaponskoj mreži.



Slika 2.

Financijska valorizacija energetske efekata iskazana je u obliku tri uštede, i to kao:

- vrijednost smanjenja gubitaka radne energije ili smanjenja nabave radne energije
- vrijednost smanjenja vršne obračunske snage
- vrijednost smanjenja prekomjerne jalove energije.

Na energetske uštede primijenjeni su tarifni stavovi koji su važili 1. 5. 1987. god., a proračuni su rađeni na temelju obračunskih veličina ostvarenih u 1986. godini. Prikaz energetske efekata provedbe kompenzacije po dijelovima mreže vezane za pojedina obračunska mjesta dan je u tablici 1.

U tablici 2. pokazani su financijski efekti energetske ušteda.

U tablici 3. dana je procjena financijskih ulaganja u kompenzacijske uređaje.

Sredstva potrebna za realizaciju programa kompenzacije dana u tablici 3. pokazuju da se predviđeni program može realizirati za približno  $700 \cdot 10^6$  [d].

Budući da su neposredni financijski efekti kompenzacije u toku jedne godine  $1400 \cdot 10^6$  [d], proizlazi da se ukupna ulaganja pokrivaju dobitima ostvarenim u polugodišnjoj eksploataciji. Međutim, stvarna raspoloživost uređaja malo je niža od pune godine, a i godišnji troškovi eksploatacije čine određeni trošak. Zato je procjena »isplativosti« ugradnje kondenzatorskih baterija ipak malo dulja od šest mjeseci.

Kako je obrazloženo u L. [1], odabrane su fiksne i tipizirane kondenzatorske baterije. Na niskom je naponu odabrana jedinica od 50 kVAr, a na 10 kV-tnom jedinica od 1 200 kVAr.

U obrađivanoj razdjelnoj mreži penalizira se prekomjerno preuzeta jalova energija, pa je jedan od zahtjeva bio i obavezno poboljšanje obračunsko faktora snage iznad 0,95.

Povišenje napona u čvorovima mreže radi instaliranja kondenzatorske baterija bilo je isključivo u funkciji poboljšanja naponskih prilika, bez ikakve opasnosti od prevelikih vrijednosti, čak i u vrijeme malih opterećenja.

S obzirom na porast opterećenja, predložena kompenzacija zadovoljava jer je, u slučajevima kad se očekuje rast potrošnje, ostavljeno dovoljno mogućnosti za dogradnju baterija na racionalan način. Pri tome je potrebno sustavno provoditi odgovarajuća mjerenja radne i jalove snage te napona, koja služe kao osnova za bilo kakvu odluku.

Tablica 1. Energetska stanja prije i poslije provedene kompenzacije u 30 i 10 kV-tnoj mreži grada Zagreba

Mreža 30 i 10 kV na obračunskome mjestu		Energija				Snaga		Obračunski $\cos \varphi$
		$E_T$ [MWh]	$E_j$ [MVArh]	$E_{prek}$ [MVArh]	$\Delta E$ [MWh]	$P_v$ [MW]	$\Delta P$ [MW]	
1		2	3	4	5	6	7	8
TS 110/30/10 »Jarun«	prije	448058	263736	116027	7412	110,231	2,403	0,862
	poslije	446573	100092	—	5927	109,839	2,011	0,976
	razlika	-1485	-163644	-116027	-1485	-0,392	-0,392	
TS 110/10 »Sopot«	prije	140254	107653	61471	1919	31,237	0,542	0,793
	poslije	139752	32589	—	1417	31,137	0,443	0,974
	razlika	-502	-75064	-61471	-502	-0,100	0,099	
TS 110/30 »Rakitje« (»Podsused«)	prije	26413	11251	2542	273	4,294	0,069	0,92
	poslije	26377	6785	—	237	4,286	0,061	0,968
	razlika	-36	-4466	-2542	-36	-0,008	-0,008	
TS 110/10 »Stenjevec«	prije	123038	70180	29644	1665	31,085	0,494	0,868
	poslije	122758	26862	—	1385	31,030	0,439	0,977
	razlika	-280	43318	-29644	-280	-0,055	-0,055	
TS 110/30 »Resnik«	prije	491251	142840	4689	16233	99,170	3,790	0,96
	poslije	489728	110906	—	14710	98,950	3,563	0,975
	razlika	-1523	-31934	-4689	-1523	-0,22	-0,227	
TS 110/30 »TE – TO«	prije	498797	139341	1943	8070	95,168	2,167	0,963
	poslije	498555	125395	—	7828	96,124	2,123	0,970
	razlika	-242	-13946	-1943	-242	-0,044	-0,044	
TS 110/10 »Ksaver«	prije	118188	36403	3026	2543	25,402	0,598	0,956
	poslije	117902	22710	—	2257	25,357	0,553	0,982
	razlika	-286	-13693	-3026	-286	-0,045	-0,045	
Ukupno	prije	1845999	771404	219342	38115	396,587*	10,063	0,923
	poslije	1841645	425339	—	33761	395,723	9,193	0,974
	razlika	-4353	-346065	-219342	-4353	-0,864	-0,870	

\* Suma vršnih opterećenja obračunskih mjesta.

Tablica 2. Financijski efekti energetskih ušteda postignutih kompenzacijom

10<sup>6</sup> din

Mreža na obračunskome mjestu	Ušteda radne energije	Ušteda jalove energije	Ušteda vršne snage	Ukupno
»Jarun«	17,0	678,8	27,1	722,9
»Sopot«	5,9	366,2	6,5	378,6
»Rakitje« (Podsused)	0,4	14,0	0,5	14,9
»Stenjevec«	3,27	166,1	3,5	172,87
»Resnik«	17,57	29,6	17,6	64,77
»TE – TO«	2,85	10,9	2,73	16,48
»Ksaver«	3,3	17,2	3,1	23,6
Ukupno	50,29	1282,8	61,03	1394,12

Tablica 3. Procjena financijskih ulaganja u kompenzacijske uređaje

Obračunsko mjerno mjesto	Snaga uređaja [MVArh]	Kom.	Jedinična cijena [d]	Ukupno [d]	Sveukupno [d]
»Jarun«	2 × 1,2	2	90 · 10 <sup>6</sup>	180 · 10 <sup>6</sup>	367,5 · 10 <sup>6</sup>
	2 × 2,4	1	105 · 10 <sup>6</sup>	105 · 10 <sup>6</sup>	
	0,05	150	0,55 · 10 <sup>6</sup>	82,5 · 10 <sup>6</sup>	
»Sopot«	2 × 2,4	1	105 · 10 <sup>6</sup>	105 · 10 <sup>6</sup>	142,4 · 10 <sup>6</sup>
	0,05	68	0,55 · 10 <sup>6</sup>	37,4 · 10 <sup>6</sup>	
»Rakitje«	0,05	10	0,55 · 10 <sup>6</sup>	5,5 · 10 <sup>6</sup>	5,5 · 10 <sup>6</sup>
»Stenjevec«	2 × 1,2	1	90 · 10 <sup>6</sup>	90 · 10 <sup>6</sup>	116,4 · 10 <sup>6</sup>
	0,05	48	0,55 · 10 <sup>6</sup>	26,4 · 10 <sup>6</sup>	
»Resnik«	0,05	60	0,55 · 10 <sup>6</sup>	33 · 10 <sup>6</sup>	33 · 10 <sup>6</sup>
»TE – TO«	0,05	30	0,55 · 10 <sup>6</sup>	16,5 · 10 <sup>6</sup>	16,5 · 10 <sup>6</sup>
»Ksaver«	0,05	30	0,55 · 10 <sup>6</sup>	16,5 · 10 <sup>6</sup>	16,5 · 10 <sup>6</sup>
Ukupno	na 10 kV	5		480 · 10 <sup>6</sup>	697,8 · 10 <sup>6</sup>
	na 0,4 kV	396		217,8 · 10 <sup>6</sup>	

## 5. ZAKLJUČAK

Ugradnjom kondenzatorskih baterija u distributivnu mrežu smanjuju se gubici radne snage i energije, povećava propusna moć mreže i popravljaju naponske prilike. Činjenica da se kompenzacijom bitno smanjuje ili potpuno eliminira prekomjerno preuzeta jalova energija također znači visoke neposredne financijske efekte u distribucijama u kojima se penalizira.

Energetski i financijski učinci koji se postižu kompenzacijom čine je jednom od najdjelotvornijih mjera racionalizacije u razdjelnoj mreži. Pritome nije samo važno eliminirati jalovu snagu na pragu distribucije, nego i odabrati veličine baterija i rasporediti ih po dubini mreže tako da smanjenje gubitaka, uz uvažavanje odgovarajućih investicijskih i pogonskih troškova, bude najveće.

Iz promatranoga proistječe i neophodnost provođenja i evidentiranja potrebnih pogonskih mjerenja za praćenje energetskog stanja mreže, a u vezi s tim unapređivanja postojeće prakse, dok rezultati koji se ostvaruju kompenzacijom nedvojbeno upozoravaju na nužnost razmatranja instaliranja kondenzatorskih baterija već u fazi planiranja distributivne mreže.

## LITERATURA

- [1] D. BALDASARI i dr.: »Kompenzacija jalove snage i utjecaj viših harmonika u elektrodistributivnoj mreži grada Zagreba«, studija, IE, Zagreb, 1988.
- [2] Grupa autora: »Kompenzacija jalove energije, harmonici, nesimetrije, gubici — kvaliteta električne energije u elektroenergetskim sistemima«, Zbornik radova, Elektrotehničko društvo Zagreb, Zagreb, 1988.

## COMPENSATION OF REACTIVE POWER IN DISTRIBUTION NETS

In the paper are described a reactive power flow in distribution net, impact on power losses, voltage conditions and capacity of system. For the purpose of reduced losses described is an optimization method for distribution of condenser cells. On the real model of distribution net presented are effects of compensation and verified financial benefits.

## KOMPENSATION DER VERLUSTKRAFT UND ENERGIE IN DEN DISTRIBUTIONSNETZEN

In der Arbeit ist das Problem des Laufes der Verlustkraft durch das Distributionsnetz und ihr negativer Einfluß auf den Verlust der Arbeitskraft und Energie, der Spannungskraft und der Durchlassungsfähigkeit des Systems beschrieben. Das Optimierungsverfahren zur Bestimmung der Größe und Verteilung der Kondensatorbatterien ist so gekennzeichnet, daß die größten Sparmaßnahmen erreicht werden. An einem realen Beispiel des Distributionsnetzes sind energetische Effekte der Kompensation illustriert und verifiziert mit den dazugehörigen finanziellen Einsparungen.

## КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

В работе описывается проблема потока реактивной мощности по распределительной сети и ее отрицательное влияние на потери активной мощности и энергии, состояние напряжения и пропускную способность системы. Указан оптимизационный способ определения величины размещения конденсаторских батарей для получения наибольшей экономии. На реальном примере распределительной сети показан энергетический эффект компенсации и установленной соответствующей финансовой экономии.

Naslov pisaca:

**Mr. Željko Rajić, dipl. inž.  
Dasenko Baldasari, dipl. inž.  
Institut za elektroprivredu,  
41000 Zagreb,  
Proleterskih brigada 37,  
Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1988 – 05 – 24

Radna organizacija »ATM« specijalizirana je inženjering-organizacija za projektiranje, proizvodnju, montažu i održavanje postrojenja mjerno-regulacione tehnike i automatskog upravljanja u industriji.

Poslovna politika radne organizacije prvenstveno je usmjerena na nuđenje kompletnih rješenja i izvođenje mjerno-regulacionih i upravljačkih sistema na postrojenjima termoenergetike, crne i obojene metalurgije, petrokemije, industrije građevnog materijala i prehrambene industrije. Osnovu takve djelatnosti čini vlastiti projektni biro s velikim iskustvom u primjeni mjerno-regulacionih i upravljačkih sistema, kako uređajima vlastite proizvodnje tako i uređajima drugih proizvođača.

Vlastita proizvodnja mjerno-regulacione i upravljačke opreme temeljena je na suvremenom timskom radu i razvojnom odjelu, gdje je vlastitim snagama i znanjem razvijen niz modernih uređaja, koji se uspješno proizvode i plasiraju na domaće i svjetsko tržište.

**PROJEKTIRANJE  
 INŽENJERING  
 KONZALTING**

**MONTAŽA,  
 ISPITIVANJE I PUŠTANJE  
 U POKUSNI RAD**

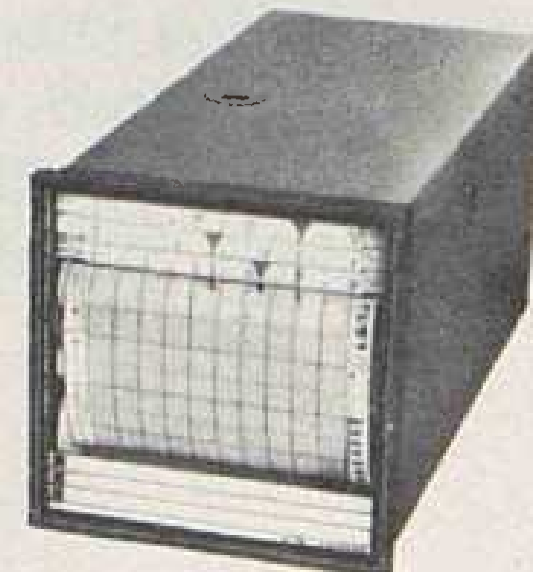
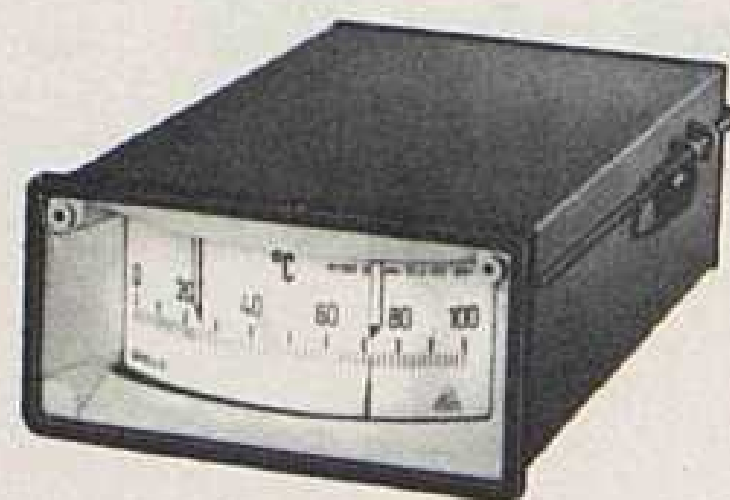
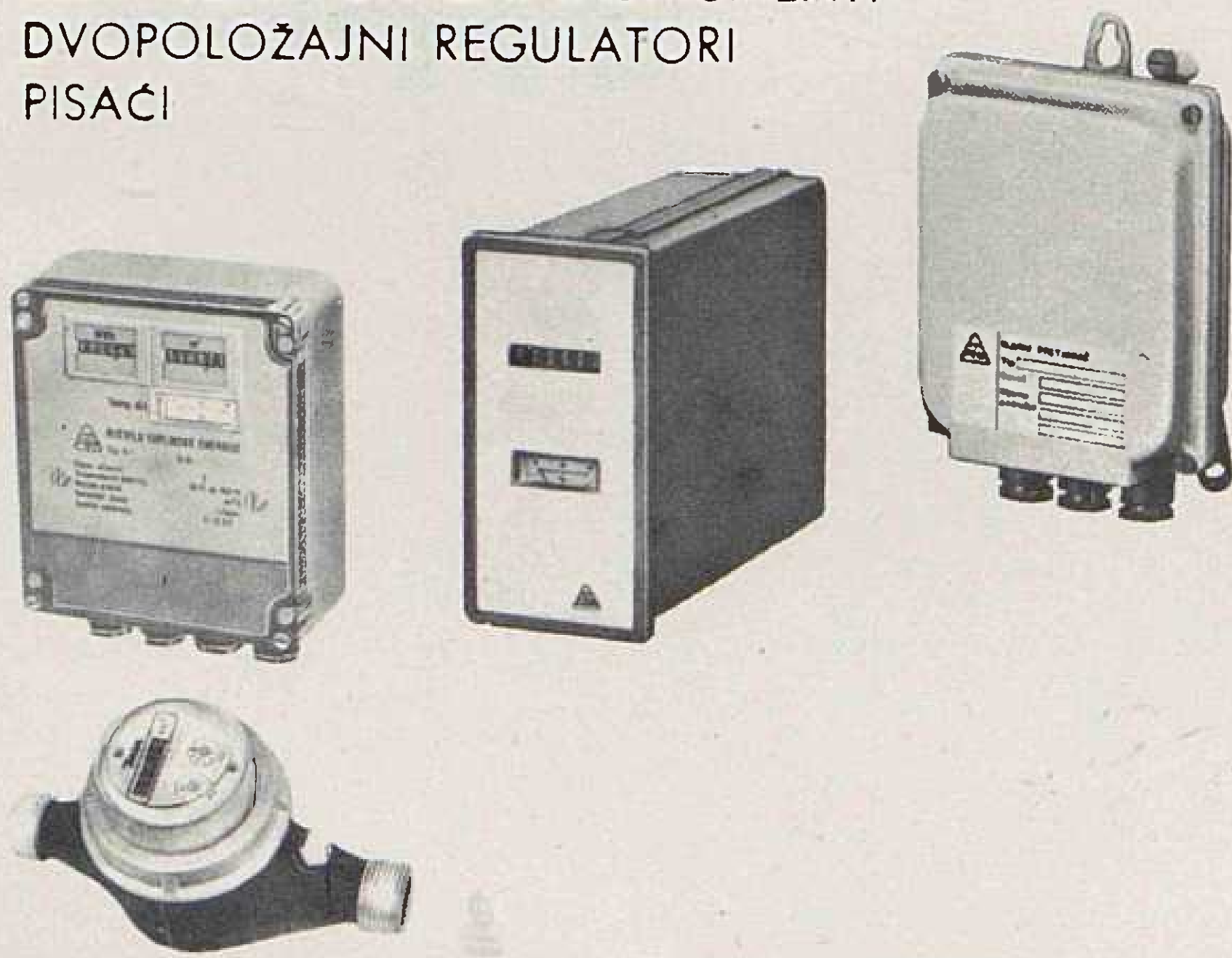
**PROIZVODNJA,  
 ISPORUKA NA OSNOVI  
 PROIZVODNE  
 KOOPERACIJE,  
 SERVIS**

Radna organizacija može ponuditi moderna tehnička rješenja za većinu kompliciranih problema, zahvaljujući i razvijenoj poslovnoj suradnji i kooperaciji s poznatim svjetskim proizvođačima mjerno-regulacione opreme. Razvijajući takve odnose i isporučujući svoje proizvode poznatim svjetskim tvrtkama, RO »ATM« privređuje znatna sredstva koja služe za kompletiranje vlastitog proizvodnog programa proizvodima kooperanata pri inženjering-poslovima.

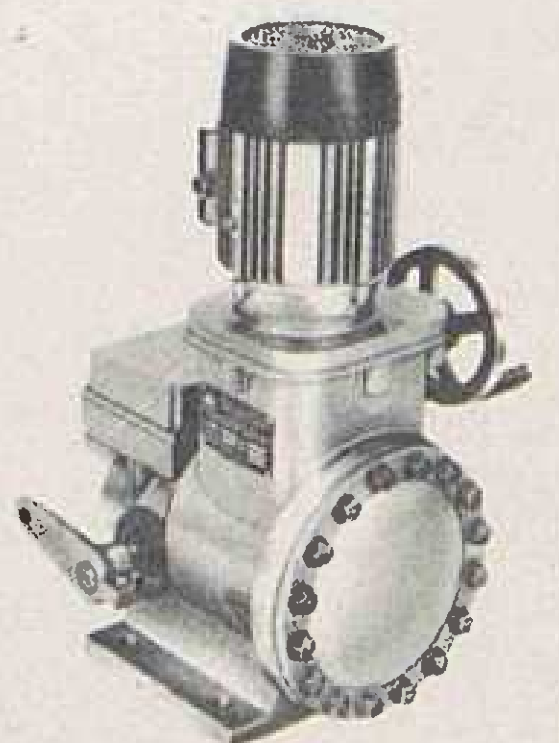
Radna organizacija »ATM« dobila je najveća priznanja za svoje besprijekorno obavljene montažneradove na najvećim objektima u zemlji i inozemstvu. Posebno je značajna činjenica da možemo obavljati sve vrste radova — od projektiranja, predispitivanja opreme, izrade montažne dokumentacije, fizičke instalacije, kontrole kvalitete, funkcionalnog ispitivanja, puštanja u pogon, do vođenja pokusnog pogona i održavanja uređaja u pogonu.

**PREDSTAVLJAMO VAM NEKE OD NAŠIH PROIZVODA:**

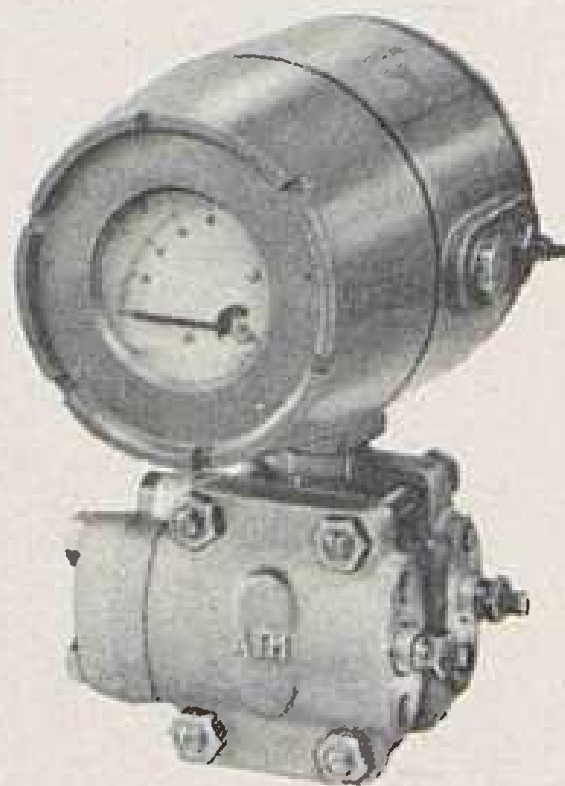
MJERILA TOPLINSKE ENERGIJE  
 ELEKTRIČNI POKAZNI INSTRUMENTI  
 DVOPOLOŽAJNI REGULATORI  
 PISAČI



TERMEOLEMENTI I OTPORNI TERMOMETRI  
 OPREMA ZA MJERENJE U SILOSIMA  
 NIVOREGULATORI  
 PI I PID-REGULATORI  
 ELEKTRIČNI SERVOMOTORI  
 REGULACIONI VENTILI  
 REDUKCIONO-RASHLADNE STANICE



MJERNI PRETVARAČI OTPORA I MILIVOLTA  
 PRETVARAČI TLAKA I DIFERENCIJALNOG TLAKA  
 MJERNE PRIGUŠNICE  
 ARMATURE ZA MJERENJE PROTOKA  
 INTEGRATORI ISTOSMJERNE STRUJE



# TEHNIČKO-INFORMACIJSKI SUSTAV DISTRIBUTIVNIH MREŽA SR HRVATSKE

Mr. Srđan Žutobradić — Krešimir Mehičić — Rudolf Šimunec, Zagreb

UDK 621.316.1

PRETHODNO SAOPĆENJE

U članku je prezentiran pristup koncepciji tehničko-informacijskih sustava distributivnih organizacija. Dan je poseban osvrt na konkretnu primjenu u tehničkoj bazi podataka distributivne djelatnosti SR Hrvatske.

**Ključne riječi:** baza podataka, informacijski sustav, automatska obrada podataka.

## 1. UVOD

Automatska obrada podataka (AOP) u većini se distributivnih organizacija provodi više godina. Međutim, upotreba računala za potrebe AOP-a distributivnih organizacija uglavnom je ograničena na obradu potrošača (na samonaplatu potrošača), te na financijske aplikacije. Uvođenje tehničko-informacijskih sustava (TIS) u distributivnu djelatnost još je u početnoj fazi. Zato je u studijskoj jedinici za razdjelne mreže Instituta za elektroprivredu započeta izrada idejnih rješenja tehničko-informacijskih sustava za potrebe distributivnih organizacija i za potrebe ZEOH-a. Osim toga, počela je izrada odgovarajuće programske podrške za tehničku bazu podataka. U ovom ćemo članku ukratko izložiti rezultate dosadašnjeg rada na tom području.

## 2. KONCEPCIJA TEHNIČKO-INFORMACIJSKOG SUSTAVA U DISTRIBUCIJI

Tehničko-informacijski sustav je skup podataka i programa koji se odnose na elemente distributivnog sustava i njegovo funkcioniranje. Podaci se mogu grupirati po manjim cijelinama, tj. podsistemima:

- a) podsistem mreže i njezinih elemenata;
- b) podsistem potrošača električne energije;
- c) podsistem mjerenja u mreži;
- d) podsistem kvarova;
- e) podsistem planiranja električne energije;
- f) podsistem planiranja i praćenja investicijske izgradnje.

Dakako, moguće je raščlanjivanje TIS-a i na drukčije podsisteme, ovisno o specifičnostima distributivne organizacije.

Podaci navedeni u podsistemima od a) do f) danas se vode u distributivnim organizacijama neovisno o stanju razvijenosti informatičke djelatnosti. No, poka-

zuje se da dosadašnji način vođenja tehničkih podataka ne odgovara suvremenom poslovanju, i to zbog više razloga:

- podaci se vode na više mjesta iste organizacije, ovisno o njihovoj namjeni;
- cirkulacija podataka od njihova izvora do korisnika nije sustavno riješena, kao ni pitanje permanentnog ažuriranja podataka;
- pri svakom novom zahtjevu za dobivanjem određenih podataka od različitih korisnika (JUGEL-a, ZEOH-a, raznih znanstvenih i projektnih organizacija) iznova se prikupljaju isti podaci.

Izloženi način vođenja tehničkih podataka rezultira velikim utroškom radnog vremena radnika zaduženih za tehničku dokumentaciju. Osim toga kvaliteta takvih podataka obično je vrlo loša. Isti se podaci ponekad od slučaja do slučaja razlikuju, što onemogućuje njihovu kvalitetnu usporedbu. Usto, zbog nesusstavnog vođenja podaci su često manjkavi, što također otežava (pa i onemogućuje) njihovu upotrebu u raznim tehničkim aplikacijama kao što su proračuni padova napona, kratkog spoja itd.

Navedeni razlozi upozoravaju na potrebu hitnog uvođenja TIS-a u distributivne organizacije. Taj stav posebno je važan u današnjim uvjetima, kada je cijena informatičke opreme postala vrlo pristupačna u odnosu prema cijeni prije nekoliko godina. Preduvjet uspješnog uvođenja TIS-a jest izrada odgovarajućega idejnog projekta. U takvom projektu treba sagledati unutrašnju organizaciju i specifičnost organizacije u koju se TIS uvodi. Pritome valja paziti da se navedeni TIS uklopi u integralni TIS distributivne djelatnosti SR Hrvatske.

U idejnom projektu TIS-a precizno se definiraju njegovi podsistemi i podaci koji će se u njima voditi. Svi se podaci dijele na tri kategorije:



- **tipski podaci**; opisuju istovrsne elemente kojih u distributivnim mrežama ima mnogo (npr. tipski transformatori, prekidači itd.);
- **karakteristični podaci**; opisuju elemente u dijelu u kojemu su oni različiti od ostalih elemenata (npr. duljina kabela dionice itd.);
- **relacijski podaci**; dobiveni elementi pridružuju ostalim elementima sistema, odnosno funkcijama kao što su posljednji pregled, održavanje itd.

Osobito važan dio idejnog projekta TIS-a jest određivanje relacija između elemenata sistema koje omogućuje uspostava relacijskog modela tehničke baze podataka. Na temelju toga omogućuje se razvoj sistema označavanja. Taj je sistem osnova kasnijeg uvođenja računarske obrade tehničkih podataka u praktičnu upotrebu.

U Insitutu za elektroprivredu razvijen je sistem oznaka koji je uspješno primijenjen, za označavanje elemenata mreže svih naponskih nivoa, kako elektroprijenosnih, tako i distributivnih organizacija. Sistem je koncipiran tako da se njegova upotreba može proširiti na sve distributivne i prijenosne mreže u SFRJ.

### 3. BAZA TEHNIČKIH PODATAKA DISTRIBUTIVNE DJELATNOSTI SR HRVATSKE

Institut za elektroprivredu Zagreb (Studijska jedinica za radjelne mreže) izradio je 1980. godine studiju »Metodologija vođenja i korištenja podataka na razini ZEOH-e iz djelatnosti distribucije«, koju je naručilac ZEOH pozitivno recenzirao i prihvatio. Iste je godine inicirana akcija formiranja baza podataka na razini distributivnog sistema, a 1983. godine učinjeni su prvi konkretni zahvati u realizaciji tog cilja.

Distributivna djelatnost u SRH podijeljena je na osam radnih organizacija sa 54 distributivna OOUR-a. Podaci za potrebe organiziranja BP distributivne djelatnosti prikupljaju se u svim RO i OOUR-ima. Pri određivanju početnog fonda podataka, a i pri svakom proširenju fonda podataka, posebno se pažnja pridaje, činjenici da se podaci sakupe, verificiraju, a zatim pohrane u računar, te što brže obrade. Također, BP je organizirana tako da se isti podatak ne pojavljuje u više datoteka, odnosno da se svi podaci mogu iskoristiti za različite obrade bez obzira na to u kojoj se datoteci nalaze. Pritome je moguć pristup svakom podatku, njegova izmjena i primjena u vrlo kratkom vremenu i bez mogućnosti greške.

Trenutni fond podataka BP, koji se vodi na računaru IE i redovno godišnje dopunjava i ažurira, jest sljedeći:

- a) datoteka vodova 110, 35(30) i 10 kV;
- b) datoteka dionica vodova 110, 35(30) i 10 kV;
- c) datoteka objekata 110/× kV, 35(30)/× kV i 10(20)/0,4 kV;
- d) datoteka transformatora 110/×, 35(30)/× kV i 10(20)/0,4 kV;

- e) datoteka vrsta polja i građevinske izvedbe objekata po naponskim nivoima;
- f) datoteka godišnjih maksimalnih opterećenja čvorišta 35(30) kV;
- g) datoteka sumarnih veličina izgrađenosti mreže i postrojenja 10 i 0,4 kV na nivou distributivnog OOUR-a;
- h) datoteka strukture nabave i potrošnje radne, jalove i prekomjerno preuzete jalove energije po distributivnim radnim organizacijama — mjesečno.

Ako se žele stvoriti uvjeti primjene BP za kvalitetno rješenje problema s područja:

- planiranja (prognoza) potrošnje el. energije;
- primjene normativa održavanja;
- tarifiranja;
- izvještavanja za potrebe JUGEL-a;
- rješavanja užih specijalističkih potreba (kratkog spoja, uzemljenja, zvjezdišta i sl.),

nužno je dalje raditi na širenju fonda podataka i poboljšanju organizacije rada na BP. Također je nužno paralelno rješavati problem nabave odgovarajuće hardverske opreme odnosno raditi na razvoju ili nabavi kvalitetnog softvera.

### 4. ZAKLJUČAK

Pravodobna i točna informacija osnova je za donošenje ispravnih stručnih i poslovnih odluka. U velikim poslovno-tehničkim sistemima kakav je sistem distribucije električne energije prikuplja se i cirkulira vrlo mnogo podataka. U području poslovnih funkcija broj podataka i vrste obrada uvelike su regulirane zakonom i sličnim aktima, što nije slučaj u području tehničkih aktivnosti. Stoga se podaci prikupljaju i pohranjuju odnosno iskorištavaju ovisno o trenutnim potrebama, uz sve nedostatke koji prate takav način rada, a koji su:

- višestruko prikupljanje istih podataka;
- dugo vrijeme potrebno za prikupljanje i obradu;
- veliki utrošak radne snage zaposlenih na tim poslovima.

Veći dio navedenih nedostataka moguće je izbjeći sagledavanjem vrsta podataka koje je potrebno voditi, sagledavanjem cirkulacije podataka u distributivnom sistemu. Idejni projekti TIS-a kojima se bavi IE (SJ za distributivne mreže) teže razrješenju tih problema uz uvažavanje specifičnosti svakoga distributivnog OOUR-a, ali i distributivnog sistema u cjelini.

Logičan nastavak rada na TIS-u jest i realizacija baze tehničkih podataka na računaru.

Od 1983. godine IE radi na formiranju BTP distributivnog sistema SR Hrvatske. Za te je potrebe izrađena i odgovarajuća programska podrška, a podaci se pohranjuju i obrađuju na računaru IE VAX 8300.

Također je izvršena uspješna konverzija BTP u RDBMS »ORACLE«, koji je na nivou ZEOH-a usvojen za standardni softver BP.

**TECHNICAL DATA ACQUISITION SYSTEM IN DISTRIBUTION NETS OF SR CROATIA**

In the paper is presented a concept for technical data acquisition system in distribution enterprises. Specially is highlighted an example of technical data acquisition system in distribution nets of SR Croatia.

**TECHNISCH — INFORMATIVES SYSTEM DER DISTRIBUTIONSNETZE DER SR KROATIEN**

Im Artikel wird die Konzeption der technisch — informativen Systeme der Distributions — Organisationen vertreten, mit der Betonung auf die konkrete Anwendung in der technischen Datenbasis der Distributionstätigkeit der SR Kroatien.

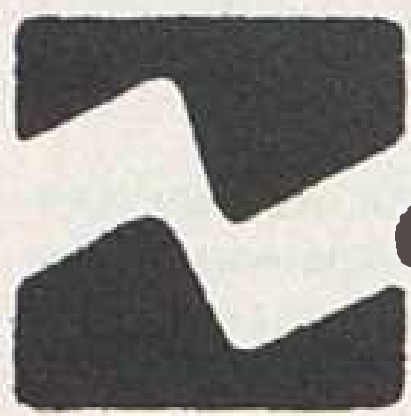
**ТЕХНИКО-ИНФОРМАТИВНАЯ СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ СР ХОРВАТИИ**

В статье излагается подход к концепции технико-информативной системы организаций распределительных сетей. Дано особое мнение о конкретном применении в технической базе данных деятельности организаций распределительных сетей СР Хорватии.

Naslov pisaca:

**Mr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
Krešimir Mehičić, inž.  
Rudolf Šimunec, el. tehn.  
Institut za elektroprivredu,  
41000 Zagreb,  
Proleterskih brigada 37,  
Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1988 — 05 — 20



**elektrolux - rijeka**

**ELEKTROTEHNIČKA RADNA ORGANIZACIJA**  
RIJEKA — ULICA ĐURE STRUGARA bb  
TELEGRAM: ELEKTROLUX — TELEFON: 516-333  
TELEX: 24374 YU ELUX

ORGANIZIRANA JE U SVOJIM PODRUČJIMA RADA I DJELOVANJA U TRI ODVOJENE PROIZVODNE CJELINE.

### **1. JUR REMONT BRODOGRADNJA**

- POMORSKA I RIJEČNA BRODOGRADNJA U PAKET ARANŽMANIMA OD PROJEKTIRANJA DO PREDAJE KOMPLETNIH PLOVNIH JEDINICA NARUČIOCU RADOVA

### **2. JUR MONTAŽA KOPNO**

IZVODI SVE VRSTE ELEKTROINSTALACIJA I ELEKTROMONTAŽE U:

- ENERGETICI (TRAFOSTANICE 110/35/20/10 kV, 35/20/10 kV, 10(20)/0,4 kV, KABELSKI RASPLETI 35, 20, 10; 0,4 kV, TRAFOSTANICE SA DALJINSKIM UPRAVLJANJEM, SDV)
- KEMIJSKOJ I PROCESNOJ INDUSTRIJI
- NAFTNIM POSTROJENJIMA
- PETROKEMIJSKIM POSTROJENJIMA
- STROJEVIMA ZA PROIZVODNJU PAPIRA
- DRVNOPRERAĐIVAČKOJ INDUSTRIJI

### **3. JUR RAZVODNI I RASKLOPNI UREĐAJI**

IZVODI SVE VRSTE RAZVODNIH UREĐAJA, PULTEVA, RASKLOPNIH POSTROJENJA 6 kV, 0,4 kV, RAZVODNIH PLOČA I ORMARA U SKLOPU PRUŽANJA USLUGA JUR-u MONTAŽA KOPNO I JUR-u REMONT BRODOGRADNJA

# NOVI PRISTUP PRORAČUNU PODEŠENJA I ANALIZI RADA RELEJNE ZAŠTITE U VISOKONAPONSKIM MREŽAMA

Mr. Božidar Filipović – Grčić, Zagreb

UDK 621.316.925

PREGLEDNI RAD

Klasičan pristup proračunu osnovne i rezervne zaštite u razvijenoj elektroenergetskom sistemu nije više prihvatljiv. Novi pristup proračunu podešenja i analizi pomoću računala daje široke mogućnosti (CAPE-pristup). Dobiveni su i prvi rezultati.

**Ključne riječi:** relejna zaštita, podešenje releja, osnovna zaštita, rezervna zaštita, selektivnost zaštite, CAPE-pristup.

## 1. OPĆENITO O PROBLEMIMA PRORAČUNA PODEŠENJA ZAŠTITE U PRIJENOSNIM MREŽAMA

Osnovni zadatak sistema relejne zaštite jest detekcija i isklapanje kvarova nastalih u elektroenergetskom sistemu (EES). Osim što postupak mora biti brz — da bi se spriječile veće štete, očuvala stabilnost sistema i sl. — isklapanje mora biti i selektivno, tj. uređaj za zaštitu mora iskloniti samo najnužnije elemente EES-a. Nadalje, da bi isklapanje bilo pouzdano, osim osnovne, »main«, uvijek se mora predvidjeti daljinska (remote back up — RBU) ili lokalna rezervna zaštita (local back up — LBU), kojom se osigurava isklop kvara u slučaju otkaza osnovne zaštite i (ili) predača na koji ta zaštita djeluje.

Rezervna zaštita, u usporedbi s osnovnom, djeluje uvijek s određenom vremenskom zadržkom, a rad te zaštite obično utječe na veće dijelove EES-a. Ispravna koordinacija između osnovne i rezervne zaštite za sve vrste i položaje kvara jedan je od najvažnijih zadataka.

S obzirom na postojeće konfiguracije EES-a (veličinu i složenost), klasične »ručne« metode proračuna nisu upotrebljive zbog:

- velikog broja podataka koji ulaze u proračune
- velikog broja proračuna struja, napona, impedancija u svim točkama za različita uklopna stanja
- velikog broja ograničenja koja moraju biti zadovoljena.

Zbog svega toga definiranje podešenja koja bi osigurala koordinaciju između osnovnih i odgovarajućih rezervnih zaštita vrlo je složeno. Kao što je poznato, vodovi u našim VN — mrežama zaštićeni su obostrano disantnom zaštitom. Ta zaštita istodobno ima funkciju osnovne zaštite vlastite dionice (1. i 2. stupanj) i rezervne zaštite svih susjednih dionica (2. i 3. stupanj i pobuda). Svi parovi, osnovna/rezervna zaštita (OZ/RZ), moraju međusobno biti selektivno us-

klađeni za uobičajenu konfiguraciju EES-a, ali i za određena uklopna stanja kada je jedan od elemenata EES-a izvan pogona, i to za sve vrste i položaje kvara.

Očito je da je ukupni broj parova OZ/RZ vrlo velik čak i u slučaju kad je EES malen, posebno ako se uzme u obzir da se pri distantnoj zaštiti mora provesti koordinacija u svim stupnjevima. Situacija se dodatno komplicira zbog različitih ograničenja uvjetovanih principima podešenja zaštite. Sve to potvrđuje iznjetu tvrdnju da je proračun podešenja distantne zaštite moguć samo primjenom računala odnosno CAPE — koncepcije (Computer — Aided — Protection — Engineering).

## 2. MOGUĆNOSTI KOMPJUTORIZACIJE NEKIH FUNKCIJA KONTROLE I ZAŠTITE CAPE-KONCEPCIJA

Upotreba računala za različite proračune u EES-u ima dugu tradiciju, a u novije su vrijeme računala preuzela i niz funkcija u sklopu sistema daljinskog vođenja (SDV). Sve te funkcije možemo podijeliti na dvije grupe:

- funkcije kontrole i zaštite
- funkcije dispečinga.

Prikaz tih funkcija dan je, prema [1] u tablici 1.

Nas, naravno, zanima prva grupa, a unutar te grupe, interaktivni proračun podešenja zaštite. Taj se proračun može vrlo efikasno ukomponirati u postojeća računala u centrima vođenja EES-a jer je komplementaran s funkcijama koje se u takvim sistemima obično predviđaju. Podaci o uklopnim stanjima, vodovima, generatorima i sl., smješteni u bazi podataka (BP), imaju više namjena, a rezultati proračuna toka snaga i kratkih spojeva ulazni su podaci za proračun podešenja koji se može izvršavati u slobodnom vremenu vođenja EES-a.

**Tablica 1. Funkcije kontrole i zaštite**

Red. br.	Funkcije
1.	prikupljanje i obrada podataka
2.	nadzor statusa
3.	estimacija stanja
4.	operativne procedure
5.	nadzor stabilnosti
6.	korektivne akcije vezane za probleme stabilnosti
7.	restauracija sistema
8.	nadzor nad operacijama releja za preopterećenje
9.	interaktivni proračun tokova snaga
10.	interaktivni proračun podešenja zaštite

Dakako, proračun podešenja može se obavljati na računalima neovisno o ostalim funkcijama zaštite i kontrole. I u tom je slučaju CAPE-pristup nužno pomagalo inženjera za relejnu zaštitu, i to zbog sljedećih razloga:

- opseg proračuna podešenja je golem i bez upotrebe računala zahtijeva mnogo vremena, iskustva i sl.
- zbog kompleksnosti EES-a moguć je velik broj uklopnih stanja za koje je nemoguće provjeriti točnost podešenja. Rezultat toga su podešavanja u širokim granicama koja naizmjenično limitiraju osjetljivost releja i područje zaštite
- za zadano mjesto kvara vrlo je teško utvrditi hoće li relej raditi korektno odnosno može li se održati selektivnost parova OZ/RZ. Te su provjere osobito bitne nakon havarija u EES-u kada se zna mjesto kvara i rad zaštite.

Možemo, dakle, zaključiti da je CAPE-pristup vrlo prikladan jer osim što daje točne i brze proračune podešenja pruža mogućnosti detaljnih analiza performansi sistema relejne zaštite. CAPE-pristup omogućuje inženjerima da se svojim znanjem i iskustvom koriste za nalaženje optimalnih varijanti proračuna kreirajući tako vlastitu »filozofiju« zaštite EES-a. Nadalje, CAPE nudi široku upotrebu kompjutorske grafike odnosno različitih metoda vizualizacije koja omogućuju jasnu i preglednu kontrolu međurezultata i konačnih rezultata proračuna. Na kraju CAPE-pristup olakšava različite manipulacije podacima smještenim u BP, izradu različitih izvještaja itd.

### 3. GLAVNE KARAKTERISTIKE CAPE-PRISTUPA

#### 3.1. Općenito

Glavne karakteristike CAPE-pristupa jesu:

- dijalog inženjer / kompjuter (man/machine)
- zahtjevi i karakteristike podataka o EES-u
- karakteristike algoritma.

Razmotrit ćemo ukratko svaku od tih karakteristika.

#### 3.2. Dijalog inženjer / kompjuter

Proračun podešenja što ga izvodi kompjuter čini samo dio procesa podešavanja koje širi i složeniji pojam jer uključuje i određena prosuđivanja i logiku

koja se može mijenjati u skladu s vlastitom koncepcijom zaštite. Svakim općenito, procedura dijaloga inženjer — kompjuter je sljedeća:

- definira se cilj istraživanja (eksploatacija ili planiranje)
- definira se sistem ili dio sistema koji se želi istraživati
- definiraju se svi podaci EES-a potrebni za proračune; najpovoljnije je te podatke organizirati u BP
- provode se odgovarajući proračuni; u toj fazi bitnu ulogu imaju izbor mjesta, tipa, i broja kvarova i sl.

Kada je on — line dijagram gotov i organizacija podataka definirana, moraju se odrediti interaktivne procedure dijaloga kojim se dobiva konačno rješenje. Jasno je da u fazi konačnog rješavanja problema inženjer ima odlučnu ulogu.

Pomoću nekoliko primjera pokazat ćemo prednosti korisnosti koje ta opća procedura nudi:

- za postojeće uklopno stanje moguće su jednostavne i brze provjere i, na osnovi toga, određene korektivne akcije, np. promjena uklopnog stanja
- za uobičajene promjene konfiguracije EES-a moguće je definirati zahtjeve za podešenje; to se može smatrati dijelom procesa planiranja u EES-u
- tipičan primjer eksploatacije EES-a je analiza struja i napona odnosno impedencija koje relaji mjere za vrijeme havarija
- za održavanje zaštite vezani su zahtjevi za vođenje različitih zapisnika, podataka o podešenjima i sl.; BP organizirana na prikladan način efikasno rješava sve probleme.

Razumljivo, dijalog inženjer — kompjuter potrebno je neprekidno usavršavati i prilagođavati zahtjevima korisnika.

#### 3.3. Organizacija podataka

Već smo istakli da je u svim proračunima u EES-u, a posebno u proračunima zaštite riječ o golemom broju podataka s kojima je vrlo teško manipulirati ako nisu prikladno organizirani u bazu podataka (BP). Bazu podataka možemo, prema [7], definirati kao skup međusobno povezanih podataka pohranjenih zajedno, bez suvišne redundancije, da bi na optimalan način služili jednoj ili više aplikacija. Podaci sa BP pohranjeni tako da su neovisni o programima koji se primjenjuju, a za dodavanje novih te modificiranje i proizvodnje postojećih podataka upotrebljava se opći i kontrolirani pristup (software BP).

Ne upuštajući se u detaljnija obrazloženja, valja reći i to da postoje tri modela organizacije BP:

- hijerarhijski model, koji se grafički može reprezentirati u obliku stabla
- mrežni model kojega se veze među podacima mogu predočiti mrežnom strukturom
- relacijski model, čija se bazna struktura sastoji od jedne ili više tablica koje opisuju odnose među podacima.

Pokazalo se da relacijski model, u odnosu prema ostalima, najbolje zadovoljava sljedeće zahtjeve koji se postavljaju BP-u:

- neovisnost podataka
- većem broju korisnika omogućuje istodobno korištenje zajedničkim podacima
- pojednostavnjuje aplikacijske programe
- tzv. administracija BP, dakle unošenje, izmjena, dodavanje novih podataka i sl., razmjerno je jednostavno.

Model takve organizacije prihvatili smo i mi, a isti stav o prikladnosti tog modela osobito za proračune zaštite, može se naći u [3], [5], [7].

### 3.4. Glavne karakteristike algoritama

U CAPE-pristupu možemo razlikovati tri tipa algoritama. Prvi su tip opći sistemski algoritmi (tekst-editor, grafika i sl.) koji se mogu prilagoditi posebnim namjenama. Većina tih algoritama raspoloživa je na strojnom ili asemblerskom jeziku.

CAPE-pristup ima izvanredne mogućnosti kompjutorske grafike i, u toku je razvoj grafičkog softvera.

Drugi tip su aplikacijski algoritmi koji se primjenjuju u procesu proračuna podešenja. Sastoje se od algoritama koji opisuju strukturu mreže, lokaciju releja i definiraju parove OZ/RZ. Druga grupa algoritama, definira proces proračuna podešenja svih OZ/RZ parova u mreži; oni su dakle, jezgra proračuna. Treći su tip pomoćni aplikacijski algoritmi (paketi) koji proračunavaju parametre EES-a, kratki spoj, tokove snaga i stabilnosti. Ti su programi koncipirani interaktivno i na odgovarajući su način integrirani s aplikacijskim algoritmima. Proračun tokova snaga daje stanje prije kvara i nakon isklapanja voda, analiza tranzijentne stabilnosti promjenjuje se za određivanje puštenog trajanja kvara, a kratki spoj daje podatke za proračune podešenja i sl.

Shematski prikaz CAPE-koncepcije dan je na slici 1.

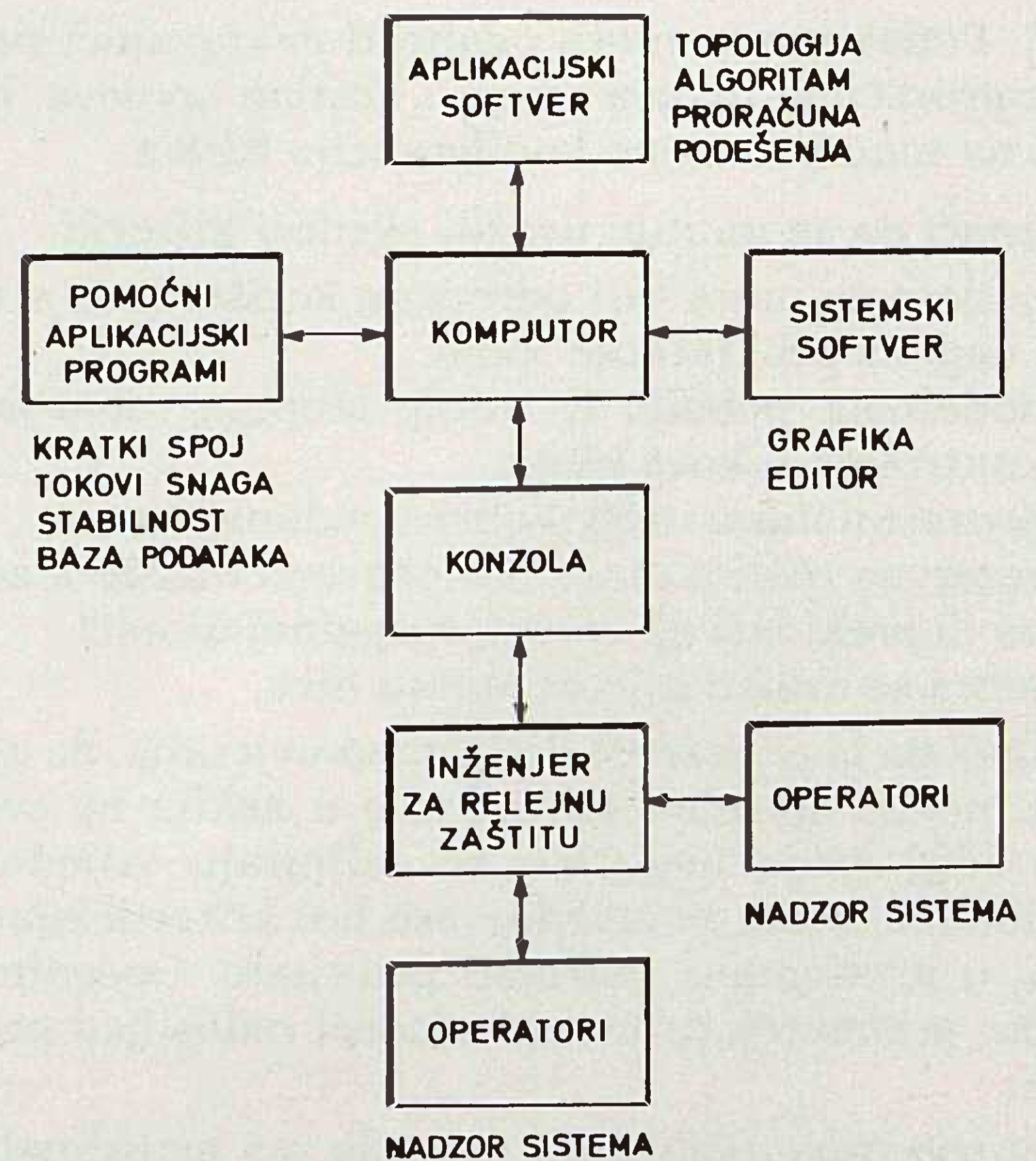
## 4. PRORAČUN PODEŠENJA DISTANTNE ZAŠTITE U PRIJENOSNIM MREŽAMA — KRITERIJI I ALGORITMI PRORAČUNA

### 4.1. Opći kriteriji podešavanja

Pri podešavanju bilo koje zaštite razlikuju se sljedeći kriteriji:

- osnovni kriteriji; definiraju optimalna podešenja i ponašanje zaštite za postojeću opremu odnosno koncepciju zaštite
- minimalni kriteriji su ublaženi kriteriji prilagođeni situacijama u kojima se ne mogu realizirati prethodni
- optimalni su kriteriji viši nivo i općenito se ne mogu realizirati postojećom opremom ni u sklopu postojeće koncepcije.

Taj je opći pristup primijenjen za proračun podešenja distantne zaštite i važan je za razumijevanje sa-



Slika 1. Shematski prikaz CAPE-pristupa

me logike algoritma i rezultata proračuna te zaključaka izvedenih na bazi tih rezultata. Objasniti ćemo ukratko o čemu je zapravo riječ.

U jednostavnim konfiguracijama EES-a trafostanica bez jakog međunapajanja (npr. H-shema) distantnu je zaštitu moguće korektno podesiti; drugim riječima, moguće je realizirati osnovne kriterije i odabrati optimalna podešenja u sklopu postojeće koncepcije, bez dodatnoga vremenskog otezanja.

Pri složenijim konfiguracijama taj kriterij nije moguće konsekvantno provesti u cijelom EES-u zbog jakoga i promjenjivog utjecaja međunapajanja. Problem koordinacije parova OZ/RZ u tom se slučaju rješava dodatnim vremenskim otezanjem i tada se postavlja samo minimalni zahtjev da zaštita isklopi kvar. Primjeri proračuna upozoravaju na to da se takvi slučajevi u stvarnim EES-ima često pojavljuju (drugi i treći stupanj podešeni su iznad uobičajenoga vremenskog otezanja).

U ekstremnim je slučajevima utjecaj međunapajanja takav da neke daljinske rezervne zaštite uopće ne registriju kvar. Te situacije, kako je utvrđeno proračunima u EES-u, također su dosta česte (koeficijent osjetljivosti pobude  $K_{os} < 1$ , doseg pobude ograničen je maksimalnim strujama). U takvim se prilikama pojavljuje opasnost »lavinskog« isklopa većeg broja vodova, generatora i mrežnih transformatora. Očito je da se zato moraju mijenjati osnovni kriteriji, što ustvari znači da se mora uvesti još jedan nivo rezervne zaštite; obično se u tim slučajevima uvodi lokalna rezerva (otkaz prekidača, dodatna rezervna zaštita na vodovima).

### 4.2. Algoritam proračuna

Osnovni principi podešavanja svih stupnjeva i pobude distantne zaštite sastoje se u izboru maksimalnih dosega, uz očuvanje selektivnosti svih parova OZ-

/RZ. Podešenje se mora odabrati uvažavajući rezultate proračuna tokova snaga i kratkih spojeva, imajući na umu promjene konfiguracije EES-a.

To znači da se moraju uvažiti sljedeći kriteriji:

- podešenje mora biti određeno korištenjem struja i napona pri kratkom spoju
- podešenja pobude (i trećeg stupnja) obavlja se kontrolom tokova snaga
- proračun mora uzeti u obzir međunapajanje
- rezervna zaštita mora biti očuvana otkáže li zaština ili prekidači na idućoj, susjednoj dionici
- mora se uvažiti utjecaj otpora luka.

Budući da je podešenje definirano uvjetima, da zaštita u nekim slučajevima mora, a u nekim ne smije, proraditi, prije nego što se definiraju vrijednosti podešenja, mora se utvrditi jesu li ti kriteriji ispunjeni i, u protivnome, odrediti prioritete. Općenito se može, prema [6], prihvatiti sljedeći redoslijed prioriteta:

- sprečavanje pogrešnih prorada pri maksimalnim tokovima snaga u EES-u (ispad zbog preopterećenja)
- prorada u svakoj zoni zaštite
- koordinacija parova OZ/RZ koja se ne mora bezuvjetno ostvarivati samo s impedantnim podešenjima.

Karakteristike algoritma detaljnije su opisane u [12], [13].

#### 4.3. Opis programa i dijagram toka

Za proračun podešenja i analizu rada distantne zaštite razvijen je ovakav skup kompjutorskih programa:

- pomoćni aplikacijski programi:
  - BAZA — programski paket baze podataka
  - TOKS — program za proračun tokova snaga
  - SSK1 — program za proračun struja i napona pri kratkim spojevima u čvorovima ili na po volji odabranome mjestu na vodu
  - STAB — program za proračun tranzijentne stabilnosti.

Programi TOKS, SSK1 i STAB bazirani su na standardnim algoritmima za tokove snaga, kratki spoj i tranzijentnu stabilnost koji su prilagođeni zahtjevima proračuna podešenja zaštite.

— Glavni program za proračun podešenja sastavljen je od:

- ZSK1 — programa za proračun primarnih podešenja
- KSK1 — programa za kontrolu impedancije koje mjere releji pri kvarovima na odabranome mjestu
- RELIS — program za određivanje sekundarnih podešenja.

Programi su napisani u programskom jeziku FORTRAN 77 i instalirani na računaru VAX 8300 Instituta za elektroprivredu.

Ulazni podaci koji opisuju zadnje mreže identični su za programe ZSK1, KSK1, SSK1, TOKS i STAB. Ti se podaci unose u banku podataka, a detalji pripreme i unosa podataka opisani su u priručniku za primjenu programa u L. [14].

Izlazni rezultati programa ZSK1 lociraju se u datoteku ZASREF. TMP, koja sadrži popis svih releja s podešenjima:

- prvog stupnja
- maksimalnoga i minimalnoga drugog stupnja
- maksimalnoga i minimalnoga trećeg stupnja
- maksimalne i minimalne pobude.

Osim toga, datoteka ZASREF. TMP služi kao ulazna datoteka programa RELIS, pomoću kojega se formira izlazna lista sa sljedećim podacima:

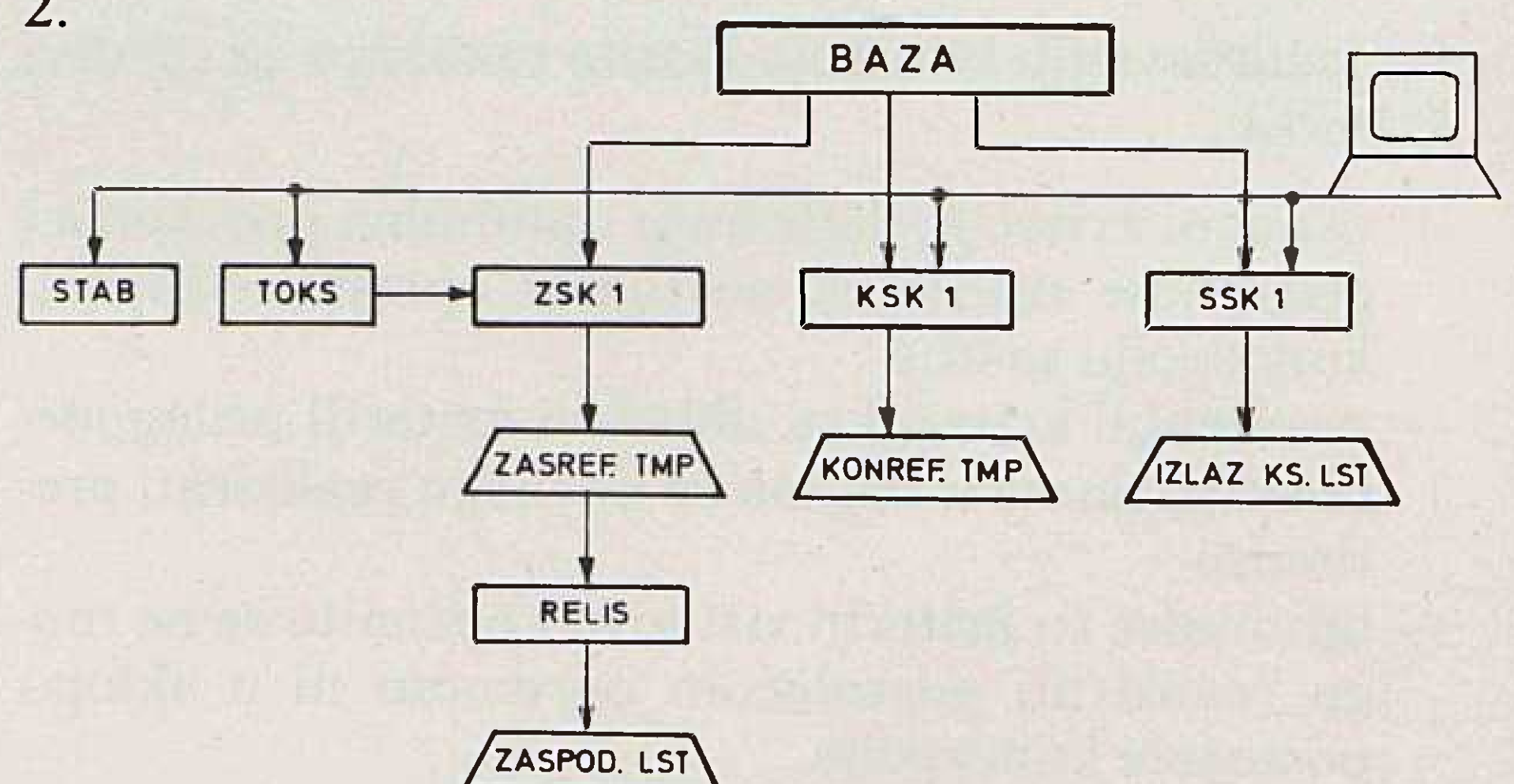
- lokacijama distantnih releja
- nazivima šticevskih vodova
- tipovima distantnih relaja
- primarnim podešenjima svih stupnjeva, odabranim na temelju kontrole selektivnosti
- minimalnim i maksimalnim vrijednostima pobude
- vremenskim podešenjima svih stupnjeva, odabranim na temelju kontrole selektivnosti.

Osim navedenoga izlazna lista sadrži podatke o prijenosnim omjerima mjernih transformatora i sekundarnim podešenjima. Izlazni rezultati programa KSK1 jesu impedancije koje mjere releji pri kratkim spojevima, jednopolnim i trolnim, na svim idućim vodovima te smjerovi struja što pritom teku kroz relej koji se kontrolira.

Program KSK1 koncipiran je interaktivno tako da omogućuje kontrolu pojedinačnog releja ili svih releja u mreži. Takav je alternativni pristup vrlo pogodan jer nije uvijek nužna kontrola svih releja, a u velikim mrežama to zahtijeva i dosta vremena. Osim toga, omogućeno je interaktivno isključivanje i uključivanje pojedinih elemenata mreže i razdvajanje sabirnica, a interaktivno se mogu zadavati i prijelazni otpori na mjestu kvara.

Program SSK1 izračunava struje u svim granama i napone u svim čvorovima, njihove iznose i faze za zadano mjesto kvara. Taj je program također koncipiran inerektivno, slično kao KSK1, a komuniciranje se posredovanjem terminala obavlja jednostavno.

Pojednostavnjeni dijagram toka pokazan je na slici 2.



Slika 2. Pojednostavnjeni prikaz razvijenih programa s pripadnim ulaznim i izlaznim datotekama

#### 4.4. Pregled izlaznih lista proračuna podešenja

Pri koncipiranju programa za proračun podešenja zaključeno je da nisu zanimljivi samo konačni rezultati proračuna već i niz međurezultata koji mogu poslužiti za kontrolu ili za daljnje analize električnih prilika i ponašanje zaštite pri kvarovima u EES-u. Za tu je svrhu predviđeno štampanje sljedećih rezultata proračuna:

- rezultati proračuna tokova snaga: naponi u čvorovima i struje po pojedinim granama
- napona u svim čvorovima u kvarom pogodenoj i ispravnim fazama, i to njihovih iznosa i kutova za zadano mjesto kvara u EES-u
- struja po svim granama u sve tri faze, njihovih iznosa i kutova za zadano mjesto kvara u EES-u
- posebnog ispisa samo smjerova struja u svim granama pogodne faze za zadano mjesto kvara u EES-u koji služi za brzu kontrolu kriterija smjera
- maksimalnih i minimalnih primarnih podešenja 2. i 3. stupnja i pobude
- odabranih primarnih podešenja svih stupnjeva i pobude s obzirom na selektivnost
- sekundarnih vrijednosti svih stupnjeva i pobude s odabranim vremenskim podešenjima, podacima o prijenosnim omjerima mjernih transformatora i sl.
- rezultata proračuna kontrole djelovanja pojedinih releja skupa s faktorima međunapajanja za slučaj kratkog spoja na prvim i drugim susjednim sabirnicama te duž svih vodova koji izlaze iz prve susjedne trafostanice
- proračuna pogonskih impedancija
- rezultata analize tranzijentne stabilnosti, prikazanih numerički i grafički, pri jedнопolnome i tro-polnome kratkom spoju te simulacija APU.

#### 5. ZAKLJUČAK

Koristeći se razvijenim programima izvršeni su proračuni podešenja a u prijenosnoj mreži 110 kV ZE-OH-a. Rezultati su dani u L. [11], [12], [13], a navest ćemo samo osnovne karakteristike dobivenih rezultata:

- izračunata podešenja 2. i 3. stupnja bitno su odstupala od postojećih podešenja distantne zaštite
- u nizu slučajeva selektivnost se morala osigurati dodatnim vremenskim otezanjem 2. i 3. stupnja
- proračunom je ustanovljeno da oo najvažnijih postojenja u EES-u, oko TS 400/110, 220/110, TS 110 kV s većim brojem 110 kV-tnih vodova, ne postoji gotovo nikakva daljinska rezerva
- obavljeno je preuđenje distantne zaštite na vrijednosti dobivene proračunom
- u pojedinim su kritičnim čvorovima ugrađene zaštite sabirnica i zaštite od otkaza prekidača
- istražene su mogućnosti upotrebe usmjerene zemljospojne zaštite kao lokalne rezerve
- dogovoreno je da se nastavi rad na usavršavanju programskog paketa.

#### LITERATURA

- [1] B. BLOSE i dr.: »Contral computer control and function«
- [2] P. HOEN: »Interaktive Berechnung der Einstellwerte von Netzschutzeinrichtungen«, ETZ Ar. B7 (1985) H.4
- [3] M. J. DAMBORG i dr.: »Computer aides transmission system design«, IEE PAS 103 (1984.), No. 1
- [4] J. P. FRY: »Evolution of data base management system«, Comp. Surv. Vol. 8, No. 1, 1976.
- [5] R. RAMASWAMI i dr.: »CAD transmission protection system«, part II, IEEE PICA Conf., 1983.
- [6] K. SUZUKI: »Interactive computation system of distance relay setting for a large scale EHV power system«, IEEE PAS Vol. 98, No. 1
- [7] B. FILIPOVIĆ: »Metodologija vođenja podataka na razini ZEOH-a«, IEEE, 1980.
- [8] B. GASTINEAU i dr.: »Using the computer to set transmission line phase distance and ground back-up relays«, IEE PAS Vol. 96, No. 2
- [9] T. CALY: »Verbesserte Einstellung der »Distantzchutz – Relais in vermaschten Netzen«, Diss. Univ. Erlangen, 1979.
- [10] B. FILIPOVIĆ, I. ČAUŠ: »Interaktivni proračun podešenja distantne zaštite u VN mrežama«, »Energija« br. 3, Zagreb, 1985.
- [11] B. FILIPOVIĆ: »Relejna zaštita 100 kV mreže ‚Elektroprenosa‘ Split«, studija IE, Zagreb, 1986.
- [12] B. FILIPOVIĆ: »Proračun podešenja distantne zaštite u mreži ‚Elektroprenosa‘ Opatija«, IE Zagreb, 1986.
- [13] B. FILIPOVIĆ i dr.: »Proračun podešenja distantne zaštite u mreži 110 kV ‚Elektroslovanije‘ za 1985. i 1990. godinu, studija IE, Zagreb, 1986.
- [14] S. ŽUTOBRADIĆ, B. FILIPOVIĆ: »Upute za korištenje programskog paketa DISTANZ«, IE, Zagreb, 1987.
- [15] B. FILIPOVIĆ: »Doprinos točnijeg proračuna podešenja distantne zaštite osiguranju RBU«, Seminar rel. zaštite, EDZ, Zagreb, 1988.

#### A NEW APPROACH TO CALCULATION OF SETTINGS AND AN OPERATIONAL ANALYSIS OF REALY PROTECTION

In the paper is presented a new method while the classical calculations of base and redundant protection is not more acceptable. New calculations of settings and computer analysis (CAPE method) provides wide possibilities. Presented are also calculated results.

#### EINE NEUE BERECHNUNGSART DER EINSTIMMUNG UND DER ARBEITSANALYSE DES RELAIS SCHUTZES IN HOCHSPANNUNGS NETZEN

Die klassische Berechnungsart des Haupt und Reserveschutzes im entwickelten Elektroenergetischen System ist nicht mehr möglich. Die neue Berechnung und Einstellungsart der Analyse mit Hilfe des Rechners bietet vielseitige Möglichkeiten (CAPE Methode). Man ist ebenfalls zu den ersten Ergebnissen gekommen.

#### ОДИН ИЗ НОВЫХ ПОДХОДОВ К РАСЧЕТУ НАЛАДКИ И АНАЛИЗУ РАБОТЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СЕТЕЙ

Традиционный подход к расчету основной и резервной защиты развитий электроэнергетической системы больше неприемлим. Новый подход к расчету наладки и к анализу при помощи вычислительной машины предоставляет широкие возможности (CAPE подход). Получены первые результаты.

Naslov pisca:

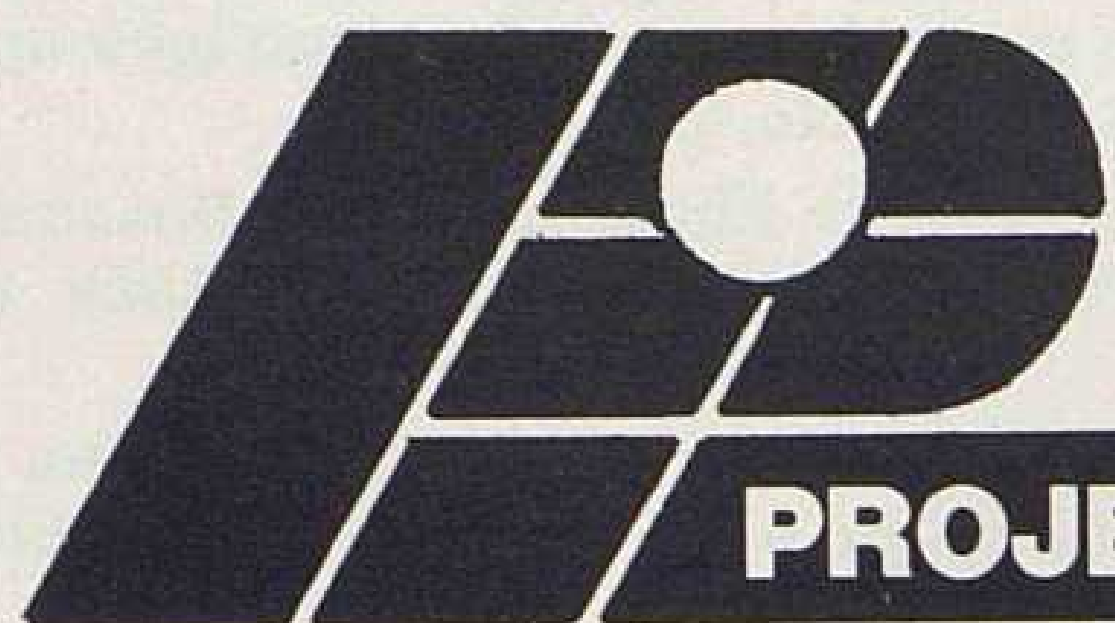
**Mr. Božidar Filipović — Grčić,**  
dipl. inž.  
Institut za elektroprivredu,  
41000 Zagreb,  
Proleterskih brigada 37,  
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis  
1988 – 06 – 20



**ŠTEDITE ENERGIJU**

Ako želite poslovati racionalnije, pa i ako smatrate da maksimalno štedite energiju uvjerit ćete se da se može i više kad se obratite na pravu organizaciju



**PEI PROJEKT RO ZA PROJEKTIRANJE, KONZALTING  
I ENERGETSKI INŽINJERING**

51000 RIJEKA, Slavka Cindrića 6 ● Telefoni: centrala (051) 424-822, 424-874,  
424-587, direktor 424-934 ● žiro račun br. 33800-601-8745 SDK Rijeka

**PROJEKT • ENERGETSKI INŽINJERING**

**ISTRAŽUJEMO  
SNIMAMO  
ANALIZIRAMO  
PROJEKTIRAMO  
DAJEMO KOMPLETAN KONZALTING  
PREUZIMAMO KOMPLETAN INŽENJERING**

Elektroenergetika

Automatika

Elektronika

Sistemi daljinskog vođenja i nadzora

Cijevni transport fluida i čestica

Pročišćavanje pitkih i otpadnih voda

Građevinska i arhitektonska rješenja

Termoenergetika

Klimatizacija

Tehnologija

**UNAPRIJEDITE POSLOVANJE**

# UTJECAJ ELEKTROENERGETSKIH VODOVA NA OKOLINU

Dr. Miroslav Jung — mr. Zdenko Tonković — mr. Davor Nevečerel — Goran Jerbić, Zagreb

UDK 621.315.1:577.4

PREGLEDNI RAD

Opisuju se utjecaji elektroenergetskih vodova visokog napona na okolinu, pri redovnom pogonu (korona, radiosmetnje) i u havarijama (utjecaj struja).

**Ključne riječi:** elektroenergetski vod, utjecaj na okoliš, radiosmetnje.

Izgradnjom visokonaponske elektroenergetske mreže javlja se problem utjecaja elektroenergetskih vodova na okolinu. Ti se utjecaji mogu podijeliti na električne i neelektrične. Neelektričnim utjecajima (zauzimanjem prostora, vizualnim utjecajima, utjecajima građenja i održavanja) na okolinu nećemo se baviti. Opisat ćemo samo električne utjecaje na okolinu koje možemo podijeliti na trajne, prisutne u toku eksploatacije elektroenergetskog voda (električno i magnetsko polje visokonaponskog voda, korona) i nepovoljne utjecaje pri nesimetričnim dozemnim kvarovima u trofaznim elektroenergetskim mrežama (naponi opasnosti na stanovitim osjetljivim utjecajnim objektima na području utjecajnih elektroenergetskih vodova).

Institut za elektroprivredu — Zagreb višestruko je angažiran aktivnostima za smanjenje odnosno ograničenje nepovoljnih djelovanja utjecajnih elektroenergetskih vodova na okolinu. Na suvremenim su elektroničkim računalima razvijeni računski postupci za određivanje nužnih podataka o veličinama nepovoljnih struja i napona, posebno važnih u postupcima planiranja i projektiranja novih elektroenergetskih vodova, te mjerni postupci i sva potrebna instrumentacija za mjerenje točnih podataka o nepovoljnim utjecajima izvedenih elektroenergetskih vodova na okolinu. Mjerenja se mogu provoditi neposredno na terenu, u živoj mreži, ali i u laboratoriju za visoki napon Instituta za elektroprivredu.

## 1. ELEKTRIČNO POLJE VISOKONAPONSKIH VODOVA

Električno polje visokonaponskih vodova i njegov utjecaj predmet su istraživanja brojnih studija i dugogodišnjih diskusija u sklopu studijskog komiteta 36 CIGRE Međunarodne konferencije za velike električne mreže visokog napona. Rezultat brojnih istraživanja je pojava prvog standarda koji propisuje maksimalnu jakost električnoga i magnetskog polja kojemu čovjek može biti trajno izložen.

### 1.1. Proračun električnog polja

Izvor električnog polja je naboj na vodičima visokonaponskog voda. Uz određene pretpostavke, možemo ga odrediti iz sljedeće matrične jednadžbe koja povezuje naboj na vodičima i napon:

$$Q = P^{-1} V \quad (1)$$

Elementi matrice  $P$  su potencijalni koeficijenti. Električno polje linijskog naboja s udaljenošću slabi, a rezultantno je polje suma komponenata svih vodiča voda:

$$E = \sum_i E_i \quad (2)$$

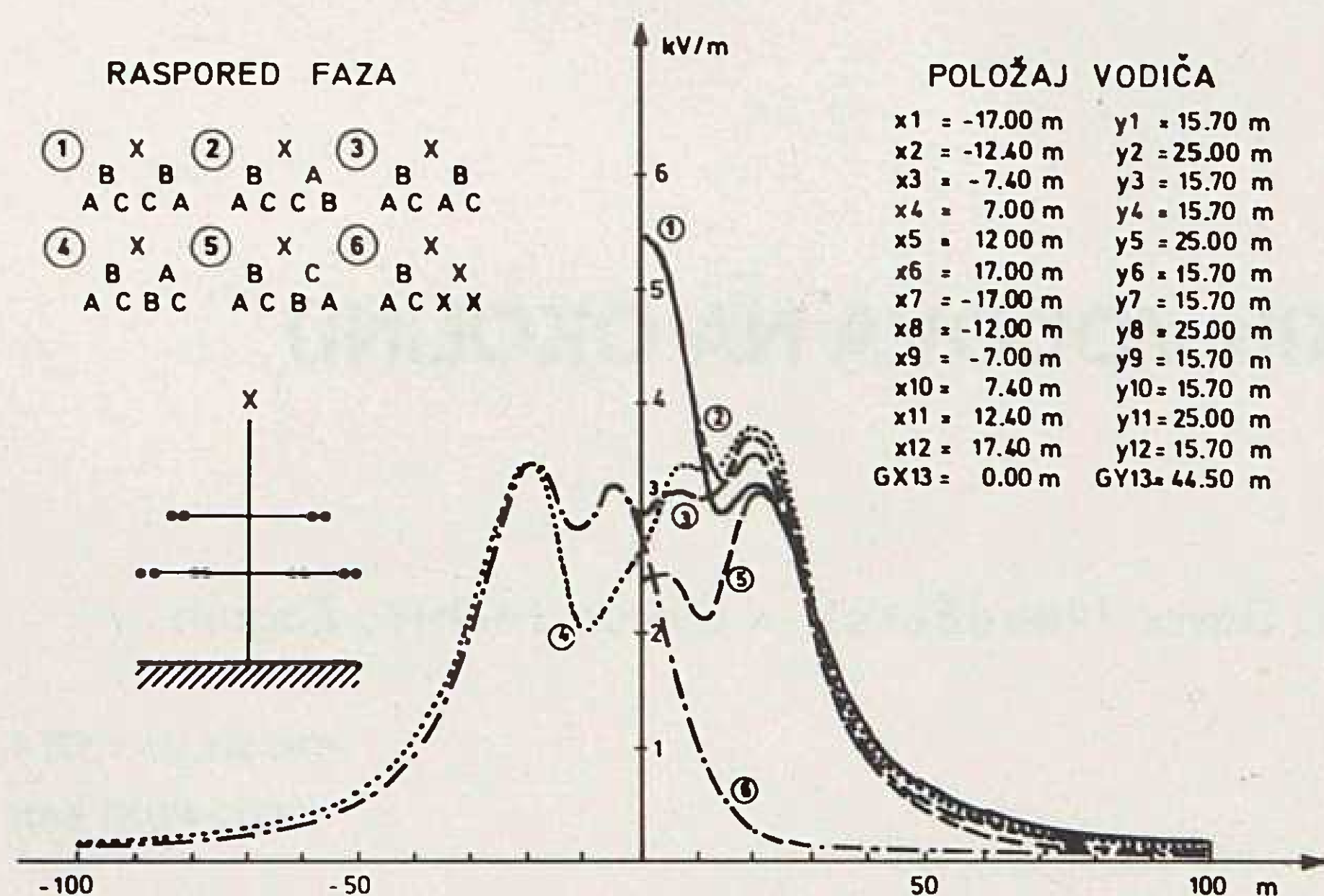
Za kompletan period napona i različite udaljenosti od voda može se nacrtati krivulja koja povezuje sve maksimume. Jedna takva krivulja maksimalne jakosti električnog polja za proizvoljno odabranu konfiguraciju 380 kV-tnog voda pokazuje slika 1.

Očito je da električno polje blizu voda ovisi o naponu, broju vodiča, promjeru vodiča, visini vodiča iznad zemlje i rasporedu faza. Raspored faza utječe na raspodjelu električnog polja neposredno ispod voda a na većim je udaljenostima utjecaj zanemariv. Polje brzo slabi s udaljenošću od voda i na 50 m slabije je od 10% maksimalne vrijednosti.

### 1.2. Utjecaj jakih električnih polja

Neuzemljeni objekti u električnom polju akumuliraju naboj i poprimaju određeni potencijal prema zemlji. Na isti se način naboj akumulira na tijelu osobe koja je u električnom polju. Dotakne li osoba neuzemljeni objekt, nastat će električno izbijanje, poteći se struja i izjednačit će se potencijal osobe i objekta.

U stacionarnom stanju između tijela osobe i objekta teći će kapacitivna struja izbijanja. Da bi se takve pojave spriječile, metalni se predmeti i objekti uzemljuju. Objekt je tada na potencijalu zemlje, a kapacitivne su struje posljedica izbijanja naboja akumulira-



Slika 1.

nog na tijelu osobe. Navedene su pojave osobito jake blizu dijelova postrojenja pod naponom.

Maksimalna kapacitivna struja izbijanja, koja je proporcionalna jakosti električnog polja i ekvivalentnoj površini objekta, može se mjeriti na spoju objekta i uzemljivača. Na određenoj udaljenosti od voda polje je konstantno, pa struja izbijanja ovisi o geometriji objekta:

$$I_{sc} = (j \omega \mathcal{E}_0 E) \left( h \frac{C_0}{\mathcal{E}_0} \right) \quad (3)$$

$\omega$  — kružna frekvencija

$\mathcal{E}_0$  — dielektrična konstanta

$h$  — efektivna visina objekta iznad zemlje

$C_0$  — kapacitet objekta prema zemlji.

Na osnovi mjerenja na različitim objektima i modelima u električnom polju, za poznato se električno polje može odrediti ekvivalentna površina objekta i izračunati struja izbijanja. Isto se tako može procijeniti napon objekta prema zemlji i akumulirana elektrostatska energija.

Tipičan primjer neuzemljenog objekta u električnom polju jest vozilo zaustavljeno ispod visokonaponskog voda. Napon vozila prema zemlji u izrazito nepovoljnim okolnostima može poprimiti vrijednosti između 2 000 i 4 000 V. Međutim, pripadne struje izbijanja, premda neugodne, nisu opasne. Izmjerene i računski dobivene vrijednosti u električnom polju 6 kV/m kreću se između 0,3 mA, za osobna vozila, i 2,5 mA, za autobuse. Drugim rječima, neuzemljeni je objekt u jakom električnom polju naponski izvor vrlo velikoga unutrašnjeg otpora. Napomenimo, ipak, da je u električnom polju opasna mogućnost zapaljenja benzinskih para električnim lukom, zbog čega u nekim zemljama nije dopuštena gradnja benzinskih stanica na udaljenostima manjim od 60 m od 400 kV-tnog voda ili u polju većem od 2 kV/m.

Popratne pojave — peckanje, šakljanje, podražaj kose, osjećaj zujanja, treperenja i bockanje između tijela i odjeće — ne mogu se definirati tokom struje. Reakcije ljudi na efekte u jakim električnim poljima ovise o pojedinoj situaciji i većina ih se može definirati pomoću jakosti električnog polja na površini zem-

lje. Prag osjećanja električnog polja kreće se između 10 i 15 kV/m.

Pri određivanju mogućeg rizika od utjecaja električnog polja na zdravlje ljudi razmatran je direktan utjecaj polja na organizam. Budući da do danas nije utvrđen drugi utjecaj osim induciranih struja, biološki se utjecaj definira gustoćom struje (jakost polja i gustoću struje povezuje specifična vodljivost). Rezultati istraživanja pokazuju da je irelevantno ulazi li struja u tkivo direktnim kontaktom ili je inducirana poljem. Tok struje kroz tijelo, međutim, može biti različit.

Standard DIN VDE 0848 »Opasnosti od elektromagnetskih polja« propisuje 20 kV/m kao maksimalnu jakost električnog polja kojemu osoba može biti trajno izložena da bi se ograničile struje i spriječili mogući štetni utjecaji [1]. Za razliku od ograničenja maksimalne jakosti električnog polja, SAD i neke druge zemlje donose zakone koji ograničuju struju izbijanja objekata u električnom polju na 5 mA [2].

### 1.3. Metode smanjenja električnog polja

Postoje različite metode za smanjenje električnog polja prijenosnih vodova. Polje se može smanjiti povećanjem visine vodiča, rasporedom faza faznih vodiča dvosistemskih vodova i upotrebom zaštitnih uzemljenih vodiča postavljenih između faznih vodiča i zemlje. Navedene se metode ponajprije odnose na vodove vrlo visokih napona (viših od 400 kV).

Električno polje 400 kV-tnih vodova može u provjesu, gdje je visina vodiča iznad zemlje najmanje 8 m, pri maksimalnome pogonskom naponu 420 kV postići maksimalnu vrijednost od oko 10 kV/m. Prema tome, posebne mjere zaštite za smanjenje električnog polja 400 kV-tnih vodova nisu potrebne.

## 2. UTJECAJ KORONE

Utjecaji korone na visokonaponskim nadzemnim vodovima nastaju ionizacijom zračnog prostora u jakom električnom polju oko vodiča, izolatora i ovjesne opreme. Pritome je korona izvor zvučnih i radiosmetnji. U nastavku ćemo sažeto opisati zvučne i radiosmetnje uzrokovane koronom visokonaponskih prijenosnih vodova.

### 2.1. Radiosmetnje

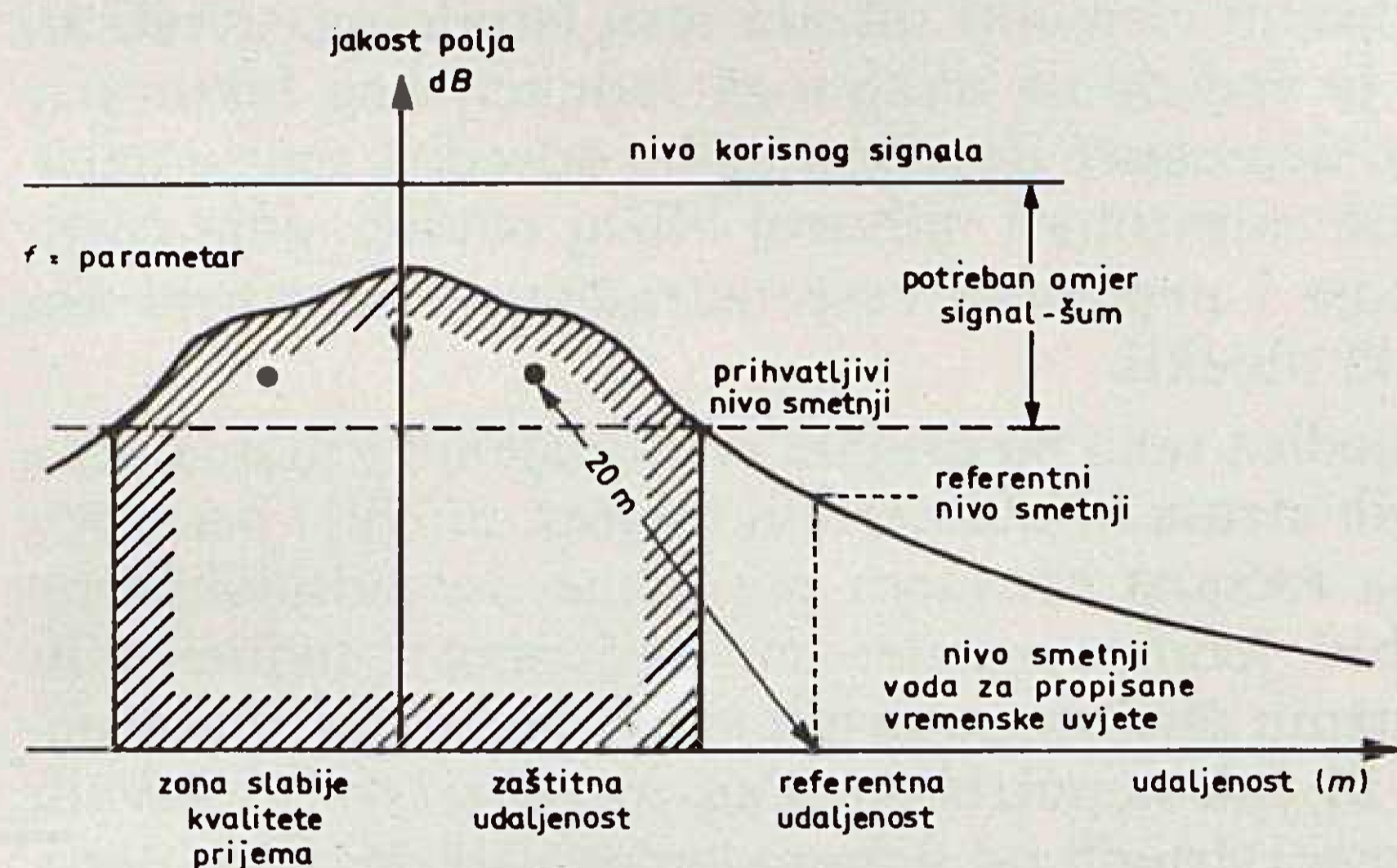
Radiofrekvencijske smetnje ili, kraće, radiosmetnje (smetajući signal, šum) neželjene su visokofrekvencijske oscilacije koje ometaju prijem informacija i komunikaciju putem elektromagnetskih valova. Naime, ako se radijski prijemnik nalazi u neposrednoj blizini voda visokog napona, na antenski će ulaz prijemnika, zajedno s korisnim signalom željene radiostanice, dospjeti i ometajući signal uzrokovan koronom. On će u zvučniku prijemnika izazvati karakteristično krčanje i ometati kvalitetu prijema. Hoće li

smetnje biti slabije ili jače, ovisi prije svega o odnosu korisnog signala prema smetajućem na antenskom ulazu prijemnika. Ako je taj odnos dovoljno velik, prijem željene stanice bit će kvalitetniji i obratno.

Radiosmetnje zbog korone oko vodiča zahvaćaju frekvencijski pojas od 150 kHz sve do 5 MHz u normalnim vremenskim uvjetima, a u najnepovoljnijim se uvjetima mogu zamijetiti na frekvencijama do 30 MHz. Utjecaj smetnje smanjuje se s porastom frekvencije (spektar) i udaljavanjem od vodiča (profil).

Prema tome, korona oko vodiča na vodovima superponirane mreže 220 i 400 kV ometa prijem radiodifuznih emisija samo na srednjevalnom području (0,5–1,7 MHz) te dijelu kratkovalnoga i dugovalnog područja. Na ultrakratkovalnom području ili pri prijemu televizijskih emisija ne zamjećuju se smetnje zbog korone.

U radiodifuzijskoj komunikaciji potrebno je osigurati određenu minimalnu jakost elektromagnetskog polja odašiljača (nivo korisnog signala) koja će nadvisivati prirodni šum (atmosferski, kozmički) ili koju treba štititi od interferencije s drugim radiosignalima na ulazu u prijemnik (vidi sl. 2).



Slika 2.

Minimalnu udaljenost od voda na kojoj se za zadan nivo korisnog radiosignala i potreban omjer signal/šum može osigurati zahtijevana kvaliteta prijema, nazivamo zaštitnom udaljenošću  $D_z$  i određujemo prema izrazu:

$$D_z = 10 \left( \frac{E_o + R - E_k}{K} - \log 20 \right) \quad (\text{m}) \quad (4)$$

gdje je

$E$  — smetnja u dB ( $1 \mu\text{V}/\text{m}$ ) na udaljenosti  $D$  (m) po okomici između osi najbližeg vodiča i središta antene

$E_o$  — smetnja u dB ( $1 \mu\text{V}/\text{m}$ ) na referentnoj udaljenosti  $D_o$  (m); prema CISPR-u je  $D_o = 20 \text{ m}$

$K$  — faktor slabljenja polja smetnji dB ( $1 \mu\text{V}/\text{m}$ )

$R$  — traženi omjer signal dB ( $1 \mu\text{V}/\text{m}$ ).

Prema karti prekrivanja područja SR Hrvatske srednjevalnim odašiljačima i ucrtanim trasama dalekovo-

da superponirane mreže 220 i 400 kV, odabrane su lokacije za snimanje mjernih uzoraka radiosmetnji i polja korisnog signala pripadnih odašiljača za određivanje zaštitne udaljenosti. Institut za elektroprivredu proveo je takva mjerenja za vodove 400 kV; [3], [4]. Rezultati mjerenja dani su u tablici 1.

Tablica 1. Radiosmetnje 400 kV-tnih vodova

Dalekovod 400 kV	Lokacija	Radiosmetnje za prilike u okolini (dB)	
		vedro	kiša
Melina — Divača	provjes stup Grobničko polje Potkilavac	43	56
		41	58
Konjsko — Obrovac	provjes stup Biovičino Selo Kistanje	54	57
		50	74
Ernestinovo — »Mladost«	provjes stup Negoslavci Petrovci	59	56 a
		60	59 b
Ernestinovo — Tumbri	povjes stup Ludina Križ Hrastilnica	54	64
		54	63

a) nije tipično, jer je mjereno po oblačnom vremenu, jedanput prije kiše, a drugiput poslije kiše.

b) Mjereno za vrijeme povremene sitne kiše

O prihvatljivoj razini smetnje od prijenosnog voda još nema zakona. Međunarodna unija za telekomunikacije preporučuje planiranje uz odnos korisni signal/smetnja = 30 dB, a veličinu odnosa 30 dB uzima i CIGRE. Ovisno o nivou korisnog signala i signala smetnje, zaštitna se udaljenost kreće u granicama od 0 m, za jake signale i slabe smetnje, a do 150 m za slabe signale i jake smetenje [5].

## 2.2. Zvučne smetnje — buka

Zvučne smetnje ili buka prijenosnih vodova druga je neželjena posljedica korone na prijenosnim vodovima. Premda je nivo buke prijenosnog voda mnogo niži u usporedbi s ostalim izvorima buke, tom ćemo problemu također pridati pažnju i pratiti najnovija istraživanja na tom području. Rezultati istraživanja u svijetu pokazuju da će buka biti jedan od ograničavajućih faktora u konstrukciji prijenosnih vodova najviših napona.

Karakteristične komponente buke prijenosnih vodova jesu:

1. širokopojasni šum (siktanje, pucketanje, pucketanje, krckanje, praskanje),
2. čisti tonovi 50 Hz i višekratnika (zujanje),
3. 1. i 2. komponenta modulirana vrlo niskom frekvencijom oscilacija vodiča.

U različitim je vremenskim uvjetima relativan odnos šuma i čistih tonova različit. Za razliku od kiše, čisti su tonovi izrazitiji za mraza i leda, kada je šum relativno nizak.

Nivo buke prijenosnih vodova prije svega ovisi o jakosti polja na površini vodiča, broju vodiča, položaju vodiča u snopu, uvjetima na površini vodiča i vremenskim uvjetima.

Teško je definirati dopušteni nivo zvučnih smetnji prijenosnog voda jer pritom važnu ulogu ima nivo smetnji okoline. Tako prijenosni vod koji se smatra »bučnim« u području slabe naseljenosti, gdje su smetnje okoline zanemarive, u okolini s visokim nivoom smetnji, kao što su industrijska područja može biti »tih«. Prema dostupnim podacima [6], nivo buke prijenosnog voda do 53 dB, smatra se niskim, od 53 – 58 dB srednjim, a viši od 58 dB visokim nivoom buke. Vod s visokim nivoom zvučnih smetnji izaziva brojne pritužbe u naseljenim mjestima s niskim nivoom smetnji okoline. Rezultati proračuna buke za jaku kišu, kad je buka najveća, pokazuju da su naši 400 kV-tni vodovi u grupi vodova s niskim nivoom buke.

Različite metode za smanjenje korone na visokonaponskim vodovima efikasno će djelovati i na smanjenje buke. Navedimo samo najvažnije: primjena snopa, optimiranje položaja vodiča u snopu, promjena uvjeta na površini vodiča — stanje površine i, u izuzetnim okolnostima, samo na kraćim dionicama, postavljanje cijevi od izolacijskog materijala oko vodiča. Dakako, te se metode razmatraju za vodove najviših napona.

### 3. NAPONI OPASNOSTI

Za trajanja neizbježnih nesimetričnih dozemnih kvarova u trofaznim elektroenergetskim mrežama u tlu tekú jednofazne struje koje, osobito pri jedнопolnim kratkim spojevima u mrežama visokog napona s izravno uzemljenim zvjezdištem (poput naših prijenosnih mreža), kao i pri dvostrukim zemljospojevima u mrežama visokog napona s neizoliranim zvjezdištem (poput nekih naših razdjelnih mreža), mogu poprimiti vrlo visoke vrijednosti. Ako se pritom u području utjecajnih elektroenergetskih vodova i postrojenja nalaze stanoviti osjetljivi utjecani objekti, najčešće dojavni vodovi klasične izvedbe ili kovinski cjevovodi, na njima će se pojaviti, galvanskim ili/i induktivnim putem, nametnuti naponi pogonske frekvencije (50 Hz). Ako vrijednosti posljednjih prijedu propisima dopuštene vrijednosti, smatra se da opasnost postoji, pa se moraju primijeniti nerijetko skupe mjere zaštite utjecanih objekata.

Vrijednosti napona opasnosti mogu se odrediti proračunom ili mjerenjem sniženim naponom (strujom) odnosno izravnim mjerenjem u pogonu, uz izazivanje namjernih kvarova na kritičnim mjestima. Pritom računski postupak zahtijeva geodetski snimak, procjenu vrijednosti nadomjesnoga (prosječnog dubinskog) specifičnog otpora tla te proračun vrijednosti utjecajne struje i ukupnog faktora redukcije svih uzemljenih kovinskih objekata na području utjecaja, a mjerni postupci zahtijevaju postojanje objekta i kraću obustavu njihova pogona te, uz automatsko uvažavanje svih, pa i strujno ovisnih faktora, daju najtočnije, po pravilu i najniže vrijednosti rezultata. Stoga izravnim mjerenjima u pogonu valja pridati najveće gospodarsko značenje.

### 3.1. Proračun

Uz pretpostavku kvara na kritičnome mjestu, računa se efektivna vrijednost ukupne uzdužne inducirane elektromotorne sile prema izrazu:

$$E_i = 2 \pi f I_v L_m r_f \quad (5)$$

gdje je

$f$  — frekvencija (50 Hz)

$L_m$  — međuinduktivitet utjecajnoga i utjecajnog voda

$I_v$  — trostruka efektivna vrijednost nulte struje u vodičima utjecajnoga elektroenergetskog voda

$r_f$  — ukupni redukcijski faktor svih djelotvornih uzemljenih kovinskih objekata

Ako na stanoviti objekt istodobno utječu dva ili više elektroenergetskih vodova, i tu činjenicu treba uzeti u obzir.

Ne ulazeći u detalje proračuna međuinduktiviteta  $L$ , najprije želimo upozoriti da se vrijednost utjecajne struje  $I_v$  određuje na temelju rezultata proračuna najvećega mogućeg kratkog spoja u budućim mrežama, čije su konfiguracije često predimenzionirane, a svi njezini elementi nikada nisu istodobno uvršteni, dok je vrijednost ukupnoga redukcijskog faktora  $r_f$  često nemoguće dovoljno točno odrediti, npr. u naseljenim mjestima i njihovoj bližoj okolini, gdje često postoje i nepoznati rasprostranjeni i uzemljeni kovinski objekti.

Posljedica tako po pravilu precijenjenih veličina utjecajnih struja i redukcijskih faktora mogu, i bez obzira na točnost rezultata proračuna međuinduktiviteta, biti jedino precijenjene vrijednosti induciranih uzdužnih elektromotornih sila i, nerijetko, preuranjena ili čak nepotrebna ulaganja u zaštitu dojavnih vodova i drugih od napona opasnosti prividno ugroženih objekata.

U dojavnim kabelima i drugim osjetljivim objektima položenim u području naponskog lijevka uzemljivača elektroenergetskih vodova javlja se i galvanski preneseni dio napona opasnosti  $E_g$ , koji je jednak umnošku najvišeg potencijala u trasi kabela i redukcijskog faktora posljednjega. Točnost rezultata proračuna ovisi o struji koja se pri kvaru na kritičnome mjestu zatvara kroz uzemljivač i uvjetima nehomogenosti tla, koje utječu na oblikovanje naponskog lijevka.

Zato za proračun ukupnog napona opasnosti:

$$U_{op}^2 = E_i^2 + E_g^2 \quad (6)$$

možemo tvrditi da zahtijeva ulazne podatke koje samo ponekad možemo odrediti toliko točno da se i krajnji rezultat može smatrati dovoljno točnim.

### 3.2. Mjerenje

Mjerenje sniženim naponom (strujom) odnosno izravno mjerenje u pogonu provodi se, kako smo već, naveli, na izvedenim objektima, uz izazivanje namjernih kvarova koji zahtijevaju kraće iskopčavanje

objekata na kojima se provodi mjerenje. U prvom se slučaju upotrebljavaju uglavnom pokazni instrumenti (voltmetar visokoga unutrašnjeg otpora), a u izravnim se mjerenjima mjerne veličine snimaju osciloskopom u trajanju od oko 0.15 sekundi.

Prednost mjerenja, osobito izravnih, kojima se točno obuhvaćaju i utjecaji o stvarnoj struji ovisnih veličina, već je objašnjena u prvom dijelu.

### 3.3. Usporedba rezultata proračuna i mjerenja

Opisat ćemo primjer usporedbe rezultata proračuna i mjerenja napona opasnosti dojavnih vodova pod utjecajem dvostrukog 110 kV-tnog voda Melina — Mavrinci — Rijeka [7].

Prema rezultatima elaborata utjecaja navedenog voda, u tri dojavna voda valja očekivati napone opasnosti više od dopuštenih 430 V (tablica 2), te navedene vodove, dakako, zaštititi odgovarajućim zaštitama.

Navedeni računski rezultati provjereni su mjerenjem, i to jedanput niskim, a drugi put visokim (nazivnim 110 kV) naponom tako da je vod uklopljen na jednopolni kratki spoj načinjen na kritičnim mjestima. Utjecajne struje i utjecajni naponi opasnosti mjereni su niskonaponskim mjerenjima pokaznim instrumentom, a pri visokonaponskim su mjerenjima osciloskopirani za trajanja kvara od oko 0.15 sekundi.

Rezultati mjerenja također su pokazani u tablici 2, i to za niskonaponska mjerenja u kolonama 7. i 8. U navedenoj su tablici izračunati, prema izrazu (5), i pripadni omjeri:

$$U_{op} / I_v = \omega L_m r_f \quad (\text{om}) \quad (7)$$

i prikazani u koloni 3, za rezultate proračuna, u koloni 6, za rezultate niskonaponskih mjerenja, i u koloni 9, za rezultate visokonaponskih mjerenja.

Konačno, u tablici 2. pokazani su i omjeri vrijednosti  $\omega L_m r_f$ , i to na temelju rezultata proračuna i niskonaponskih mjerenja u koloni 10, na temelju rezultata niskonaponskih i visokonaponskih mjerenja u koloni

11 (strujna ovisnost) i na temelju rezultata proračuna i visokonaponskih mjerenja u koloni 12.

Iz navedenoga se može zaključiti:

1. da su naponi opasnosti u stvarnom pogonu bili za 1.5 — 3.0 puta niži od vrijednosti koje uz stvarnu struju slijede na temelju rezultata proračuna faktora  $\omega L_m r_f$ , i to uglavnom radi precijenjene vrijednosti ukupnog faktora redukcije  $r_f$ ,
2. da izmjerene vrijednosti napona opasnosti 311 V u TT-liniji VP, 539 V u TT-liniji PTT 7093 i 265 V u kabelu Čavle 146 upućuju na to da je već ugrađena zaštita odvodnicima prenapona potpuno zadovoljavajuća, odnosno da nisu potrebne nikakve dodatne zaštitne mjere, što vrijedi i uz očekivano povećanje struja jednopolnoga kratkog spoja do kraja ovog tisućljeća,
3. da je prije primjene skupih mjera zaštite rezultate proračuna napona opasnosti iz projekta potrebno provjeriti visokonaponskim mjerenjima.

### 3.4. Proračun trostruke efektivne vrijednosti nulte komponente struje u faznim vodičima odnosno tlu

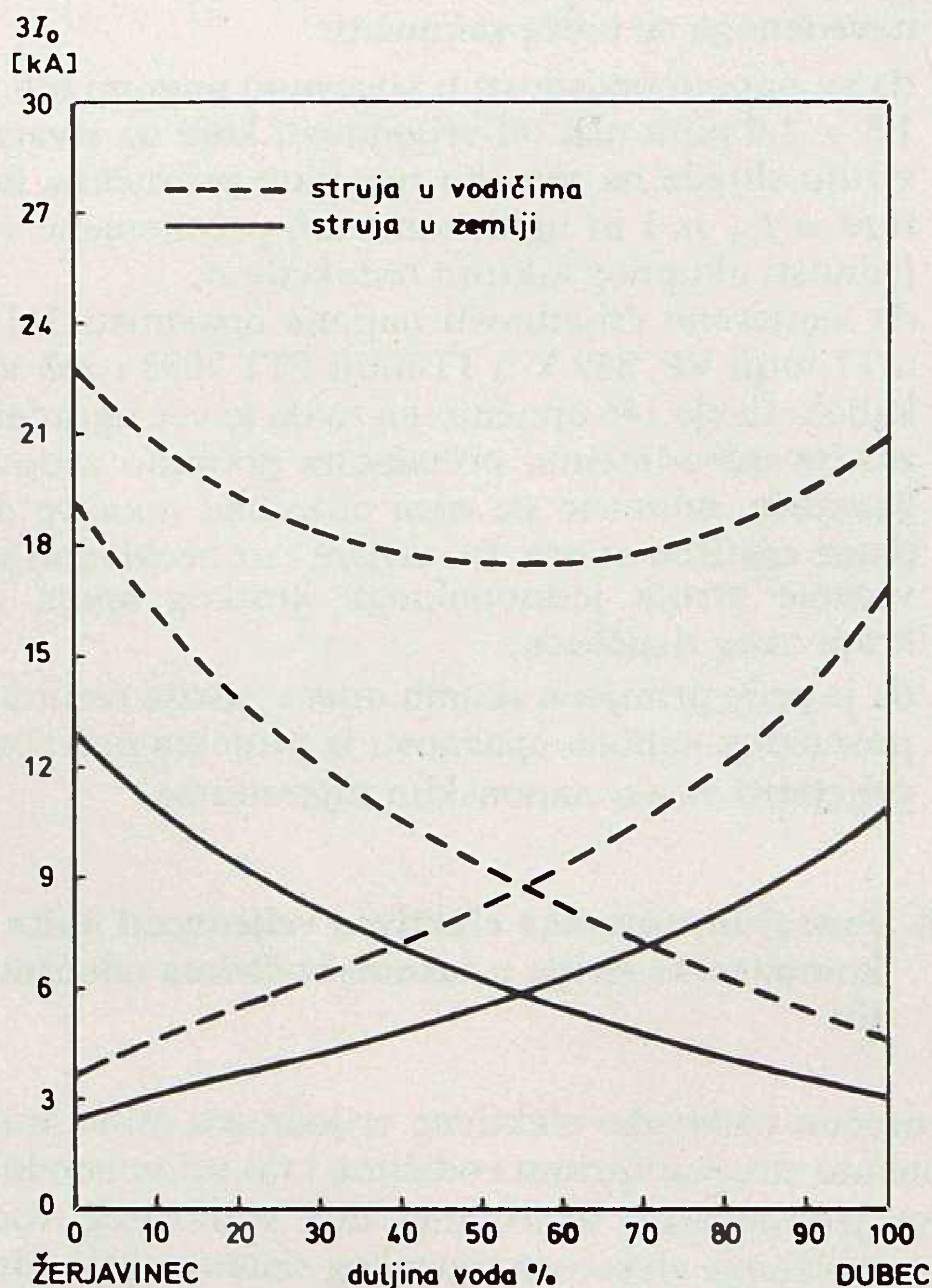
Proračun trostruke efektivne vrijednosti nulte komponente struja u faznim vodičima i tlu pri neistodobnim jednopolnim kvarovima duž stanovitog voda razmatranoga elektroenergetskog sistema (utjecajna struja  $I_v$ ) računa se programskim sustavom RIMA, razvijenim u Institutu za elektroprivredu Zagreb [8].

Programski sustav RIMA za proračun kratkog spoja u elektroenergetskim mrežama modificiran je za potrebe specifičnog proračuna utjecajne struje  $I_v$  tako da omogućuje ubacivanje  $n$  ekvidistantnih čvorova u  $m$ -ti vod jedne elektroenergetske mreže. To se provodi zadavanjem rednog broja voda i ukupnog broja novih čvorova koje na ekvidistantnim udaljenostima treba ubaciti u zadani vod. Proračun se dalje automatski provodi računajući prilike u mreži pri kvaru duž zadanog voda, tj. za  $n+2$  čvorova. Rezultati proračuna raspodjele struja jednopolnoga kratkog spoja pokazani su analitički (u tablicama) i grafički (lanča-

Tablica 2. Pregled i usporedba rezultata proračuna i mjerenja napona opasnosti u dojavnim vodovima pod utjecajem elektroenergetskog nadzemnog voda  $2 \times 110$  kV Matulji — Vinodol, dionica Melina — Mavrinci — Rijeka

Pregled rezultata proračuna i mjerenja										Usporedba vrijednosti faktora		
Izvor podataka	Proračun			Niskonaponska mjerenja			Visokonaponska mjerenja			$\frac{U_0}{I_v} = \omega \cdot L_m \cdot r_f$ /om/om/ = /1/		
	samo induktivni			ukupni, induktivni i galvanski								
T. br. kolone	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Dojavni vod	$I_v$ /A/	$U_0$ /V/	$U_0/I_v$ /om/	$I_v$ /A/	$U_0$ /V/	$U_0/I_v$ /om/	$I_v$ /A/	$U_0$ /V/	$U_0/I_v$ /om/	3/6	6/9	3/9
TT-linija VP	10600	1862	0,1757	118	16,1	0,136	4623	311	0,0673	1,287	2,028	2,611
TT-linija PTT 7093	10600	2215	0,2090	118	19,4	0,164	4623	593	0,1283	1,271	1,282	1,629
Kabel Čavle 146	9200	1597	0,1736	118	12,1	0,103	4623	265	0,0573	1,693	1,789	3,028

nice struja duž voda), što omogućuje jednostavniju interpretaciju dobivenih rezultata proračuna (sl. 3).



Slika 3.

Valja naglasiti da je potreba proračuna utjecajne struje  $I_v$ , koja se određuje na temelju rezultata proračuna najvećega mogućeg početnog kratkog spoja u budućim mrežama, nužna u postupku projektiranja novih visokonaponskih vodova. Redukcijski faktor tada prikazuje redukcijski utjecaj zaštitnih užeta nadzemnih vodova i vrijedi za prilike desetak stupova od uzemljivača transformatorske stanice. Utjecaj uzemljivača postrojenja transformatorskih stanica i (u naseljenim mjestima) nepoznatih rasprostranjenih i uzemljenih kovinskih objekata nije uzet u obzir, pa je zato vrijednost redukcijskog faktora približna. Poboljšanja u proračunu redukcijskog faktora moguća su uzimanjem u obzir utjecaja uzemljivača elektroenergetskih postrojenja.

#### 4. ZAKLJUČAK

Električni utjecaj elektroenergetskih vodova na okolinu danas je važno područje istraživanja i rada Instituta za elektroprivredu, Zagreb. Razvijeni su računski postupci i programi na suvremenim elektroničkim računalima, te metodologije mjerenja, a kompletiran je i potreban instrumentarij za njihovu provedbu.

Uz nužne proračune napona opasnosti na osjetljivim utjecajnim objektima, upozorava se na nužnost provedbe naknadnih visokonaponskih mjerenja na konkretno izvedenim objektima prije primjene (često) skupih zaštitnih mjera.

Proračun električnog polja pokazuje kolika se maksimalna jakost električnog polja može očekivati neposredno ispod vodova različite konfiguracije. Opisane su metode za smanjenje električnog polja visokonaponskog voda.

Utjecaji korone, s aspekta zvučnih i radiosmetnji, također su predmet istraživanja (proračun i mjerenja) u Institutu za elektroprivredu, čime se zaokružuje problematika električnog utjecaja elektroenergetskih vodova na okolinu.

Na kraju želimo još istaknuti posebne pogodnosti koje pruža laboratorij za visokonaponska ispitivanja u Institutu za elektroprivredu, pa se neka mjerenja mogu obaviti i u laboratorijskim uvjetima (ispitivanje električnog polja, korone na izolatorima).

#### LITERATURA

- [1] J. H. BERNHART, H. J. HAUBRICH, G. NEWI, N. KRAUSE, K. H. SCHNEIDER: »Limits for electric and magnetic fields in DIV VDE Standards considerations for the range 0 to 10 kHz«, WG 36-10, CIGRE Paris, 1986.
- [2] »Electric and magnetic fields from power transmission systems results of an international survey«, WG 36-01, CIGRE, Paris, 1986.
- [3] M. SINGER, Z. TONKOVIĆ, G. JERBIĆ: »Zaštitna zona oko dalekovoda za prijem garantiranog nivoa signala«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1987.
- [4] Z. TONKOVIĆ, G. JERBIĆ: »Mjerenje utjecaja radio smetnje od korone na vodovima mreže 400 kV«, Elektroprivreda br. 7-8, Beograd, 1988.
- [5] »The environmental impacts of high voltage overhead transmission lines«, CIGRE SC22 — WG02 Final draft, September 1988.
- [6] »Transmission line reference book 345 kV and above«, Electric Power Research Institut, Palo Alto, 1975.
- [7] M. JUNG: »Svršishodnost izravnih mjerenja opasnosti u dojavnim vodovima«, Energija br. 4, 1986.
- [8] D. NEVEČEREL: »Razvoj programskog sustava za proračun kratkog spoja u elektroenergetskim mrežama«, XI Savjetovanje o prenosu električne energije u SFR Jugoslaviji, Dubrovnik, 1987.

**IMPACT OF ELECTRIC POWER LINES ON THE ENVIRONMENT**

In the paper is described impacts of electric power lines on the environment, as well as effects in normal operation (corona, radio set disturbances) and in failure conditions (current impacts).

**EINFLUSS DER ELEKTROENERGETISCHEN LEITUNGEN AUF DIE UMWELT**

Hier werden Erscheinungen bei elektroenergetischen Einflüssen der Hochspannungsleitungen auf die Umwelt bei regelmäßigem Betrieb (Korone, Rundfunkstörungen) sowie bei Betriebsunfällen (Einfluß der Ströme) beschrieben.

**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

Описываются явления, возникающие под электроэнергетическим влиянием высоковольтных линий на окружающую среду, влияния при нормальной эксплуатации (корона, радиопомехи) и при авариях (влияние токов).

Naslov pisaca:

**Dr. Miroslav Jung, dipl. inž.**  
**Mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.**  
**Mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.**  
**Goran Jerbić, dipl. inž.**  
Institut za elektroprivredu,  
41000 Zagreb,  
Proleterskih brigada 37,  
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:  
1988-05-20



# ZNAČENJE I OSNOVE METODE OPTIMIZACIJE HLADNOG KRAJA TERMoeLEKTRANA

Mr. Hrvoje Kunaj — Darko Barilar, Zagreb

UDK 621.311.22.004

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu je prikazano značenje postupka i osnove metode optimizacije hladnog kraja termoelektrana i osnovne mogućnosti matematičkog programa razvijenog u Institutu za elektroprivredu. Optimizacija hladnog kraja je postupak kojim se usuglašavaju prirodne mogućnosti hlađenja na danoj lokaciji s tehničkim karakteristikama termoelektrane. Postupak omogućuje određivanje tipa, dimenzija i parametara opreme rashladnog sistema do, uključivo, izbora tipa turboagregata. Prikazana metoda obuhvaća analizu klasičnih i nuklearnih elektrana, sa oduzimanjem para s turbine za potrebe industrije ili grijanja ili bez oduzimanja, kao i sve danas praktično primjenjive tipove rashladnih sistema.

**Ključne riječi:** termoelektrana, hladni kraj, rashladni sistem, turbina, rashladni toranj, kondenzator, optimizacija hladnog kraja.

## 1. ZNAČENJE POSTUPKA OPTIMIZACIJE

S razvojem društva javlja se sve jača potreba za svim vrstama energije, a posebno električne. Udio hidroelektrana u ukupnoj proizvodnji električne energije zbog ograničenih resursa sve se više smanjuje. Povećane potrebe za električnom energijom zato se primarno pokrivaju gradnjom novih termoenergetskih objekata (fosilnih i nuklearnih). Velik broj izgrađenih objekata takve vrste omogućio je visok stupanj standardizacije izrade ne samo pojedinih komponenti i cijelih sistema elektrane, nego i serijsku gradnju identičnih postrojenja na istoj lokaciji.

Međutim, upravo hladni kraj elektrane (rashladni sistem s pripadnim pomoćnim sistemima do, uključivo, niskotlačnog kućišta /NTK/ turbine) ostao je jedina slobodna veličina čiji parametri i dimenzije nisu podređeni standardizaciji. Specifičnosti lokacije, prostorne mogućnosti smještaja opreme, hidrometeorološka situacija i mogućnosti opskrbe elektrane vodom, osnovi su prirodni elementi koji primarno određuju izvedbu tipa rashladnog sistema. Dodatna važnost hladnog kraja iskazuje se i činjenicom da je to jedini slobodni element koji može bitnije utjecati i na specifični potrošak topline do približno 10%, ali i element koji čini oko 20-25% vrijednosti ukupne investicije u postrojenje. Značenje postupka optimizacije hladnog kraja očituje se i u činjenici da se rashladnim sistemom u okolinu odvodi najveći dio energije proizvedene u gorivu.

Osnovni cilj rashladnog sistema termoelektrana je odvođenje otpadne topline kondenzacije pare u okolinu, što je inače nužan nusprodukt u procesu preobrazbe toplinske energije u mehanički rad. Teorijski, mehanički se rad dobije iz svakoga toplinskog procesa koji se odvija između dva toplinska spremnika različitih temperaturnih nivoa, ako se toplota oduzi-

**Tablica 1. Energetski tokovi u termoelektrani u procesi preobrazbe toplinske energije goriva u električnu energiju**

Energetski tokovi u elektrani (u%)	NE (PWR, BWR)	TE (ugljen)	TE (nafta)
proizvedena toplota u gorivu	100	100	100
toplina izgubljena predajom od goriva u vodenu paru	0,2-0,5	10-13	9-12
toplina iskorištena za održavanje pogona i vlastitu potrošnju	1,4-2,0	2,5-3,5	2,3-3,0
toplina provedena u mehaničku i električnu energiju i predana u mrežu	33-36	34-38	36-40
toplina kondenzacije pare odvedena rashladnim sistemom u okolinu	61-66	47-52	45-50

ma gornjem spremniku. Gornji toplinski spremnik u elektranama je kotao ili nuklearni reaktor, a donji je okolina. Rashladni je sistem upravo onaj element koji povezuje glavni toplinski proces u elektrani sa širim okolinom, pri čemu različitost lokacija uvjetuje i veliku različitost tipova rashladnih sistema.

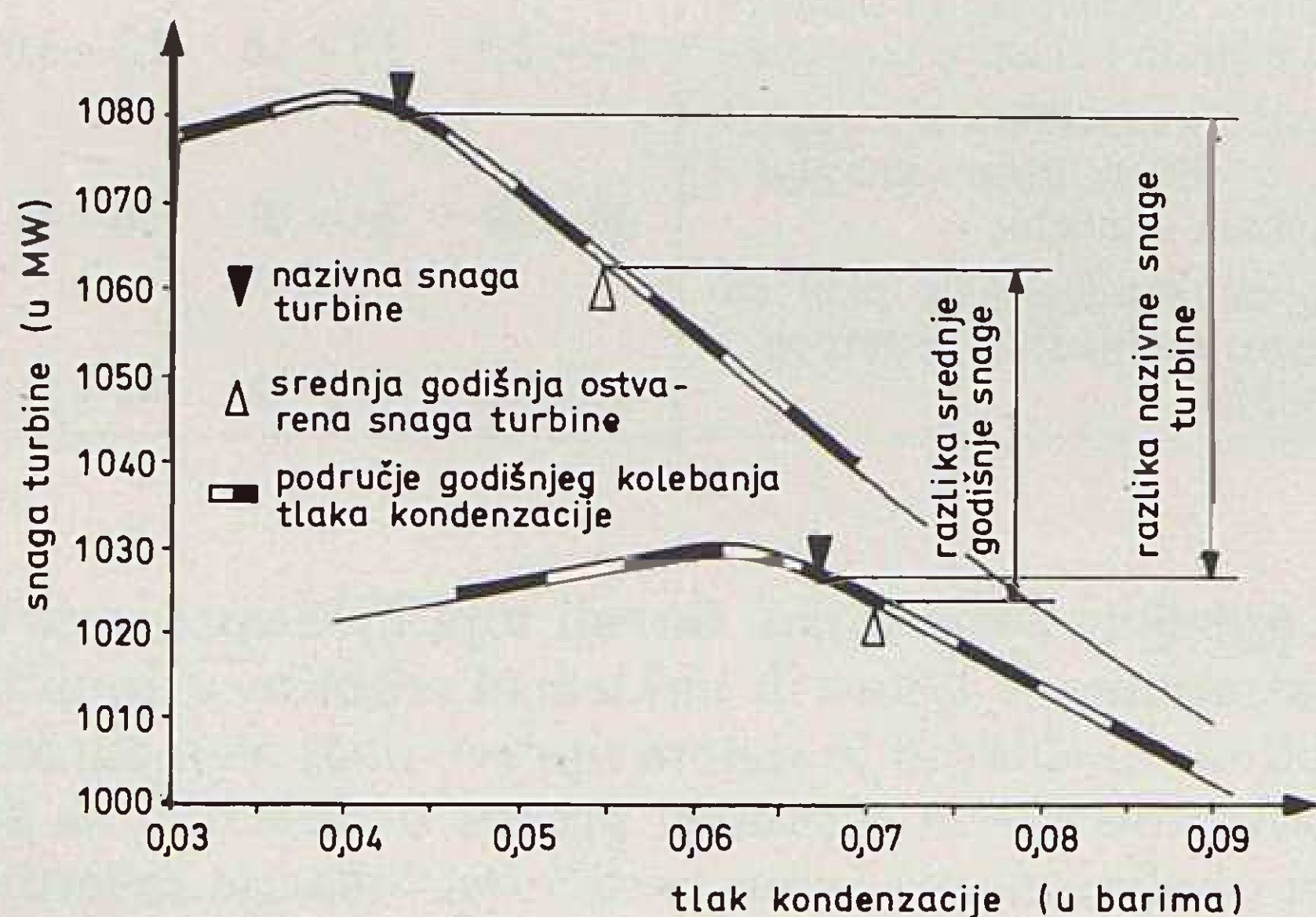
Zato je postupak optimizacije hladnog kraja nužan pri gradnji svake nove termoelektrane, jer se time određuju dimenzije i parametri opreme rashladnog sistema s, uključivo, izborom tipa turboagregata. Na taj se način usklađuju pogonske karakteristike elektrane s prirodnim specifičnostima lokacije, a to donosi velike uštete u investicijama i troškovima održavanja te u smanjenju troškova goriva, čime se direktno utječe i na cijenu električne energije. Isti postupak optimizacije u izvedenim termoelektranama omogućuje optimalno vođenje pogona složenih rashladnih sistema, kada u općim hidrometeorološkim situacijama bez detaljnih proračuna nije moguće

pronaći najbolje pogonsko stanje (način rada rashladnih crpki i tornjeva). Mogućnosti analiza pogonskih stanja detaljnije su objašnjene na primjeru NE Krško (tabl. 2).

## 2. IZBOR METODE I OSNOVNA NAČELA POSTUPKA OPTIMIZACIJE

Izbor prikladnog postupka optimizacije hladnog kraja i danas je osnovni problem mnogih stručnih radova. Izuzetno velik broj kombinacija različitih tipova, dimenzija i parametara opreme hladnog kraja uvjetuje isključivu primjenu računara. Tako matematički model ostaje jedina metoda koja omogućuje obradu velikog broja kombinacija tipova i dimenzija opreme, ispitivanja različitih utjecaja ekonomskih parametara i simuliranje različitih varijanti pogonskih stanja za sve hidrometeorološke situacije na lokaciji.

Primjena matematičkog modela razumijeva i dinamičko praćenje promjena snage na turbini u ovisnosti o promjenama hidrometeoroloških parametara u okolini, odnosno o promjenama tlaka kondenzacije u toku godine (sl. 1). Turbine maloga izlaznog presjeka NTK turbine (turbine B na slici 1) imaju i relativno mala odstupanja snage s promjenom tlaka kondenzacije u odnosu prema turbinama s velikom površinom NTK (turbina A). Isto tako, ovisno o izboru nazivne snage turbine (na slici 1. nazivna je snaga definirana prema izlaznoj energiji strujanja pare od 40 kJ/kg, što odgovara izlaznoj brzini pare iz NTK od 282 m/s), srednja ostvarena godišnja snaga turbine je uvijek manja od njezine nazivne snage.



Slika 1. Ovisnost promjene snage turbine o tlaku kondenzacije

Zato se godišnja proizvodnja električne energije ne može računati kao linearna veza broja sati pogona i nazivne snage elektrana, već kao rezultat stvarnih mogućnosti proizvodnje elektrane u ovisnosti o periodu angažiranja na mreži (promatranj hidrolškoj situaciji) odnosno u skladu s tehničkim mogućnostima opreme hladnog kraja. S obzirom na izuzetnu širinu i složenost postupka optimizacije hladnog kraja, prikazani matematički model mora poštovati sljedeće opće postulate, koji će uvjetovati osnovnu logiku izrade i rada programa:

- opseg komponenti hladnog kraja termoelektrane definiranih matematičkim modelom obuhvaća sve elemente koji svojim slobodnim izborom na bilo koji način mogu utjecati na cijenu električne energije iz elektrane (sl. 2). Svaka komponenta hladnog kraja definirana je svojim matematičkim modelom s pripadnim neovisnim tehničkim i ekonomskim uzlaznim podacima,
- u svakom trenutku u toku godine i za svaku hidrometeorološku situaciju matematički model ispituje sve kombinacije pogona opreme hladnog kraja i omogućuje izbor najpovoljnijega pogonskog stanja elektrane u danom trenutku. Angažiranost pojedinih komponenti hladnog kraja proistječe iz zahtjeva za maksimalnom snagom elektrane (minimalni specifični potrošak topline na pragu elektrane), uz istodobno poštovanje svih tehničkih ograničenja i ekoloških zahtjeva; primjer je tablica 2,
- razvijeni matematički model omogućuje simulaciju promjena pogonskog stanja razmatrane elektrane u svim promatranim hidrometeorološkim periodima u toku godine; primjer je tablica 3. Ostvarena godišnja proizvodnja električne energije rezultat je dinamičke metode praćenja promjena pogonskih stanja elektrane u skladu s promjenama hidrometeoroloških prilika u toku godine,
- proračun pogonskih rezultata elektrane (proizvodnja električne i toplinske energije) u toku njezina trajanja osniva se samo na tehničkim mogućnostima elektrane i potrebama potrošnje. Termoelektrana je sastavni dio elektroenergetskog sistema, što znači da se vrijeme angažiranja i potreban nivo snage mora uskladiti s predviđenim potrebama koje nameće zajednička potrošnja,
- ekonomska obrada rezultata izvodi se za svaku razmatranu varijantu posebno, a primijenjena metode sadašnje neto vrijednosti uzima u obzir vremenske razlike u prispjeću svih troškova i koristi u toku vijeka elektrane. Proračun troškova investicija, održavanja i ostvarene koristi isključivo je rezultat specifičnosti izbora pripadne tehničke kombinacije elemenata hladnog kraja (tablica 3, ekonomski dio),
- optimalna se varijanta određuje nakon ispitivanja i međusobnog uspoređivanja svih realno mogućih kombinacija tipova elemenata hladnog kraja. Premda malo dugotrajniji način traženja rješenja metodom »korak po korak«, to je jedini postupak koji pouzdano vodi rješenju i omogućuje nužan uvid u međusobne utjecaje pojedinih elemenata te uvid u sve parcijalne optimume,
- točnost traženog rješenja (dimenzija i parametara opreme) te gornja i donja granica nivoa određenog podatka (element hladnog kraja) definirani su na osnovi iskustava iz svjetske prakse, tehničkih mogućnosti i ograničenja proizvođača opreme te zahtjeva za točnošću rezultata. Širina granica i broj nivoa za analizu pojedinog elementa ne smije biti čvrsto određena veličina ako konačni rezultati pokažu tendenciju usvajanja graničnih vrijed-

nosti kao optimalnih. Pravo rješenje svakog postupka optimizacije mora se u općem slučaju nalaziti između pretpostavljenih granica i biti rezultat kompromisa više mogućnosti,

- h) optimalno rješenje hladnog kraja elektrane jednoznačno je određeno samo na osnovi unaprijed definiranog kriterija iskazanog minimalnom cijenom proizvoda i mjerila koja se mogu egzaktno i jednoznačno matematički interpretirati (tabl. 3).

### 3. DIJAGRAM TOKA I GLAVNE MOGUĆNOSTI MATEMATIČKOG MODELA

Na osnovi tako definiranih odrednica i u skladu s mogućnostima računskog stroja, razvijen je matematički model »OPTYMA« za potrebe optimizacije hladnog kraja termoenergetskih objekata. Matematički model razvijen u INSTITUTU ZA ELEKTROPRIVREDU, (L. [1]) napisan je FORTRAN-om IV plus s osnovnim dijagramom toka, kako pokazuje slika 2. Matematičkim su proračunom obuhvaćeni sljedeći elementi elektrane: turbina s primjenom spojnog procesa ili bez njega, kondenzator, crpaljke rashladne vode s pripadnim cijevovodima i rashladni tornjevi, a sam postupak proračuna sastoji se od tri zasebne cjeline.

- A) Proračun glavnih tehničkih parametara pojedinih komponenti hladnog kraja s definicijom konstrukcijskih rješenja i dimenzija opreme te ekonomski proračun zasnovan na specifičnosti izabranih tipova i dimenzija opreme

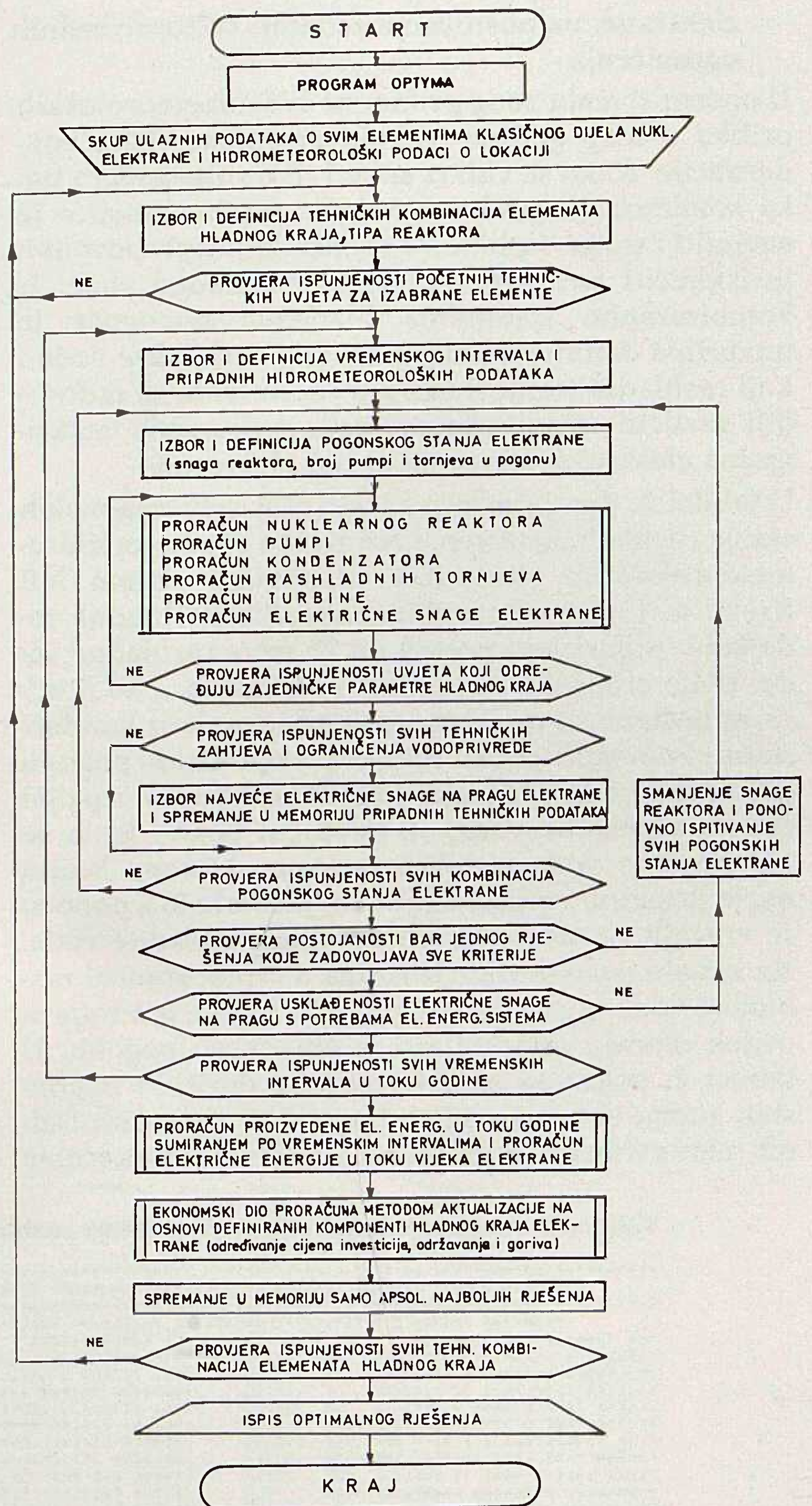
Proračun zadane turbine osniva se na praćenju promjena električne snage u ovisnosti o količinama i parametrima oduzete pare za spojni proces, promjenama snage generatora pare i promjenama tlaka kondenzacije. U ovisnosti o navedenim veličinama, proračunom se određuju količina i entalpija pare na izlazu iz NTKi snaga vlastite potrošnje komponenti turbinskog ciklusa za održavanje pogona.

Proračun kondenzatora poznatih dimenzija bazira se na određivanju tlaka kondenzacije pare u ovisnosti o količini i entalpiji turbinske pare, temperaturi, količini i brzini strujanja rashladne vode kroz kondenzator.

Proračun rada crpaljke rashladne vode osniva se na praćenju promjena pogonskog stanja crpaljke po zadanoj Q-H krivulji jer npr. promjena vodostaja rijeke u toku godine mogu bitno utjecati na protok i visinu dobave rashladne vode.

Proračun rada rashladnih tornjeva (bitan je za kombi-hlađenje i optočno hlađenje) zbog velikih kolebanja radnih parametara u tornju, a oni ovise o meteorološkoj situaciji, količini, temperaturi i izmijenjenoj toplini rashladne vode.

- B) Proračun pogonskog stanja svih komponenti hladnog kraja s rješenjima glavnih parametara, sukladnih za zajednički pogon komponenti u cijeloj elektrani u skladu s trenutnim hidrometeorološkim prilikama



Slika 2. Dijagram toka matematičkog modala OPTYMA

Taj se dio proračuna ponavlja interakcijom dok se ne usklade rezultati proračuna svih navedenih komponenti. To znači da tlak kondenzacije pare ostvaren proračunom kondenzatora (za pretpostavljeni protok, temperaturu vode i količinu pare) mora odgovarati rezultatima proračuna temperature rashladne vode u tornju, količinama pare na izlazu iz NTK turbine te protoku rashladne vode koji crpaljke mogu ostvariti uz pripadne otpore u cijevovodima. Usuglašavanje rezultata proračuna za četiri glavne komponente hladnog kraja obavlja posebni dio programa postupkom interakcije do zahtijevanog stupnja točnosti.

- C) Proračun najpovoljnijega pogonskog stanja elektrane takav je postupak izbora rada pojedinih komponenti hladnog kraja kojim se omogućuje minimalni specifični potrošak topline na pragu

elektrane, uz poštovanje zadanih vodoprivrednih ograničenja

U općem slučaju zbog promjene hidrometeoroloških prilika u toku godine nastaju promjene tlaka kondenzacije. Kako se vidi iz slike 1. i 4, smanjenjem tlaka kondenzacije preko određene granice moguće je smanjiti i snagu turbine, što znači da je npr. povoljnije isključiti bar jednu crpaljku rashladne vode. U kombiniranim sistemima hlađenja nemoguće je unaprijed definirati koliko crpaljki rashladne vode i koji rashladni tornjevi moraju raditi da bi se zadovoljili različiti uvjeti vodoprivrede i ostvarila maksimalna električna snaga na pragu elektrane.

U tablici 2. dan je primjer ispitivanj svih pogonskih stanja rashladnog sistema NE Krško s jednom hidrometeorološkom situacijom. Rashladni sistem NE Krško sastoji se od tri glavne crpaljke rashladne vode koje osiguravaju protok od 25 m<sup>3</sup>/s rashladne vode. Dvije crpalske za rashladne tornjeve, 2 × 7,5 m<sup>3</sup>/s, smještene su na izlazu rashladne vode iz kondenzatora i omogućuju rad tornjeva u optočnom pogonu (ohladena voda iz tornja odvodi se na usis crpaljki glavne rashladne vode) ili protočni pogon kada se 1/3 protoka vode iz tornjeva kroz otvorenu branu može direktno ispuštati u Savu, a ostale 2/3 ponovo se vraćaju na usis glavnih crpaljki rashladne vode. Na kanalu ispusta vode iz tornja u crpnu stanicu rashladne vode nema ustave, pa se 2/3 vode iz tornjeva uvijek moraju recirkulirati u optočnom pogonu. U tablici 2. pokazani su svi teorijski slučajevi pogonskih stanja (13 varijanti) i dan prikaz osnovnih radnih parametara i utjecaja na toplinsko opterećenje

Save. Uz ograničenje povećanja temperature Save za 3°C, vidljivo je (tabl. 2) da je treća varijanta pogona, sa tri glavne crpaljke, dvije baterije tornjeva i otvorenom ustavom za ispuust vode u Savu, najbolje pogonsko rješenje za zadanu hidrometeorološku situaciju.

Za izbor povoljnoga pogonskog stanja elektrane osobito je važno znati točan položaj radnih točkova turbine, kako je pokazano krivuljama na slikama 1. i 3. Održavanje niskog vakuuma, npr. zimi, ne omogućuje uvijek povećanje snage turbine, ali nepotrebno forsira pogon elektrane u području ekstremno velikih izlaznih brzina pare iz NTK, što uz povećani sadržaj vlage u pari, bitno skraćuje trajanje lopatica u posljednjim redovima NTK-turbine. U NE Krško izlazne pare iz NTK od 345 m/s (vakuum 0,041 bar) uzrokovale bi dva puta bržu eroziju zadnjih redova lopatica nego pogon uz izlaznu brzinu pare 250 m/s (vakuum 0,057 bar), premda je gubitak električne snage na pragu elektrane samo 2,3 MWe.

Na osnovi tako razrađenoga matematičkog modela OPTYMA i usvojenog kriterija o minimalnoj cijeni jedinice proizvoda, prikazanim postupkom optimizacije moguće je provesti:

- izbor tipa rashladnog sistema (protočnog, kombi-sistema ili optočnog sistema hlađenja)
- izbor turbinskog procesa (definicija procesa s oduzimanjem pare za potrebe industrije ili spojnog procesa ili bez tog oduzimanja)
- izbor turbine (definira broj agregata, tip turbine, broj stupnjeva regenerativnih zagrijača, izlaznu površinu svih NTK, tlak kondenzacije itd.)

Tablica 2. Analiza jednoga pogonskog stanja rashladnog sistema NE Krško

RJEŠENJE OPTIMIZACIJE KLASIČNOG DIJELA ** NUKLEARNE ELEKTRANE KRŠKO ** S KOMBINIRANIM SISTEMOM HLAĐENJA															
ODABRANI ELEMENTI I PARAMETRI KLASIČNOG DIJELA ** NUKLEARNE ELEKTRANE KRŠKO ** S REAKTOROM TIP WESTINGHOUSE															
TIP TURBINE	WESTINGHOUSE	D3-YY4-100													
TOPLINSKA SNAGA PAROGENERATORA	MW	1681.4													
TOPLINSKA SNAGA NUK REAKTORA	MW	1671.0													
IZLAZNA TEMP PARE IZ PAROGEN	C	279.00													
ULAZNA TEMPER VODE U PAROGEN	C	221.00													
PROTOK PARE U PAROGENERATORU	KG/S	1028.5													
TLAK KONDENZACIJE PARE U KON	BAR	0.0515													
PROTOK PARE KROZ KONDENZATOR	KG/S	548.7													
IZLAZ BRZINA PARE IZ TURBINE	M/S	279.9													
STUPNJEVI REGENERA ZAGRIJAČA	BRJ	6.0													
UKUPNA DULJINA TURBOAGREGATA	M	48.75													
UKUPNA TEŽINA TURBOAGREGATA	MG	1663.7													
NAZIVNA ELE SNAGA GENERATORA	MVA	738.3													
NAZIVNA ELEKTR SNAGA TURBINE	MW	664.5													
NAZIVNA ELEKT SNAGA NA PRAGU	MW	632.5													
POLAZNA TEMPERATUR VRELOVODA	C	.00													
POVRATNA TEMPERATUR VRELOVODA	C	.00													
TOPLINSKA SNAGA VRELOVODA	MW	.00													
GOD PROIZVODNJA ELE ENERGIJE	MWH	4156293.													
TIP KONDENZATORA	JEDNOPROLAZNI-CIJEVNI	90-10 CU-NI													
MATERIJAL CIJEVI KONDENZATO	KOM	35696.													
PROJEKCIJA CIJEVI KONDENZATORA	M	19.70													
PROMJER CIJEVI KONDENZATORA	MM	20.83													
DEBLJINA STIJENKE CIJEVI	MM	0.69													
PROTOK RAS VODE KROZ KONDE	M <sup>3</sup> /S	24.95													
FAKTOR ČISTOĆE CIJEVI KONDE		0.650													
BRZINA VODE KROZ CIJEVI KON	M/S	2.458													
TOPLINSKA SNAGA KONDENZATOR	MW	1208.7													
IZLAZNA TEMPER VODE U KONDE	C	17.00													
IZLAZNA TEMP VODE IZ KONDE	C	28.57													
BRJ GLAVNIH PUMPI RAS VODE	KOM	3.0													
SNAGA SVAKE PUMPE RASH VODE	MW	1.375													
VISINA DOBAVE PUMPI RA VODE	M	13.46													
DULJINA KANALA RASHLAD VODE	M	500.00													
PRESJEK KANALA RASHLAD VODE	M <sup>2</sup>	9.62													
TIP RASHLAD TORNJA	BATERISKI-VLAŽNI	NAČIN CIRKULACIJE ZRAKA PRISILNI													
SMJER STRUJANJA ZRAK/VODA	PROTUSMJERNI	UKUPNA VISINA RASHLA TORNJA M													
		17.0													
PROMJER SAZE RASHLAD TORNJA	M	25.0													
BRJ BATERIJA RASH TORNJEVA	KOM	12.0													
BRJ SAMOSTALNIH SEKCIJA RT	KOM	2.0													
ŠIRINA ZONE HLAĐENJA U RT	C	0.00													
VISINA ZONE HLAĐENJA U RT	C	0.00													
PROTOK VODE KROZ RAS TORAMJ	M <sup>3</sup> /S	14.68													
BRJ GLAVNIH PUMPI RASH TOR	KOM	2.0													
SNAGA SVAKE PUMPE RASH TOR	MW	1.93													
VISINA DOBAVE PUMPI RAS TOR	M	20.66													
DULJINA KANALA RAS TORNJEVA	M	200.0													
PRESJEK KANALA RAS TORNJEVA	M <sup>2</sup>	5.40													
PROTOK ZRAKA KROZ RAS TORAM	M <sup>3</sup> /S	8166.0													
SNAGA SVIM VENTILATORA TOR	MW	1.944													
KOTA PREDJEDNOG BUNARA R.T.	MWR	148.50													
KOTA PLATOA NUKLE ELEKTRANE	MWR	153.00													
VODOPRIVREDNA OGRANIČENJA ZA TOPLINSKO OPTEREĆENJE SAVE NA DIONICI OD GRANICE SA SR SLOVENIJOM DO UŠĆA RIJEKE BOSNE															
MAKSIMALNA TEMPERATURA RIJEKE SAVE NAKOM POTPUNOG MIJEŠANJA S RASHLADNOM VODOM NE SMIJE PRIJEĆI 28.00 C															
MAKSIMALNI PORAST TEMPERATURE RIJEKE SAVE NAKOM POTPUNOG MIJEŠANJA SMIJE IZNOSITI :															
U LJETNIM MJESECIMA (6,7,8 I 9) I U MJESECIMA SA PROTOKOM MANJIM OD 105 M <sup>3</sup> /S															
U OSTALIM MJESECIMA KADA JE PROTOK RIJEKE SAVE VEĆI OD 105 M <sup>3</sup> /S															
MAKSIMALNA DOZVOLJENA KOLIČINA RIJEKE SAVE KOJA SE MOŽE KORISTITI ZA HLAĐENJE IZNOSI :															
U LJETNIM MJESECIMA (6,7,8 I 9) I U MJESECIMA SA PROTOKOM MANJIM OD 105 M <sup>3</sup> /S															
U OSTALIM MJESECIMA KADA JE PROTOK RIJEKE SAVE VEĆI OD 105 M <sup>3</sup> /S															
SVA POGONSKA STANJA NUKLEARNE ELEKTRANE KRŠKO ZA IZABRANI INTERVAL VREMENA															
RADNA SNAGA REAKTORA		1871.0 MW			TEMPERATURA ZRAKA 19.80 C			TEMPERATURA RIJEKE 17.10 C							
RADNA SNAGA VRELOVODA		0.0 MW			VLAŽNOST ZRAKA 83.00 %			PROTOK RIJEKE 70.0 M <sup>3</sup> /S							
.....															
SNAGA NA STEZ GEN		MW	664.20	662.61	660.04	661.48	656.09	660.37	656.59	650.74	653.98	642.25	635.10	619.52	610.80
SNAGA NA PRAGU EL		MW	632.20	627.61	622.04	626.49	618.09	629.99	623.23	614.38	620.62	605.91	606.36	587.77	579.06
BRJ PUMPI U RAGU		KOM	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0
BR OPTOČNIH TORNJ		KOM	0.0	0.7	1.3	1.0	2.0	0.0	0.7	1.3	1.0	2.0	0.0	0.7	1.0
BR PROTOČNIH TORJ		KOM	0.0	0.3	0.7	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0
SNAGA VLASTITE PO		MW	32.0	35.0	38.0	35.0	38.0	30.4	33.4	36.4	33.4	36.3	28.7	31.7	31.7
PROTOK PARE U KON		KG/S	549.0	550.4	552.1	551.2	554.3	551.9	554.0	556.8	555.3	560.3	563.0	568.7	572.1
VLAŽNOST PARE U K		X	90.29	90.31	90.39	90.34	90.53	90.38	90.51	90.76	90.62	91.16	91.51	92.28	92.69
BRZINA PARE IZ RT		M/S	276.0	257.5	236.5	247.4	213.1	238.8	215.7	189.6	203.1	162.1	144.0	113.9	99.7
TLAK KONDENZ PARE		BAR	0.0523	0.0500	0.0624	0.0592	0.0702	0.0617	0.0693	0.0803	0.0742	0.0963	0.1103	0.1448	0.1688
TEMPERATURA KONDE		C	33.70	35.12	36.89	35.95	39.09	36.68	38.83	41.61	40.13	45.09	47.76	53.26	56.47
UL TEM VODE U KON		C	17.10	18.72	20.70	19.66	23.07	17.10	19.51	22.51	20.93	26.12	17.10	23.05	26.34
IZ TEM VODE IZ KO		C	28.66	30.48	32.45	31.41	34.84	31.72	34.17	37.23	35.61	40.93	42.67	48.90	52.34
IZ TEM VODE IZ RT		C	28.86	25.16	26.04	25.59	27.03	31.72	32.76	27.93	27.33	29.15	42.67	31.04	31.54
TEMP VODE ISPUSTA		C	28.86	29.81	30.26	31.41	34.84	31.72	32.93	32.47	35.61	40.93	42.67	42.12	52.34
POVEĆANJE TE SAVE		C	4.13	3.55	2.73	3.50	2.44	4.14	3.34	2.14	3.25	1.62	4.23	2.34	2.05
PROTOK VODE U KON		M <sup>3</sup> /S	24.56	24.60	24.65	24.62	24.70	19.82	19.83	19.84	19.84	19.86	11.57	11.60	11.61
PROTOK NA ISPUSTU		M <sup>3</sup> /S	24.56	19.52	14.49	17.07	9.59	19.82	14.75	9.69	12.28	4.75	11.57	6.52	4.06
PREDANA TOPL TORN		MW	0.00	164.19	395.95	179.93	482.43	0.00	228.81	574.18	255.74	727.38	0.00	551.67	642.27
PREDANA TOPL SAVI		MW	1200.30	1037.67	808.55	1022.76	725.80	1204.21	979.28	639.93	954.66	495.20	1229.69	694.59	612.61



bora tipa rashladnog sistema na izbor tipa turboagregata. U analizi su promatrane tzv. idealne turbine proizvoljno velikog izlaznog presjeka NTK da bi se ostvario kontinuitet tehničkih i ekonomskih parametara. Promjene dimenzija NTK veće od približno 60 m<sup>2</sup> u praksi su ekonomski diskontinuirane veličine zbog nužnosti prijelaza na turbine s polovičnim brojem okretaja.

**Tablica 4. Pregled rezultata optimizacije turboagregata za NE Prevlaku u ovisnosti o tipu rashladnog sistema (top-snaga reaktora: 3 027 MWe)**

Tip rashladnog sistema: *Optočni sistem hlađenja s vlažnim rashladnim tornjevima*

Izlazna površina NTK (idealne turbine) (m <sup>2</sup> )	40	60	80	100	120
Električna snaga turbine na generatoru (MW)	997	1046	1068	1083	1087
Tlak kondenzacije pare (bar)	0,110	0,077	0,064	0,053	0,049
Površina cijevnog snopa kondenzatora (m <sup>2</sup> )	35450	51853	56474	67872	80797
Protok rashladne vode kroz kondenzat (m <sup>3</sup> /s)	28	34	37	42	45
Visina plašta rashladnog tornja (cca m)	161	169	179	188	197
Godišnja proizvodnja električne energije (GWh)	5690	6021	6182	6276	6309
Specifična cijena električne energije (%)	108,5	104,7	103,9	104,3	105,5

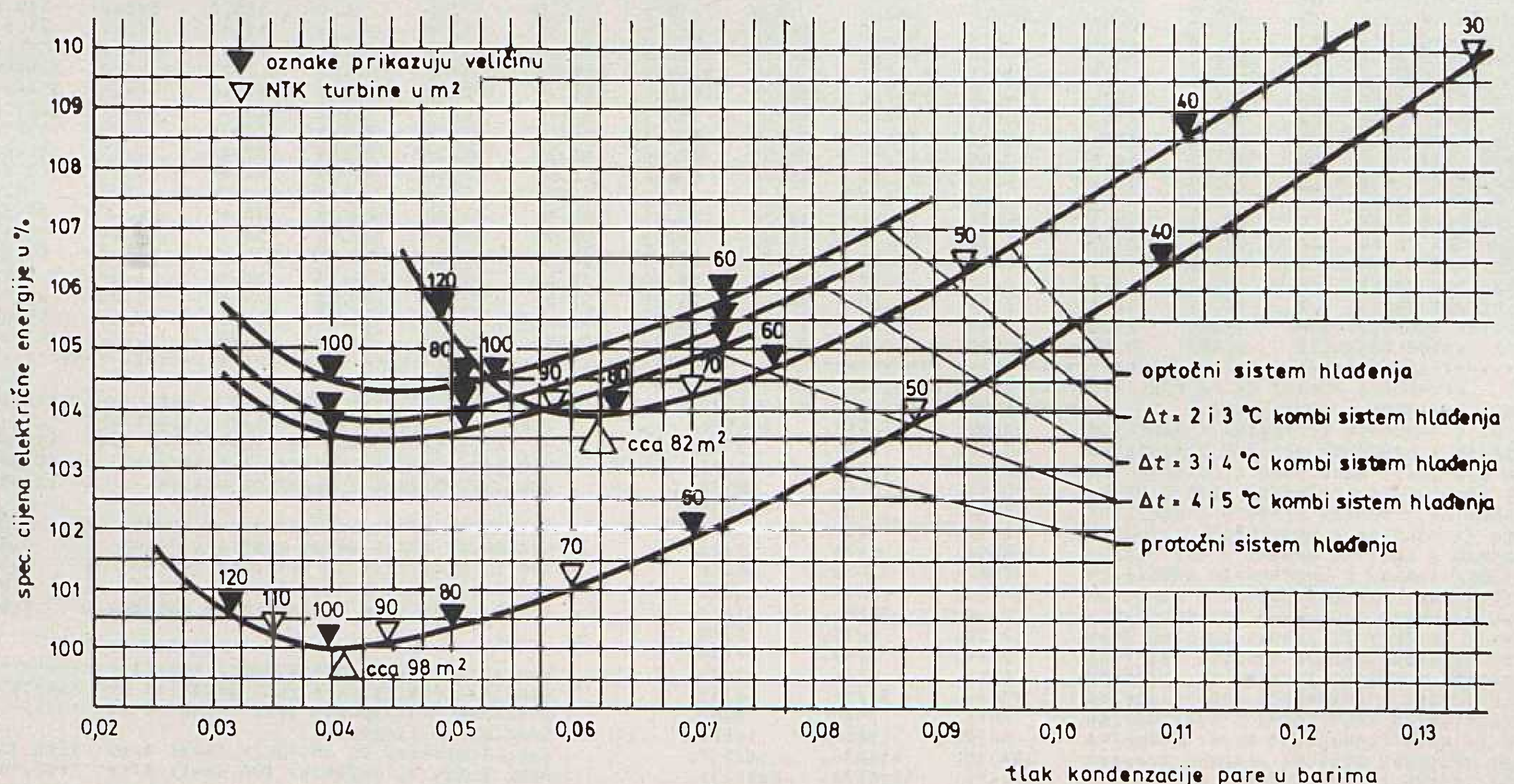
Tip rashladnog sistema: *Protočni sistem hlađenja s rijekom Savom*

Izlazna površina NTK (idealne turbine) (m <sup>2</sup> )	40	60	80	100	120
Električna snaga turbine na generatoru (MW)	998	1048	1079	1101	1117
Tlak kondenzacije pare (bar)	0,109	0,070	0,050	0,039	0,032
Površina cijevnog snopa kondenzatora (m <sup>2</sup> )	22612	29917	39084	49414	61931
Protok rashladne vode kroz kondenzat (m <sup>3</sup> /s)	35	39	44	51	59
Godišnja proizvodnja električne energije (GWh)	5721	6081	6281	6410	6499
Specifična cijena električne energije (%)	106,4	101,9	100,4	100,1	100,5

(Specifična cijena električne energije od 100% odnosi se na turbinu izlazne površine NTK približno 98 m<sup>2</sup>.)

Grafički prikaz rezultata iz tablice 4. dan je na slici 3. i omogućuje uvid u razlike i utjecaj izbora dimenzija NTK turbine. Primjer je rađen za idealne uvjete lokacije NE Prevlaka (L. [5]) s protočnim sistemom hlađenja (bez ograničenja vodoprivrede) i pokazuje da se primjenom protočnog hlađenja mogu ostvariti uštede u cijeni električne energije od 4%, ali samo ako se točno usklade parametri hlađenja i odgovarajuća oprema za elektranu. Na slici se vidi i koliko različiti vodoprivredni uvjeti toplinskog opterećenja Save utječu na opravdanost primjene kombi-sistema hlađenja u odnosu prema optočnome. Iz tih rezultata proistječu sljedeće bitne razlike u koncepciji komponata hladnog kraja:

1. u nuklearne elektrane s optočnim sistemom hlađenja valja ugraditi turbine s približno 25-40% manjim površinama NTK nego uz primjenu protočnih hlađenja na istoj lokaciji. U klasičnim termoelektranama razlike su malo manje jer i ukupno veći toplinski pad pare u turbini smanjuje i značenje izlaznih gubitaka pare na ukupnu snagu turbine;
2. protok rashladne vode kroz kondenzator u optočnom sistemu hlađenja približno je 20-30% manji u odnosu prema protočnome. Smanjenje protoka vode kroz toranj donosi velike uštede u dimenzijama prsišta tornja i u smanjenju troškova crpljenja rashladne vode. Za optočne sisteme hlađenja s vlažnim rashladnim tornjevima dobavna je visina vode oko 2-3 puta veća nego u protočnim sistemima;
3. manji protok rashladne vode pri optočnom hlađenju povećava i razliku ulazne i izlazne temperature vode u kondenzator, što znači i povećanje tlaka kondenzacije. Zato se u optočne sisteme, ugrađuje kondenzator sa 30-40% većom površinom cijevnog snopa da bi se smanjile temperaturne razlike između izlazne temperature rashladne vode i temperature kondenzacije. U optočnim sistemima hlađenja metoda smanjenja tlaka kondenzacije povećanjem površine cijevnog snopa kondenzatom



**Slika 3. Utjecaj izbora tipa rashladnog sistema na cijenu električne energije (za NEP s reaktorom toplinske snage 3 027 MW)**

ekonomski je povoljnija od povećanja dimenzija prsišta u rashladnom tornju. U protočnim sistemima hlađenja povećanje količine rashladne vode je ekonomski povoljniji postupak od povećanja dimenzija kondenzatora, zbog čega i kondenzator ima bitno manju površinu cijevnog snopa;

- primjena rashladnog tornja u optočnim sistemima hlađenja bitnije utječe i na povećanje vlastite potrošnje električne energije. Visina prsišta u rashladnom tornju iznad nivoa kote bazena iznosi približno 10-15 m, što povećava geodetsku visinu dobave rashladne vode, a time i električnu snagu crpaljki i njihovu cijenu. U protočnim sistemima hlađenja geodetska visina dobave između kote usisa u crpnoj stanici i kote preljevnog bunara praktično je zanemariva veličina. Zato je povećanu vlastitu potrošnju crpaljki glavne rashladne vode moguće smanjiti samo smanjenjem protoka rashladne vode, što se u praksi uvijek primjenjuje i radi smanjenja troškova prsišta u rashladnom tornju.

Koliko su osnovne dimenzije i radni parametri opreme usklađeni s potrebama turbine i rashladnog sistema, vidi se iz usporednog prikaza karakteristika opreme za standardne nuklearne elektrane tipa PWR u Francuskoj; tablica 5. Framotome kao glavni proizvođač opreme (L. [16] i [17]) ima visokostandardiziranu opremu u svim serijama nuklearnih elektrana osim elemenata rashladnog sistema koji se za svaku novu NE potpuno prilagođavaju specifičnim potrebama lokacije.

zacije iznosi oko 370 m/s. Izlazna brzina pare direktna je funkcija izlazne površine i specifičnog volumena pare, koji se naglo povećava smanjenjem tlaka. Zato je niske tlakove kondenzacije moguće iskoristiti samo primjenom turbina vrlo velikih izlaznih presjeka NTK, što se postiže povećanjem broja NTK ili produljenjima lopatica u posljednjem redu rotora. Međutim, maksimalne su duljine lopatica zbog izuzetno visokih naprežanja u materijalima (jake centrifugalne sile) ograničene na maksimalno 1 000 — 1 200 mm ( $F = 10 - 12 \text{ m}^2$ ) za turbine s punim brojem okretaja ( $50 \text{ s}^{-1}$ ). Zahtjevi za povećanjem jediničnih snaga blokova, pogotovo u nuklearnim elektranama snaga većih od 1 000 MWe, s protočnim sistemom hlađenja, zahtijevaju i izlazne presjeke turbina veće od  $80 \text{ m}^2$ . Konstrukcijski je nepraktično više od šest NTK (tri dvoizlazna NTK) zbog problema dugih razvoda pare u prestrujnom vodu, uravnoteženja rotirajućih masa rotora i prevelikog povećanja duljine turbinske zgrade. Zato je bio nužan prijelaz na turbine s polovičnim brojem okretaja,  $25^{-1}$ , jer se time zbog četverostruko manjeg naprežanja u lopaticama mogla povećati duljina lopatica na više od 1 500 mm, odnosno povećati površine presjeka NTK do  $25 \text{ m}^2$ . Na taj je način moguće ostvariti potrebne dimenzije i ugradnjom samo dva dvostrujna NTK, čime su pokrivena potreba za turbinama u nuklearnim elektranama snaga većih od 1000 MWe.

Koliko je izbor tipa turbine definiran tlakom kondenzacije pare odnosno prirodnim uvjetima lokacije,

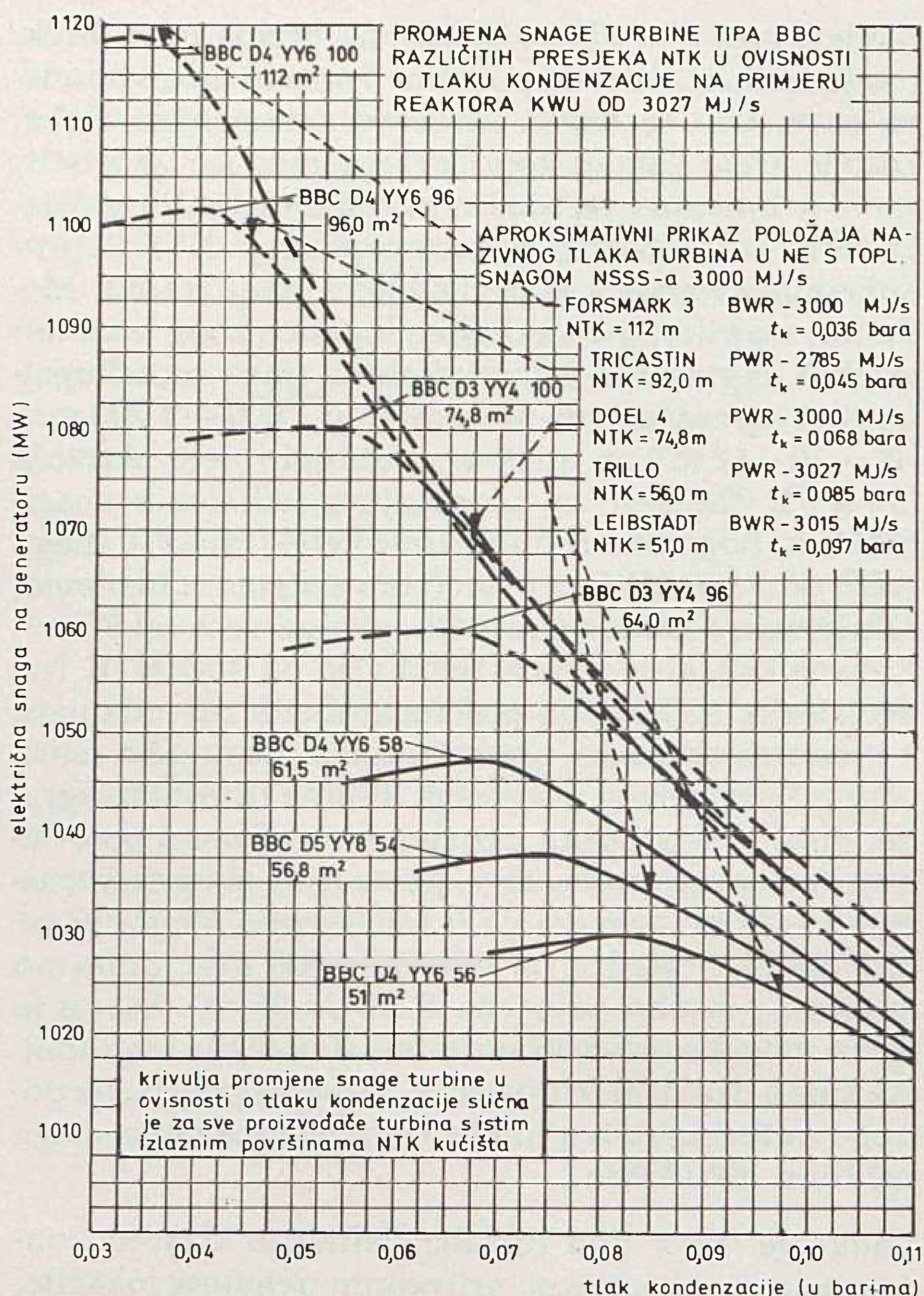
Tablica 5. Izbor dimenzija i parametara opreme hladnog kraja proizvođača Framatome u ovisnosti o tipu rashladnog sistema nuklearnih eletrana

Tip nuklearne elektrane Topl. snaga nuklearnog reaktora (MW) Tip rashladnog sistema Tip rashladnog tornja	PWR serija N4			PWR serija CP1		
	3 800 prot./rijeka	3 800 prot./more	3 800 optočni vlažni/ hiperbol.	2 785 prot./rijeka	2 785 prot./more	2 785 optočni vlažni/ hiperbol.
Duljina zadnje lopatice (mm)	1 450	1 450	1 450	1 220	1 220	1 220
Broj i površina presjeka NTKT ( $\text{m}^2$ )	$6 \times 18,7$	$6 \times 18,7$	$6 \times 18,7$	$6 \times 15,2$	$6 \times 15,2$	$6 \times 15,2$
El. snaga generatora (MW)	1 350	1 347	1 325	1 008	1 010	990
Tlak kondenzacije (bar)	0,047	0,053	0,070	0,045	0,043	0,071
Površina cijevi kondenzatora ( $\text{m}^2$ )	66 510	73 210	99 900	43 770	48 130	56 485
Broj cijevi kondenzatora	70 248	95 208	128 485	48 492	74 004	90 396
Duljina cijevi kondenzatora (m)	11,54	14,2	14,2	12,0	—	—
Promjer cijevi kondenzatora (mm)	26,0	17,0	18,0	26,0	19,0	18,0
El. snaga crpki rashladne vode (MW)	4,00	3,70	11,20	4,00	5,60	9,50
Protok rashladne vode ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	57,20	42,00	46,30	41,60	37,1	34,5
Visina dobave crpki rashladne vode (m)	7,10	9,60	21,70	7,00	9,60	23,30

Iz navedenih je rezultata vidljivo da se glavne promjene zbivaju u tlaku kondenzacije pare koji, kao glavni element, utječe na specifični potrošak topline turbinskog ciklusa, a time direktno i na izbor tipa NTK turbine. Svi proizvođači turbina primjenjuju modularnu izvedbu turbina, pa se promjenama broja NTK ili duljina zadnjih lopatica može ostvariti potrebna izlazna površina.

Izlazna površina svih NTK turbina jest onaj slobodni presjek između lopatica zadnjeg reda kroz koji para ekspanzirana do tlaka kondenzacije nesmetano struji u kondenzator. Izlazna brzina pare obično iznosi 220 do 280 m/s, odnosno 60 do 80% teorijske maksimalne brzine zvuka u pari, što za tlakove konden-

vidi se iz slike 4. Za ilustraciju promjene snage turbine uzrokovane promjenom tlaka kondenzacije, na primjeru NE toplinske snage reaktora 3 027 MWt, pokazane su mogućnosti rada turbina različitih izlaznih presjeka NTK u rasponu od 51 do  $112 \text{ m}^2$ . Rezultati optimizacije hladnog kraja na pojedinim NE u Evropi (L. [5]) superponirano su prikazani na istoj slici. Kao primjer su poslužile NE toplinske snage reaktora gotovo 3 000 MWt, pa se utjecaj razlike u snazi reaktora u analizi utjecaja uvjeta hlađenja na izbor dimenzija površina NTK turbina može zanemariti. Prikazani primjeri NE snage 1 000 MWe jasno pokazuju da hladna rashladna voda Baltičkog mora u NE Forsmark, s protočnim sistemom hlađenja, zahtijeva



Slika 4. Promjena snage turbine tipa BBC različitih presjeka NTK u ovisnosti o tlaku kondenzacije.

ugradnju turbina sa čak 112 m<sup>2</sup> izlazne površine, a za NE Trillo u Španjolskoj, s optočnim hlađenjem i vrućom klimom, dovoljna je turbina izlazne površine 56 m<sup>2</sup>, odnosno samo 51 m<sup>2</sup> za NE Leibstadt, s optočnim hlađenjem.

Izbor turbine nije samo tehnički važan za specifični potrošak topline, već kao ekonomska kategorija ima bitan udio i u cijeni elektrane. Razlika u težini turboagregata snage 1 000 MWe iznose čak od 1 000 do 2 000 tona (između turboagregata sa 25 s<sup>-1</sup> i 50 s<sup>-1</sup>, različitih proizvođača), što se odražava i na razliku u cijeni TG-postrojenja, koje realno mogu iznositi oko 40-80 milijuna dolara.

## 5. ZAKLJUČAK

Postupak optimizacije hladnog kraja pri gradnji termoelektrana danas je nužan postupak koji omogućuje znatne ekonomske uštede i pri investiranju i u toku rada i omogućuje rad postrojenja u optimalnim pogonskim uvjetima, što je za turbinu osobito važno. Ostvarena korist primjene postupka optimizacije sigurno višestruko nadoknađuje sredstva uložena u istraživanje i osigurava pravodobno uočavanje svih ekoloških posljedica toplinskog opterećenja okoline. Izbor turboagregata za sve novoplanirane termoelektrane ima primarno značenje, pogotovo zato što se

dimenzije NTK turbine nužno prilagođavaju uvjetima hlađenja. Dominantnost značenja NTK turbine prema cijeloj turbini očituje se i u činjenici da NTK čine 60-80% ukupne vrijednosti turbine, pri čemu se veće vrijednosti odnose na nuklearne turbine, uz primjenu protočnog hlađenja.

S obzirom na to da izbor turbine u postupcima evaluacije često nije samo tehnička kategorija (kreditni uvjeti, ukupna cijena, domaći proizvođač, serijska izrada itd.), i nakon izbora tipa turbine nužno je primijeniti parcijalni dio postupka optimizacije hladnog kraja. Važnost turbine je ekonomski i tehnički toliko dominantna za elektranu da turbina podređuje sve dimenzije i parametre komponenti rashladnog sistema isključivo svojim pogonskim potrebama. Optimalni pogonski uvjeti za turbinu, promatrani su sa stajališta hladnog kraja, ostvaruju se pri tlaku kondenzacije koji odgovara izlaznim brzinama pare iz NTK, koje iznose 220-280 m/s, odnosno izlaznim gubicima energije strujanja pare od 25-40 kJ/kg. Ta je izlazna brzina pogonski optimum koji osigurava dovoljno dug vijek najugroženijih dijelova turbine (zadnjih lopatica na NTK) ali i ekonomski optimum između dodatne koristi ostvarene povećanje električne snage i dodatnih investicijskih troškova pri smanjenju tlaka kondenzacije, ili povećanjem dimenzija kondenzatora, protoka rashladne vode, ili pak dimenzija rashladnog tornja.

Postupak optimizacije pogonskih stanja hladnog kraja u već izgrađenim termoelektranama omogućuje znatne uštede u radu povećanjem električne snage elektrane, izborom povoljnijega pogonskog stanja turbine i druge opreme, a preciznim analizama toplinskog opterećenja vodotoka unaprijed omogućuje uočavanje svih utjecaja vodoprivrednih uvjeta na rad elektrane.

## LITERATURA

- [1] H. KUNAJ: »Optimalna izvedba rashladnog sistema NE Prevlaka«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1983.
- [2] M. MESAROVIĆ: »Tehničko-ekonomska analiza sistema za povratno hlađenje na termoelektranama«, Beograd, 1973.
- [3] A. POPOVIĆ: »Izbor najpovoljnijeg pritiska kondenzacije pri projektiranju nuklearnih i klasičnih termoeenergetskih postrojenja s protočnim hlađenjem«, Energoinvest, Sarajevo
- [4] H. KUNAJ: »Opravdanost primjene suhih rashladnih tornjeva u termoeenergetskim objektima u SAP Kosovo«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1983.
- [5] H. KUNAJ: »NE Prevlaka — Idejno rješenje — dio: Definicija rashladnog sistema NE Prevlaka«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1985.
- [6] MANDIĆ: »Izbor optimalnih snaga i optimalnih tehničkih i pogonskih karakteristika termoeenergetskih blokova u Jugoslaviji do 1985. godine«, Energoprojekt, Beograd, 1974.
- [7] H. KUNAJ: »Optimalna izvedba hladnog kraja NE Slavonija 4 × 1300 MWe«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1985.



- [8] M. MESAROVIC: »Uticaj porasta cene goriva na planiranje i projektovanje energetskih postrojenja«, Tehnika 36 (1981) — 10.
- [9] H. KUNAJ: »Osnovno rješenje NE Slavonija«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1987.
- [10] H. KUNAJ, D. BARILAR: »Idejno rješenje supstitucije blokova 2 × PT32 u TE-TO«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1988.
- [11] D. BARILAR: »Studijska obrada i idejno rješenje TE-TO Resnik«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1988.
- [12] KRIEB, ZIMERMANN: »Optimierung des Kaltes Endes«, Brennst-Warme-Kraft 21, 69, Nr 3
- [13] F. R. HARRIS and D. KALDERN: »The choice of design speed for PWR turbines for 50 Hz generating systems«, I. Mech. E, 1983.
- [14] H. TRENKLER: »Bedeutung des Kaltes Endes keine Wasserdampf-prozess für Kernkraftwerke«, Brennst-Warme-Kraft 19, 1967, Nr 5.
- [15] K. H. SCHULLER: »Das optimale 'kalte Ende' von Kondensations — Blockenheiten«, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 70, 1971, Heft 3.
- [16] Electricite de France: EDF 900 MWe Nuclear Power Plants, 75008 Paris, 1983.
- [17] Electricite de France: EDF 1300 MWe Nuclear Power Plants, 75008 Paris, 1983.
- [18] H. KUNAJ: »Evaluacija ponuda za NE Prevlaka, dio — Tehnička evaluacija termodinamičkih karakteristika TG ciklusa«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1987.

#### CHARACTERISTICS AND PRINCIPALS OF A METHOD FOR OPTIMALIZATION OF TPP COLD END

In the paper are presented characteristics and principals of a method for optimalization of TPP cold end as well as base principals of mathematical model developed in »Institut za elektroprivredu«. The method for optimalization of cold end is based on the mutual contribution of the site characteristics for natural cooling with technical characteristics of TPP. The method provides choice of type, dimensions and parameters of cooling system as well as choice of TG type. Presented method is applicable to TPP and NPP with steam extraction for industry demand and heating or without extraction as well as to all up-to day applied cooling systems.

#### BEDEUTUNG UND GRUNDBEGRIFFE DER OPTIMIERUNGSMETHODE DES KÜHLEN ENDES DER WÄRMEDIAKTWERKE

In dieser Arbeit behandelt man die Bedeutung der Methode und die Grundbegriffe der Optimierung des kühlen Endes der Wärmekraftwerke sowie die wichtigsten Möglichkeiten des mathematischen Programms das im Institut für die Elektrowirtschaft entwickelt wurde. Die Optimierung des kühlen Endes ist ein Verfahren mit dem die natürlichen Möglichkeiten des Kühlens auf der gegebenen Lokation mit den technischen Charakteristika in Einklang gebracht werden. Das Verfahren ermöglicht die Bestimmung des Typs der Dimensionen und des Parameters der Ausrüstung des Kühlungssystems bis zu der Auswahl des Turboaggregats. Die dargestellte Methode umfaßt die Analyse der klassischen und nuklearen Kraftwerke mit dem abgeleiteten Dampf von der Turbine für den Industriebedarf oder Heizung ohne abgeleiteten Dampf sowie alle heute praktisch anwendbare Typen der Kühlungssysteme.

#### ЗНАЧЕНИЕ И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ХОЛОДНОГО КРАЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В работе представлено значение способа и основы метода оптимизации холодного края тепловых электростанций и основные возможности математической программы разработанной в Институте электрохозяйства. Оптимизация холодного края является способом, согласующим природные возможности охлаждения при данном местоположении с техническими характеристиками тепловой электростанции. Способ обеспечивает возможность определение типа, размеров и параметров оборудования системы охлаждения до, включительно, выбора типа турбоагрегатов. Представленный метод охватывает анализ традиционных и атомных электростанций с отбором пара с турбины для надобностей промышленности или отопления, или без отбора, как и все ныне практически применяющиеся типы систем охлаждения.

Naslov pisaca:

**Mr. Hrvoje Kunaj, dipl. inž.  
Darko Barilar, dipl. inž.  
Institut za elektroprivredu,  
41000 Zagreb,  
Proleterskih brigada 37,  
Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1988-05-19

# UTVRĐIVANJE ENERGETSKIH KARAKTERISTIKA TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA

Mr. Berislav Nadinić, Zagreb

UDK 621.311.22.004

PREGLEDNI RAD

Članak daje općeniti prikaz mjerenja energetskih karakteristika klasičnih i nuklearnih termoenergetskih postrojenja. Uz opis metode dan je popis opreme za automatsko prikupljanje podataka, programski paket, uz primjer dobivenih rezultata ispitivanja NE Krško.

**Ključne riječi:** termoenergetski objekt, energetska karakteristika, mjerenje, automatska obrada podataka.

## 1. UVOD

Od svog osnutka 1953. godine Institut za elektroprivredu intenzivno se bavi provođenjem različitih ispitivanja termoenergetskih postrojenja. U svojoj bogatoj praksi s tog područja svakako su najčešća bila garantna ispitivanja termoelektrana i ispitivanja radi utvrđivanja energetskih karakteristika. Ovaj članak treba da informira o opsegu i načinu provođenja tih ispitivanja koja su u toku posljednjih nekoliko godina dosegla vrlo visok stupanj automatizacije i kompjutorizacije te su danas vrlo pouzdano sredstvo za povećanje ekonomičnosti termoenergetskih postrojenja.

## 2. ENERGETSKE KARAKTERISTIKE

### 2.1. Pojam energetske karakteristike

Osnovni energetska-ekonomski pokazatelj neke termoelektrane jest njezina potrošnja topline, u čemu su sadržani svi utjecaji višestrukih procesa pretvorbe od energije goriva do električne energije. Ta se karakteristika termoenergetskih postrojenja prikazuje u nekoliko osnovnih oblika, ali uvijek u ovisnosti o opterećenju. Najuobičajniji oblici jesu:

- energetska karakteristika (u užem smislu)
- specifična potrošnja
- stupanj djelovanja.

Energetska karakteristika dana je u obliku:

$$E_u = f(E_i),$$

a specifična potrošnja:

$$S = E_u / E_i = g(E_i).$$

Stupanj djelovanja predočuje se kao:

$$\eta = E_i / E_u = h(E_i),$$

a suma gubitaka:

$$X = E_u - E_i,$$

pri čemu je:

- $E_u$  — količina energije na ulazu u postrojenje
- $E_i$  — količina korisne energije na izlazu iz postrojenja.

Svi navedeni odnosi vrijede za cijelo termoenergetsko postrojenje i za pojedine njegove dijelove. Na temelju poznavanja energetskih karakteristika komponenti, može se lako odrediti energetska karakteristika cijelog postrojenja. Ta se karakteristika može odrediti i samostalno. Za klasična je termoenergetska postrojenja osim energetske karakteristike cijelog postrojenja uobičajeno utvrditi i energetske karakteristike kotlovskeg odnosno turbinskog postrojenja posebno, a za nuklearne je elektrane uobičajeno utvrditi energetske karakteristike posebno za primarni dio, a posebno za sekundarni dio.

Prema navedenom, karakteristika kompleksnog postrojenja zapravo je skup karakteristika procesa (glavnoga i pomoćnih) koji se odvijaju u pojedinim dijelovima postrojenja, pa se nadovezuju jedan na drugoga. Usporedo s glavnim procesom odvijaju se i mnogobrojni pomoćni procesi koji iz glavnog toka energije oduzimaju stanovite količine energije te ih djelomično ponovo vraćaju u glavni tok. Potrošak topline pomoćnih procesa pretežno ovisi o glavnom procesu, a on nije konstantan. Svaki je proces vezan za gubitke koji su neizbježni, ali i uz gubitke koji se mogu izbjeći. Prvi karakteriziraju idealne teorijske prilike koje se ne ostvaruju u praksi, a drugi su odraz mnogobrojnih objektivnih i subjektivnih utjecaja. Među njima su najvažniji: stupanj tehničke razvijenosti opreme, pojedinačno i u kompleksnom rješenju, veličina jedinice, vrsta goriva, vrijeme korištenja, pogonske prilike, vanjski utjecaji, način rukovanja i održavanja postrojenja itd. Iz navedenog proizlaze da je određivanje jedne od karakterističnih veli-

čina termoenergetskog postrojenja zapravo energetska bilanciranje i da je to složen zadatak za čije je rješenje potrebno poznavati brojne faktore.

## 2.2. Cilj i način utvrđivanja energetske karakteristike

Cilj utvrđivanja energetske karakteristike nekog termoenergetskog postrojenja jest ocjena kvalitete njegova rada. Pomoću energetske karakteristike postrojenja u različitim uvjetima odnosno režimima rada mogu se utvrditi optimalni uvjeti rada, odstupanja od optimalnih uvjeta u pojedinim situacijama, a time i izvori nepotrebnih gubitaka. Dakle, poznavanje energetske karakteristike može bitno povećati ekonomičnost rada termoenergetskog postrojenja.

Utvrđivanje energetske karakteristike također je važno i u sklopu cjelokupnoga elektroenergetskog sistema u kojemu takva postrojenja sudjeluju jer je angažiranje pojedinih jedinica unutar sistema zasnovano i na njihovim energetske karakteristikama

Energetske se karakteristike baziraju na kompleksnim mjerenjima kojima je cilj utvrđivanje svih energetske i masene tokove koje je potrebno poznavati da bi se odredila ukupna energija dovedena postrojenju i ukupno korisna energija odvedena iz postrojenja. Takva ispitivanja zahtijevaju enormno velik broj kvalitetnih instrumenata za mjerenje tlakova, temperatura, protoka, električnih veličina itd., i mogućnost obrade velikog broja izmjerenih veličina u relativno malim vremenskim intervalima.

(Napomena: U praksi se često umjesto izraza ispitivanje energetske karakteristike upotrebljava izraz garantno ispitivanje. Potrebno je napomenuti da se garantna ispitivanja razlikuju od ispitivanja energetske karakteristike u sljedećemu:

- garantna se ispitivanja izvode radi provjere garancije proizvođača termoenergetske opreme. Garancije mogu biti vezane za neke parametre (tlakove, količine, temperature), ali i za energetske karakteristike u nekoj točki (npr. specifični potrošak topline za 100%-tno opterećenje),
- garantna ispitivanja mogu biti definirana za izvođenje u vanjskim uvjetima, koji kasnije ne moraju biti i uvjeti u kojima će većim dijelom zaista postrojenje raditi.

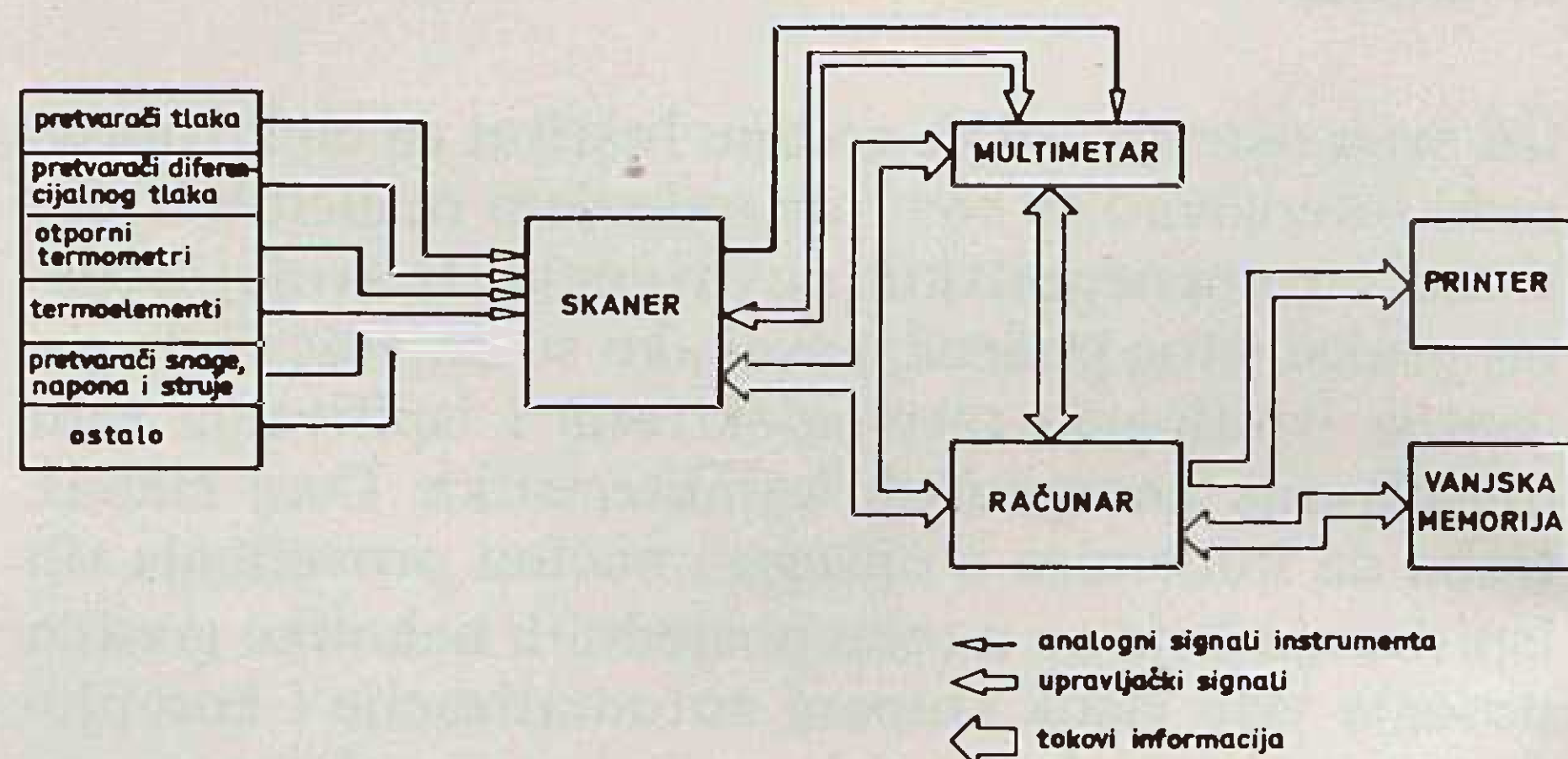
Iz navedenoga je vidljivo da garantna ispitivanja s gledišta složenosti i provedbe samog ispitivanja nisu bitno različita od ispitivanja energetske karakteristike.)

## 3. OPREMA

Za izvođenje kompleksnih ispitivanja termoenergetskog postrojenja danas je potrebna suvremena oprema koja pri očitavanju mjernih veličina isključuje ljudski faktor, a sva se potrebna obrada do finalnih rezultata mora obaviti u vremenskom intervalu od nekoliko desetaka sekundi.

Da bi udovoljio tim novim zahtjevima, Institut za elektroprivredu nabavio je sistem za automatsko sakupljanje i obradu podataka tvrtke Hewlett Packard, koji se sastoji od sljedećih dijelova:

- ulaznoga sabirnog dijela (na taj su dio vezani svi instrumenti po poznatome, unaprijed određenom redoslijedu)
- skanera (skaner je uređaj za serijsko očitavanje signala, tj. elektronički preklopnik koji određenim redoslijedom spaja kanale s ulaznoga sabirnog dijela s mjernim uređajem),
- mjernog uređaja (mjerni je uređaj multimeter koji očitava vrijednosti analognih mjernih signala i te podatke u digitalnom obliku šalje u centralnu jedinicu, mikroracunar),
- centralne jedinice (centralna jedinica je mikroracunar koji usklađuje rad svih komponenti sistema i provodi kompletnu obradu primljenih informacija sve do finalnih rezultata),
- štampača,
- vanjske memorije (vanjska memorija služi za pohranjivanje izmjerenih veličina, međurezultata i finalnih rezultata).



Slika 1. Općenita blok-shema sistema za sakupljanje i obradu podataka

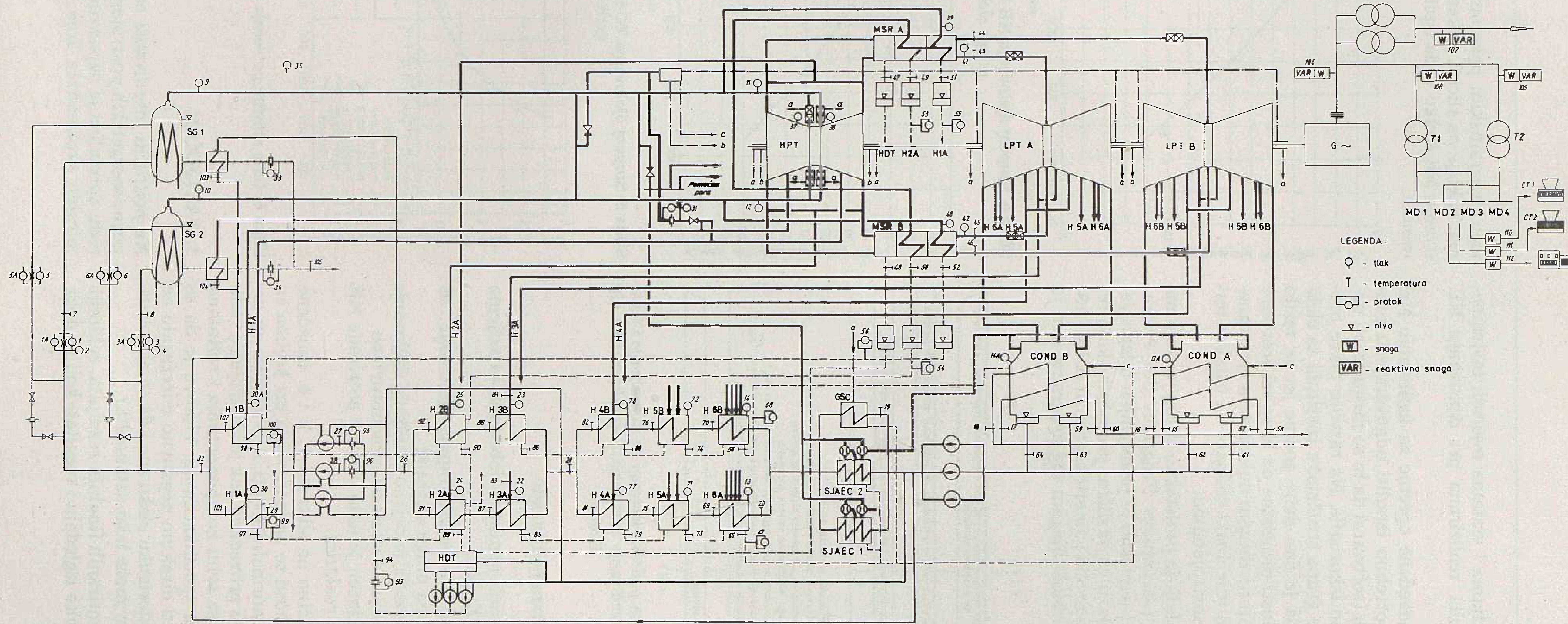
Principijelna shema opisanog sistema dana je na slici 1. Osim sistema za automatsko sakupljanje i obradu podataka, nabavljen je i velik broj instrumenata za mjerenje termodinamičkih i električnih veličina. Ti su instrumenti kompatibilni sa sistemom, a to su uglavnom instrumenti tvrtke Rosemount i naše tvornice mjernih uređaja ATM, koja radi po licenci Rosemounta. S instrumentima je nabavljena i odgovarajuća oprema za njihovu kalibraciju.

## 4. PRIMJER

Kao primjer za demonstraciju složenosti provođenja ispitivanja termoenergetskog postrojenja izabrano je ispitivanje NE Krško, provedeno radi utvrđivanja energetske karakteristike. U prikazu su osim opisa samog opsega ispitivanja dani i najvažniji rezultati.

### 4.1. Opseg ispitivanja NE Krško

Da bi se dobio dojam o tome koliko je i kakvih instrumenata potrebno za ispitivanje nuklearne elektrane koja obiluje nizom energetske i masene tokove, na slici 2. prikazana je toplinska shema NE Krško

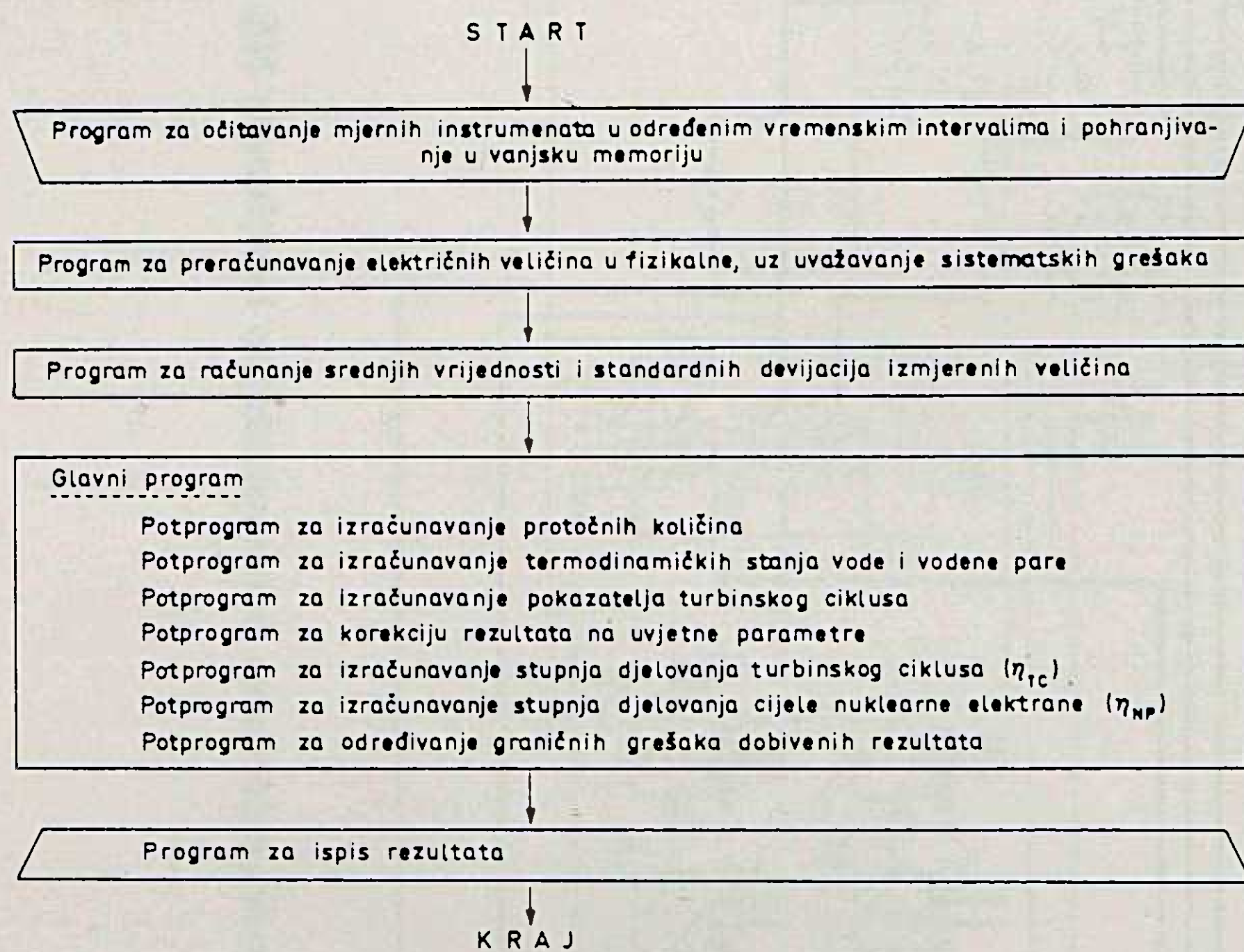


Slika 2. Shema mjernih mjesta za primopredajno ispitivanje NE Krško

s ucrtanim pozicijama i vrstama mjernih instrumenata kakva je bila realizirana pri ispitivanju NE Krško.

Osim nabavke navedene opreme za ispitivanje NE Krško, bilo je potrebno izraditi odgovarajuću programsku podršku (software) da bi se mogućnosti opreme maksimalno iskoristile. Na razvoju takve programske podrške grupa stručnjaka Instituta za elektroprivredu radila je oko dvije godine jer se težilo što većoj općenitosti programa da bi se taj software mogao upotrijebiti na drugim nuklearnim elektranama, a djelomično (turbinski ciklus) i na ostalim termoenergetskim postrojenjima.

Paket programa koji je proistekao iz tog razvoja nazvan je »CPPT« (»Computer Programs For Performance Testing«) i uspješno je primijenjen u ispitivanju NE Krško. Bazu za različite proračune koje on sadrži činili su njemački i američki propisi (DIN i ASME). Najosnoviji blok-dijagram tog programa dan je na slici 3.



Slika 3. Programska podrška sistema za sakupljanje i obradu podataka za utvrđivanje energetskih karakteristika NE Krško

## 4.2. Prikaz rezultata ispitivanja

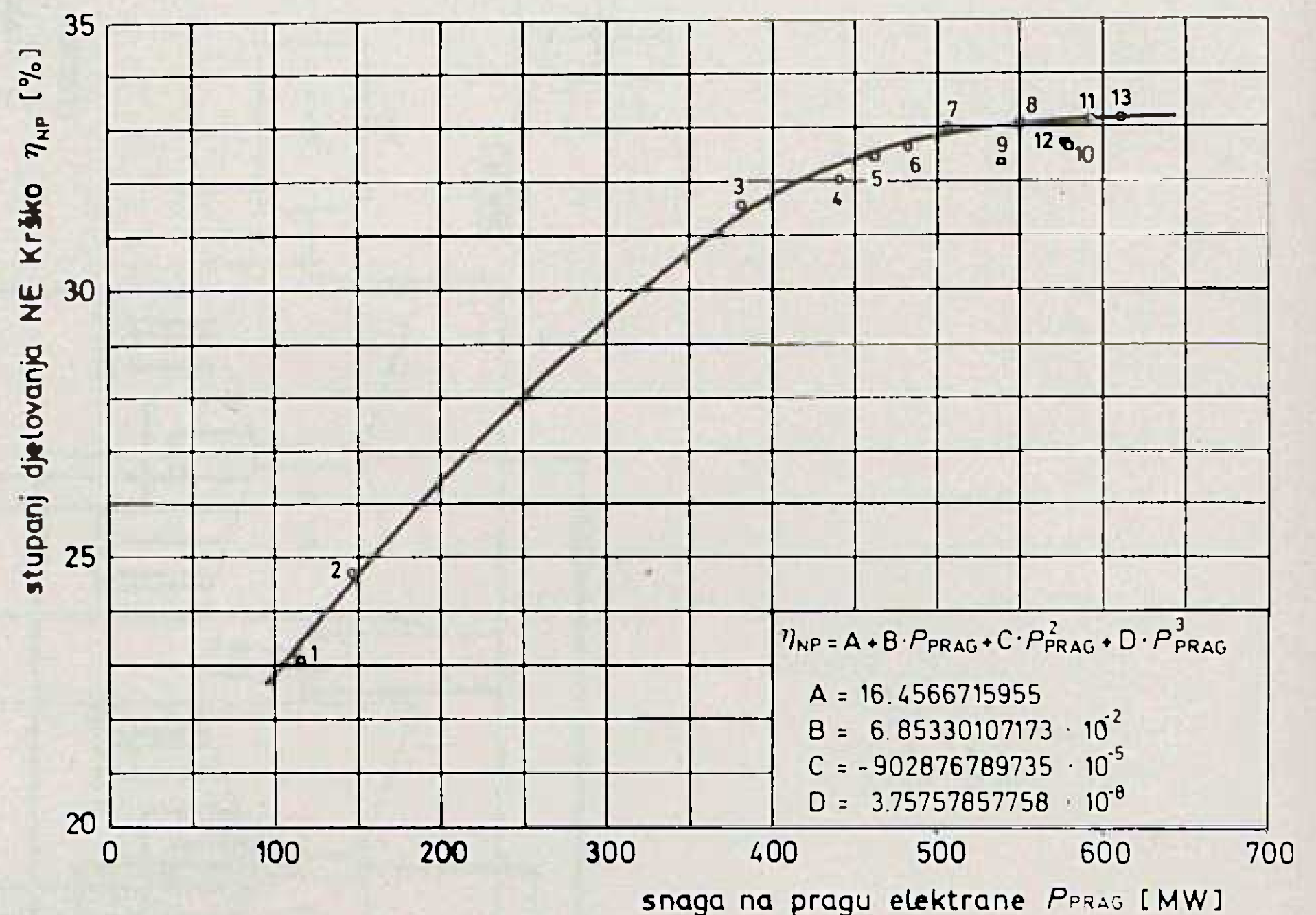
Kao primjer finalnih rezultata dobivenih za vrijeme ispitivanja u NE Krško:

- na slici 4. dana je ovisnost stupnja djelovanja NE Krško o snazi na pragu elektrane
- na slici 5. pokazana je ovisnost stupnja djelovanja turbinskog ciklusa o snazi na osovini turbine
- na slici 6. predložen je udio vlastite potrošnje NE Krško o snazi reaktora.

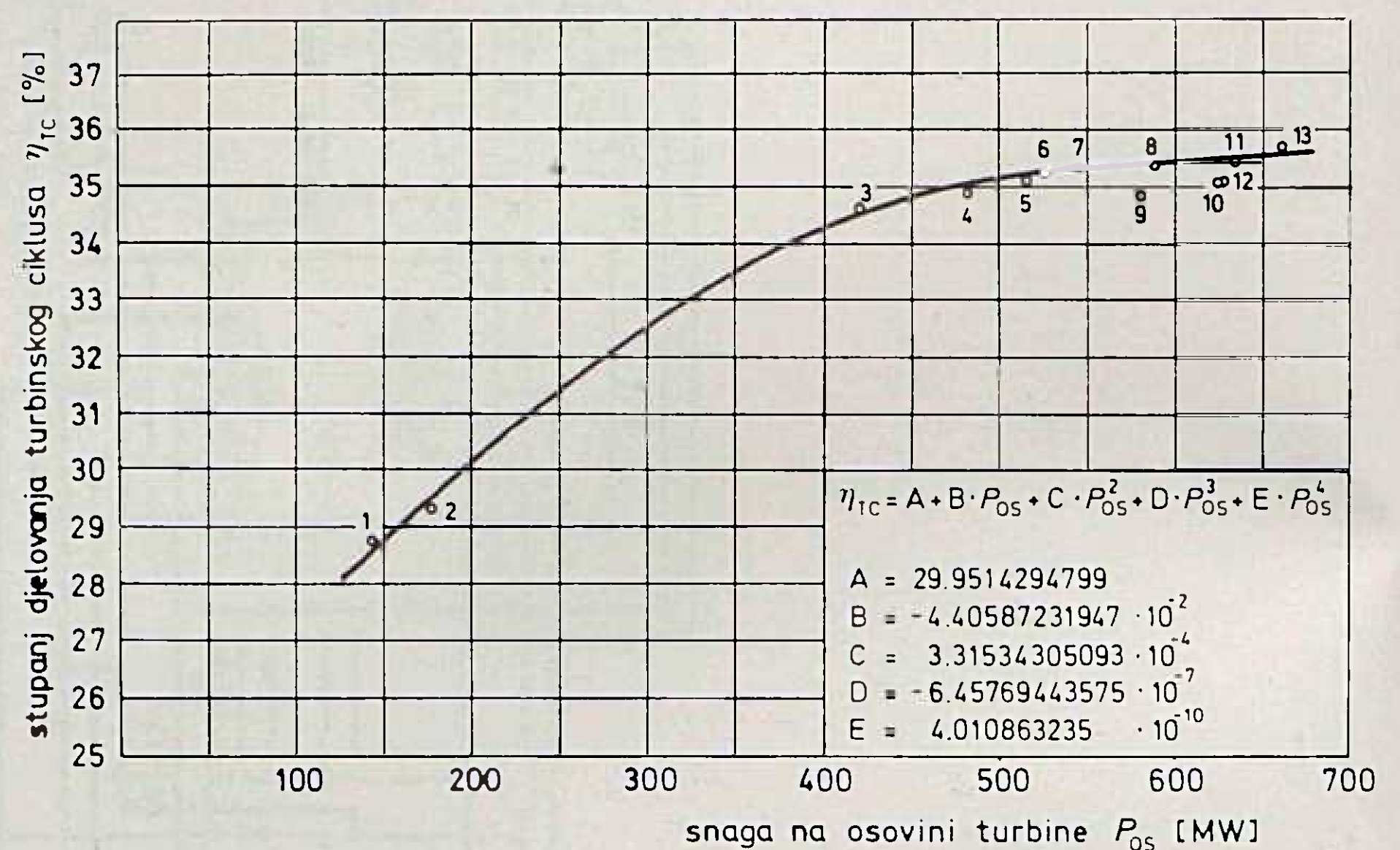
(Napomena: Veličine na slikama 4, 5. i 6. označene kvadratićima odnose se na ispitivanja pri kojima su u pogonu bili nenormalni uvjeti, a kružićima su označena ispitivanja provedena dok je postrojenje radilo normalno, tj. sa svim komponentama i režimima prema tehničkim specifikacijama. Vidljivo je da se nenormalni uvjeti direktno negativno odražavaju na energetiku karakteristiku elektrane i da se njihov utjecaj na taj način može lako ustanoviti.)

Osim tako prezentiranih finalnih rezultata, zanimljivo je pokazati kako izgledaju i rezultati koji se dobi-

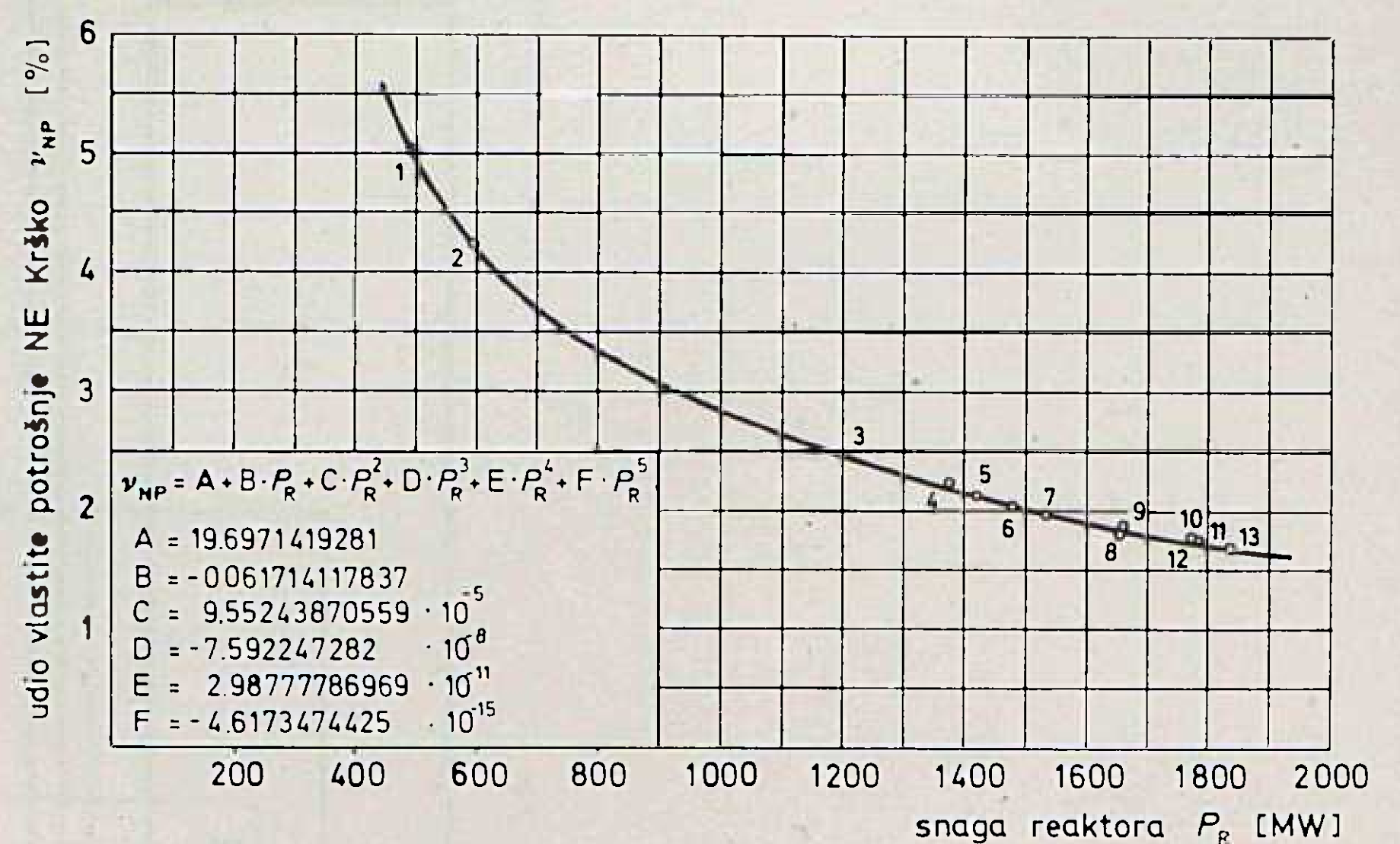
vaju programskim paketom CPPT i u toku ispitivanja. Tako je na slici 7. pokazan ispis kakav je pri ispitivanju NE Krško voda ispitivanja dobivao svakih 10 minuta.



Slika 4. Stupanj djelovanja NE Krško kao funkcija snage na pragu elektrane



Slika 5. Stupanj djelovanja TC kao funkcija snage na osovini turbine



Slika 6. Udio vlastite potrošnje kao funkcija snage reaktora

## 5. ZAKLJUČAK

Na području utvrđivanja energetskih karakteristika termoenergetskih postrojenja Institut za elektroprivredu opremljen je najsuvremenijom opremom renomiranih proizvođača koja mu, zajedno s vlastitom

PAROGENERATOR		1	2
KOLICINA GLAVNE NAPOJNE VODE	kg/s	333.24	276.45
KOLICINA POMOCNE NAPOJNE VODE	kg/s	114.87	172.96
KOLICINA ODMULJENJA	kg/s	4.2117	4.2794
UKUPNA KOLICINA POMOCNE PARE: SA 1. ODUZIMANJA SA SVJEZE PARE	kg/s		2.2897
KOLICINA PARE ZA BRIVLJENJE	kg/s		0
	kg/s		1.3804
UKUPNA KOLICINA NAPOJNE VODE	kg/s	440.15	449.41
KOLICINA PARE: BILANCA MJERENA	kg/s	443.94	445.13
	kg/s	464.59	471.24
ENTALPIJA NAPOJNE VODE	kJ/kg	904.06	902.66
ENTALPIJA PARE (VLAZNOST 0.17%)	kJ/kg	2776	2774.4
ENTALPIJA ODMULJENJA	kJ/kg	1245.2	1252.5
ENTALPIJA PARE VLASTITOG POTROSKA	kJ/kg		2800.5
KOLICINA TOPLINE ODVEDENA ODMULJENJEM	kW	1436.8	1497.1
TUPLINA PREDANA U PAROGENERATORU	MW	832.46	834.67
SNAGA REAKTORA	MW		1658.4
	%		88.401
STEZALJKE GENERATORA: SNAGA-RADNA	MW		582.59
- JALOVA	MVAR		217.32
FAKTOR SNAGE COSPHI			.93699
PRAG (VISOKI NAPON) : SNAGA-RADNA	MW		548.67
- JALOVA	MVAR		129.48
FAKTOR SNAGE COSPHI			.97327
VLASTITI POTROSAK			
UKUPNI	MW		32.33
RASHLADNI TORANJ CT1: SNAGA	MW		1.8769
RASHLADNI TORANJ CT2: SNAGA	MW		0
KOREKCIJE			
SNAGE NA STEZALJKAMA ZBOG TEMPERATURE I KOLICINE RAS. VODE	%		-.17915
SNAGE NA STEZALJKAMA ZBOG VLAZNOSTI PARE	%		-.041403
SNAGE NA STEZALJKAMA ZBOG TLAKA SVJEZE PARE	%		.51372
SNAGE NA STEZALJKAMA ZBOG VLASTITOG POTROSKA PARE	%		.082245
SNAGE NA PRAGU ZBOG RADA RASHLADNIH TORNJEVA	%		.34109
STUPNJEVI DJELOVANJA			
STUPANJ DJELOVANJA REAKTORSKOG CIKLUSA	%		99.857
STUPANJ DJELOVANJA TURBINSKOG CIKLUSA KORIGIRANI(*)	%		35.347
STUPANJ DJELOVANJA TURBINSKOG CIKLUSA (*)	%		35.181
STUPANJ DJELOVANJA EL. GENERATORA (*)	%		98.854
STUPANJ DJELOVANJA BLOK TRANSFORMATORA(*)	%		99.711
UDIO VLASTITE POTROSNJE CIJELE ELEKTRANE (BEZ R.T.)	%		1.8363
STUPANJ DJELOVANJA ELEKTRANE (PREMA IZRAZU 13)	%		33.025
STUPANJ DJELOVANJA ELEKTRANE (PREMA IZRAZU 43)	%		33.163

Slika 7. Proračun energetske karakteristike 8

kompleksnom programskom podrškom, omogućuje provedbu ispitivanja i najsloženijih energetske objekata kao što su nuklearne elektrane. Ta je konstatacija potvrđena i u praksi, u ispitivanjima provedenim u NE Krško, a zatim i u desetak klasičnih termoelektrana širom naše zemlje (TE Novi Sad, TE TO Zagreb, EL TO Zagreb, TE Rijeka, TE Plomin, TE Kosovo, TE Tuzla itd.)

## LITERATURA

- [1] B. NADINIĆ: »Osvrt na ispitivanja energetske karakteristike blokova TE Kosovo«, Energija br. 5-6, 1982.
- [2] B. NADINIĆ: »Utvrđivanje energetske karakteristike nuklearnih elektrana PWR tipa«, magistarski rad na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, 1985.

## DETERMINATION OF PERFORMANCE CHARACTERISTICS FOR POWER PLANTS

In the paper is presented a review about performance characteristics measurements in TPP and NPP. Described is a method as well as equipment for automatic data acquisition, software package and an example of results for NPP »Krško«.

## FESTLEGUNG DER ENERGETISCHEN CHARAKTERISTIKA DER THERMOENERGETISCHEN ANLAGEN

Der Artikel gibt eine allgemeine Darstellung der Messungen der energetischen Charakteristika der klassischen und nuklearen thermoenergetischen Anlagen. Neben der Beschreibung der Methode besteht ein Verzeichnis der Ausrüstung für die automatische Datensammlung, das Programmpaket mit den Endergebnissen der Untersuchungen im Kraftwerk Krško.

## УСТАНОВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Статья дает общий обзор измерения энергетических характеристик традиционных и атомных теплоэнергетических установок. С описанием метода дан список оборудования автоматического сбора данных, программный пакет, с примером полученных результатов испытаний на АЭС »Krško«.

Naslov pisca:

Mr. Berislav Nadinić, dipl. inž.  
Institut za elektroprivredu,  
41000 Zagreb,  
Proleterskih brigada 37,  
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:  
1988-05-26

# KARAKTERISTIKE MJERNE OPREME I STATISTIČKE METODE PRI ISPITIVANJU IZOLACIJSKIH SISTEMA U VISOKONAPONSKOM LABORATORIJU I NA TERENU

Josip Mužny — Ante Sekso — mr. Dragutin Mihalic, Zagreb

UDK 621.317.2.027.3

PREGLEDNI RAD

U članku se daje sažeti prikaz bitnih karakteristika moderne mjerne opreme za ispitivanja izolacijskih sistema, uz pregled osnovnih postavki statističkih metoda koje se primjenjuju u analizi dobivenih rezultata. Također je dan prikaz strategije eksperimentalnih ispitivanja prenaponskih pojava u stvarnoj mreži, a na kraju su navedene i sadašnje mogućnosti i karakteristike visokonaponskog laboratorija Instituta za elektroprivredu.

**Ključne riječi:** visokonaponska mjerenja i ispitivanja, visokonaponski laboratorij.

## 1. UVOD

Izolacijski sistemi opreme za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije moraju biti provjereni dielektričnim naprezanjima koja se mogu javiti u toku upotrebe. Tome moraju biti prilagođeni ispitni postupci, a oni moraju obuhvatiti i rizik od kvara zadovoljavajućeg izolacijskog sistema, vrijeme potrebno za izvođenje ispitivanja, opremanje visokonaponskih laboratorija pogodnom ispitnom opremom, ekonomičnost ispitivanja (dovoljan broj uzoraka) i niz drugih problema. Odabiranje optimalnoga ispitnog postupka važan je zadatak tehnike visokog napona i bitno ovisi o vrsti izolacije te o namjeni i vrsti ispitivanja.

S obzirom na utjecaj dielektričnih naprezanja na karakteristike izolacije, izolacijske sisteme možemo podijeliti na sljedeće vrste:

1. izolacija uz koju isti uzorak možemo podvrgnuti cijelome ispitnom postupku dielektričnog naprezanja. Proboj dijela izolacijskog sistema ne utječe na njegove daljnje karakteristike. Uobičajeni naziv za takve izolacijske sisteme je »obnovljiva izolacija«;
2. izolacija na kojoj dielektrično naprezanje može uzrokovati potpuni slom. Ispitivanja se moraju ponavljati na identičnim uzorcima. U tom slučaju problem je cijena i »identičnost« uzorka. Uobičajeni naziv za takve izolacijske sisteme je »neobnovljiva izolacija«;
3. izolacija čije karakteristike mijenja svako dielektrično naprezanje veće od osnovnoga. Ta vrsta izolacije je također neobnovljiva i za pouzdanost rezultata ispitivanja zahtjeva izuzetno velik broj uzoraka.

Nadalje, za ponašanje izolacijskog sistema izuzetno je važan i oblik dielektričnih naprezanja koji se opće-

nito može prikazati kao funkcija napona ovisna o vremenu. U upotrebi su izolacijski sistemi izloženi sljedećim dielektričnim naprezanjima:

- djelovanju istosmjernog napona
- djelovanju izmjeničnog napona pogonske frekvencije
- djelovanju atmosferskih prenapona izazvanih grmljavinama
- djelovanju prenapona uzrokovanih uobičajenim i havarijskim sklapanjima u elektroenergetskom sistemu.

Ispitivanje izolacijskih sistema pod djelovanjem navedenih naprezanja i njihovih kombinacija moguće je provesti u visokonaponskom laboratoriju i u uvjetima mreže na terenu.

## 2. OSNOVE STATISTIČKIH METODA PRI ISPITIVANJU IZOLACIJSKIH SISTEMA U VISOKONAPONSKOM LABORATORIJU

U normalnim radnim uvjetima izolacija se napreže radnim naponom i prenaponima različitog porijekla. Pri takvim naprezanjima nastat će proboj izolacije s vjerojatnošću »p«, odnosno s vjerojatnošću  $(1-p)$  proboj neće nastati. Laboratorijska ispitna procedura bazirana istim razmišljanjima zove se »ispitivanje konstantnim naponom« (IKN). Pri takvom se ispitivanju impulsi zadane amplitude »n« puta primijene na ispitivanu izolaciju u razmacima  $\Delta t$ , a vjerojatnost proboja odredi se iz broja proboja na pojedinim naponskim ispitnim nivoima.

Druga važna ispitna procedura ne koristi se konstantnim naponom, već serijom impulsa s porastom amplitude  $\Delta u$  i vremenskim razmacima  $\Delta t$  do nastanka preskoka ili proboja. Ta se metoda naziva »ispitivanje porastom napona« (IPN). Za laboratorije je

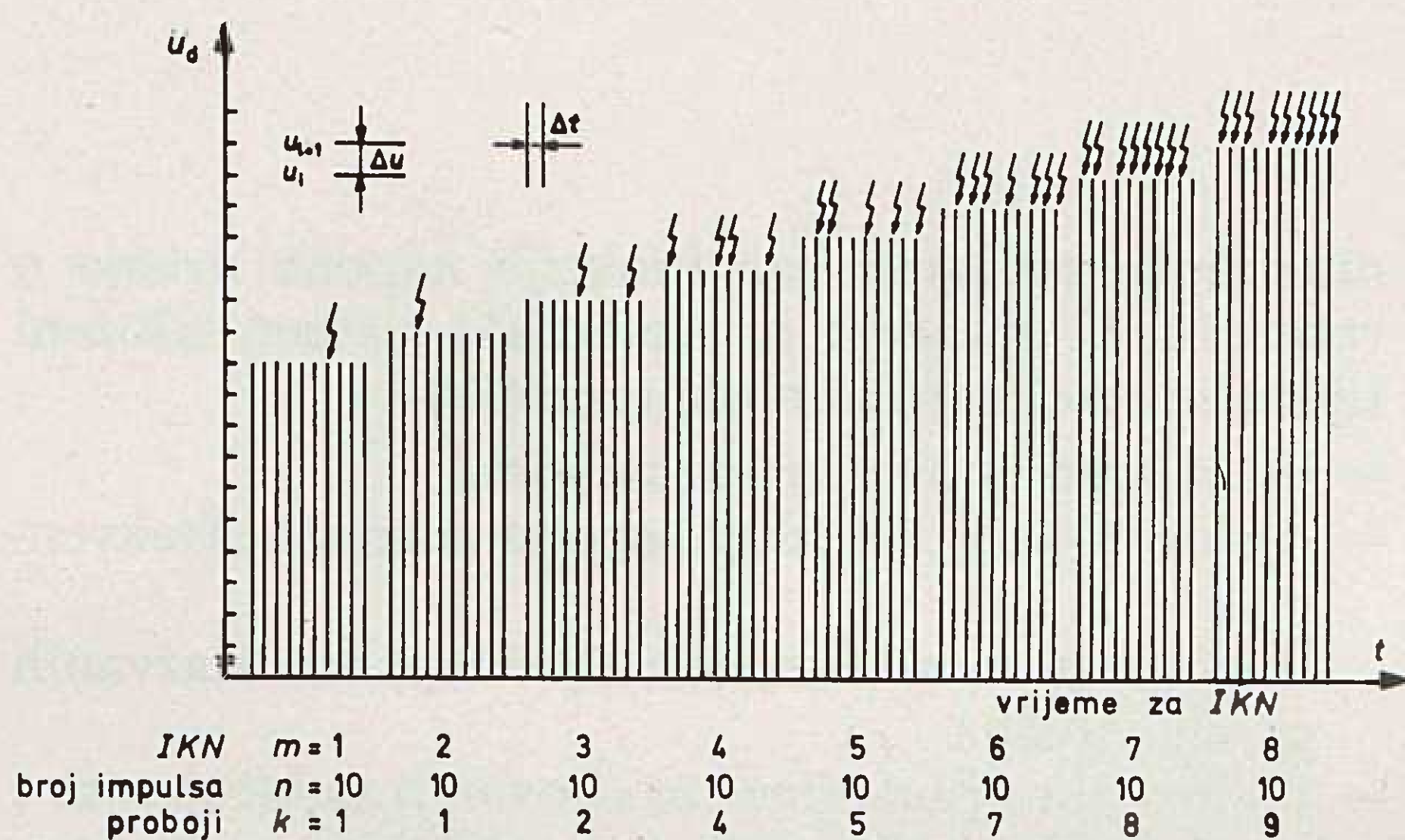
metoda IPN ekonomičnija od IKN jer daje više statističkih podataka za obradu nastanka proboja ili preskoka. Međutim, rezultati postignuti metodom IPN moraju se transformirati u rezultate koji bi se postigli metodom IKN, jer ona direktno odgovara uvjetima pogona. Osim toga, metoda IPN jedina je moguća metoda za utvrđivanje proboja neobnovljive izolacije.

### 2.1. Ispitivanje konstantnim naponom (IKN)

Na svakom se naponskom nivou ( $m$ ) (sl. 1) primjeni zadani broj impulsa ( $n$ ). Naponski interval  $\Delta u$  između dva nivoa mora približno biti (0,5 ... 1) puta veći od očekivane standardne devijacije probojnoga (preskočnog) napona ( $u_p$ ):

$$u = u_{i+1} - u_i = (0,5 \dots 1) \cdot \sigma = (0,01) \dots 0,3 \cdot u_{p50} \quad (1)$$

pri čemu je  $u_{p50}$  50%-tni probojni ili preskočni napon.



Slika 1. Postupak ispitivanja konstantnim naponom

Broj nivoa treba biti  $5 \leq m \leq 10$ . Broj impulsa na svakom nivou ovisi o potrebnoj točnosti utvrđivanja vjerojatnosti proboja. Vjerojatnost proboja ( $p$ ) procjenjuje se pomoću relativne učestalosti proboja  $h_i$  na nivou  $u_i$ :

$$h_i = k_i / n \quad (2)$$

gdje je  $k_i$  broj probuja na naponskom nivou  $u_i$ . Što je broj impulsa ( $n$ ) veći, uža je granica pouzdanosti vjerojatnosti proboja i procjena je bolja. U normalnim slučajevima ( $n$ ) se nalazi u području  $10 < n < 100$ .

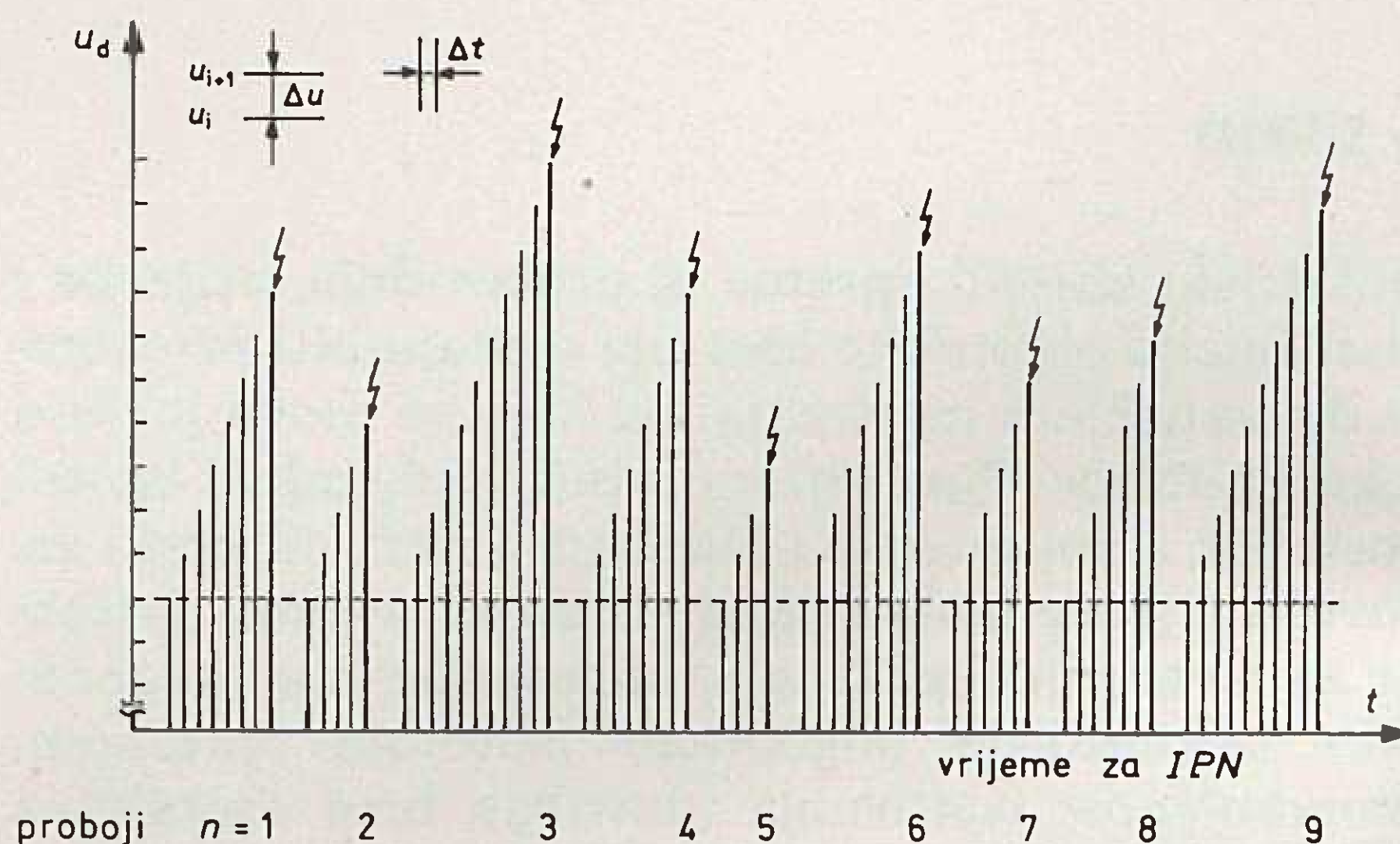
Vremenski razmaci ( $\Delta t$ ) između pojedinih impulsa moraju biti dovoljno veliki da prethodni impuls ne utječe na dielektrično naprezanje izolacije pri sljedećem impulsu. Neovisnost dielektričnog naprezanja svakog impulsa o prethodnom događaju nužna je za statističku obradu rezultata ispitivanja. Neovisnost se provjerava tako da se serija kod nivoa  $u_i$  podijeli na I grupa i za svaku grupu odredi relativna učestalost  $h_{ij}$  ( $j=i \dots I$ ) te se one usporede s relativnom učestalošću  $h_i$  za cijelu seriju. Ako je  $h_{ij} \approx h_i$ , rezultati u seriji su neovisni i mogu se upotrijebiti za statističku obradu. Ako taj uvjet nije ispunjen, serija se mora ponoviti s većim  $\Delta t$ .

Pri statističkoj obradi najčešće se upotrebljava papir vjerojatnosti s normalnom (Gaussovom) podjelom

na ordinati i linearnom na apscisi (kao na sl. 3. za obradu prenapona iz mreže). Za svaki nivo  $u_i$  izračuna se  $h_i$  i na papiru vjerojatnosti označi točkom. Iako strogo matematički gledano empirijska razdioba  $V(u_p)$  nije identična s nekom teorijskom funkcijom razdiobe, standardnim je statističkim testovima moguće utvrditi kojoj je od njih najbliža. Ako je bliska normalnoj razdiobi, označene se točke na opisanom papiru vjerojatnosti ne razlikuju mnogo od tzv. Henryjeva pravca koji s parametrima  $u_{p50}$  (srednja vrijednost) i  $\sigma$  (standardna devijacija) u navedenom koordinatnom sustavu predstavlja normalnu razdiobu.

### 2.2. Ispitivanje porastom napona (IPN)

Naponski se impulsi povećavaju od napona  $u_0$  po  $\Delta u$  dok pri naponu  $u_{pi} = u_0 + i \cdot \Delta u$  ne nastane proboj (sl. 2). Taj se postupak ponavlja ( $n$ ) puta tako da dobijemo ( $n$ ) vrijednosti za  $u_{pi}$  pogodnih za statističku obradu. Veličina uzorka mora se kretati u granicama  $10 \leq n \leq 100$ . Neovisnost  $u_{pi}$  mora se provjeriti.



Slika 2. Postupak ispitivanja porastom napona

Provjera se obavlja tako da se izračuna srednja vrijednost  $u_{p50}$ , pa ako se sve vrijednosti  $u_{pi}$  kreću oko toga (veće i manje), uzorak je neovisan. Međutim, ako je velika većina  $u_i$  veća odnosno manja, od  $u_{50}$  uzorak je ovisan i ispitivanje se mora ponoviti uz bolju fizikalnu pripremu uzorka.

Ako se ustanovi da je uzorak neovisan, može se obaviti daljnja statistička obrada. Iz rezultata ispitivanja može se, nadalje, izračunati standardna devijacija  $\sigma$ .

Ako izračunamo kumulativnu frekvenciju:

$$S(u_{pi}) = \frac{n_{pi}}{n+1} \quad (3)$$

gdje je  $n_{pi}$  broj probuja pri svim naponima za koje vrijedi  $u_p \leq u_{pi}$  ( $0 \leq n_{pi} \leq n$ ), možemo se koristiti papir vjerojatnosti kao pri IKN.

### 2.3. Relacija između IKN i IPN

Već smo spomenuli da se rezultati dobiveni metodom IPN moraju transformirati u veličine koje bismo dobili metodom IKN, koja bolje odgovara pogonskim uvjetima.



Da bismo to učinili, moramo znati funkciju distribucije  $V(u_p)$ .

Kumulativna frekvencija  $S(u_{pi})$  za zadnji porast napona  $\Delta u$  pri naponu  $u_{pi} = u_o + i \Delta u$  može se izračunati ovako:

$$S(u_{pi}) = \sum_{j=1}^i V(u_o + j \Delta u) \prod_{k=0}^{j-1} [1 - V(u_o + k \Delta u)] \quad (4)$$

Iz (4) proistječe da je razlika između  $S(u_p)$  i  $V(u_p)$  veća što su  $\Delta u$  manji.

Ako je  $\Delta u = \sigma$ , slijedi  $S(u_p) \approx V(u_p)$ . Za  $\Delta u < \sigma$  inverzijom jednadžbe (5) mora se preračunati točka po točka:

$$V(u_{pi}) = \frac{S(u_{pi}) - S(u_{pi} - \Delta u)}{1 - S(u_{pi} - \Delta u)} \quad (5)$$

Ako se ne provede takva transformacija nego se pretpostavi da je  $S(u_{pi}) = V(u_{pi})$ , dobiva se veća vjerojatnost proboga nego što je ona u stvarnosti.

Iz provedenih se razmatranja nadalje zaključuje da pouzdanost ispitivanja ovisi o točnosti mjerenja i točnosti regulacija ispitnih napona, dakle o mjernoj opremi i instrumentima.

U dosadašnjim smo razmatranjima vidjeli da je pri ispitivanju udarnim naponima izuzetno važna točnost regulacije prirasta napona ( $\Delta u$ ), uz točne vremenske razmake među impulsima ( $\Delta t$ ). Takva se točnost može postići samo kvalitetnom elektroničkom regulacijom. Pri ispitivanjima probojnih napona izolacije izmjeničnim i istosmjernim naponom potrebna je precizna regulacija porasta napona ( $du/dt$ ) jer je samo tako moguće međusobno uspoređivanje različitih rezultata. Za pouzdano mjerenje parcijalnih izbijanja i radiosmetnji visokonaponski laboratorij mora biti zaštićen od vanjskih smetnji.

### 3. METODOLOGIJA ISPITIVANJA PRENAPONSKIH NAPREZANJA IZOLACIJE U STVARNIM VISOKONAPONSKIM MREŽAMA

#### 3.1. Uvodno o terenskim ispitivanjima

Važan dio djelatnosti Instituta za elektroprivredu jesu mjerenja i statističke analize prenaponskih napreznja u stvarnim mrežama. Jednu vrstu terenskih ispitivanja čini registracija prenapona različitog porijekla pomoću stalno montiranih registracijskih uređaja (brojila prenapona). Druga vrsta su oscilografska snimanja prenapona pri namjernim uklapanjima i isklapanjima prekidača ili pri namjerno izazvanim jednopolnim kratkim spojevima. Za mreže najviših napona takva su ispitivanja važnija, pa ćemo samo podsjetiti da je u periodu 1984–1986. u mreži SR Hrvatske na dijelovima tzv. južne i sjeverne magistrale obavljeno oko 200 ciklusa uklop – isklop različitih prekidača i oscilografiran velik broj prenaponskih pojava. Ti podaci čine znanstveno i stručno višestruko iskoristivu osnovicu, posebno za aktualna razmišljanja o potrebi snižavanja izolacijskog nivoa u narednoj fazi gradnje 400 kV-tne mreže.

#### 3.2. Prikaz strategije eksperimentalnog ispitivanja sklopnih prenapona

U izboru strategije eksperimentalnog ispitivanja sklopnih prenapona u mrežama visokih i vrlo visokih napona potrebno je osigurati potreban opseg eksperimenata koji će dati objektivnu sliku razmatranih pojava te izabrati matematski aparat koji će dati kvantitativnu ocjenu najbitnijih slučajnih varijabli.

Danas nema jedinstvenog mišljenja o nužno potrebnom broju eksperimenata i najsvrsishodnijoj shemi ispitivanja. Tako jedni provode analizu na osnovi 7–10 pokusa (odnosno 21–30 faznih oscilograma), a u drugih je broj pokusa u mreži i do stotinu; (L. [7]). Opseg eksperimenata u stvarnoj mreži određuje se pretežno mogućnostima ispitivača, a manjoj raspoloživošću mreže. Pri primjeni suvremene digitalne mjerne tehnike (tranzijentnog rekordera, programatora i sl.) izbjeći će se velike pauze koje smo imali pri upotrebi dosadašnje opreme (umetanje i razvijanje filma i dr.), što će omogućiti neusporedivo više pokusa. Međutim, i s dosadašnjom smo mjernom tehnikom težili što većem broju pokusa, pa je u svakoj ispitnoj konfiguraciji prosječno obavljano 15–20 pokusa uklopa odnosno isklopa. Postojala su proturječna mišljenja o tome je li moguće ujediniti uzorak podataka dobivenih u sve tri faze u jednu grupu, ali je danas u nas i u inozemstvu prihvaćen pozitivan stav o tome. Međutim, u inozemnim metodološkim radovima (npr. u SSSR-u) ističe se da pri eksperimentalnom ispitivanju sklopnih prenapona sumarni trofazni uzorak mora sadržavati najmanje 170 faznih oscilograma (tj. više od 56 pokusa) da bi se osigurala odgovarajuća prognoza prenapona s dovoljnom točnošću za praktične primjene. Smatra se da greška u granicama od  $\pm 15$  do 20% u odnosu prema prosječnoj ovisnosti razdiobe faktora prenapona daje dovoljno točnu statističku procjenu za utvrđivanje izolacijskog nivoa u mrežama vrlo visokih napona; L. [4]. Daljnje pitanje eksperimenata u stvarnoj mreži jest dirigitano ili slučajno vrijeme početka rada prekidača. O tome nema jedinstvenog stava u svijetu, pa možemo naići na slučaj serije od 20 uklapanja s milisekundnim intervalima među njima, te još 10-ak dodatnih uklapanja blizu točke na sinusoidi koja je dala najviše vrijednosti prenapona; L. [5]. U posljednjim smo se ispitivanjima priklonili slučajnom vremenu početka operacija prekidača. Konačno, valja reći da bi sklapanja transformatora i vodova trebalo ponavljati pri različitim snagama kratkih spojeva napojne mreže, ali se ispitivanja mreža u razvoju najčešće provode pri redovnim uklopnim stanjima jer je i pri takvim stanjima mreža rel. slaba.

Na opisani način su u periodu od 1984 do 1986. u 400-tnoj mreži Hrvatske ispitane sljedeće tipične konfiguracije pri uobičajenim manipulacijama prekidača:

1. planirana ili havarijska sklapanja 400 kV-tnih vodova
2. sklapanja autotransformatora sa primarne (400 kV-tne) ili sekundarne strane,

### 3. sklapanja prigušnica na tercijaru autotransformatora.

Vrijednosti faktora prenapona svake ispitne konfiguracije podvrgnute su statističkoj analizi. Iz dobivenih su uzoraka prenaponskih skupova izračunate empirijske funkcije raspodjele prema izrazu:

$$F(k) = \frac{i - 0,5}{N} \quad (6)$$

gdje je  $k$  — slučajna veličina u varijacijskom nizu (faktor prenapona),  $i$  — redni broj u nizu,  $N$  — ukupan broj članova uzoraka.

Empirijske funkcije razdiobe uspoređene su s jednom od teorijskih funkcija razdiobe, i to normalnom, logaritamskom normalom, Weibullovom, eksponencijalnom itd. Često se takvi skupovi prenapona u mrežama pokoravaju jednoj od normalnih razdioba, ali se u nekim slučajevima pokazalo da faktori prenapona također dobro sljede neku tzv. razdiobu ekstremnih vrijednosti. Iz te je grupe tipična Weibullova razdioba, koja se u novije vrijeme primjenjuje u visokonaponskoj tehnici. Stoga donosimo njezin modificirani oblik koji je iskorišten u analizi skupova prenapona u opisanim ispitivanjima:

$$P(k) = 1 - e^{-\frac{(k-1)^m}{k_0}} \quad (7)$$

gdje su parametri razdiobe  $k_0$  i  $m$  definirani sistemom jednadžbi:

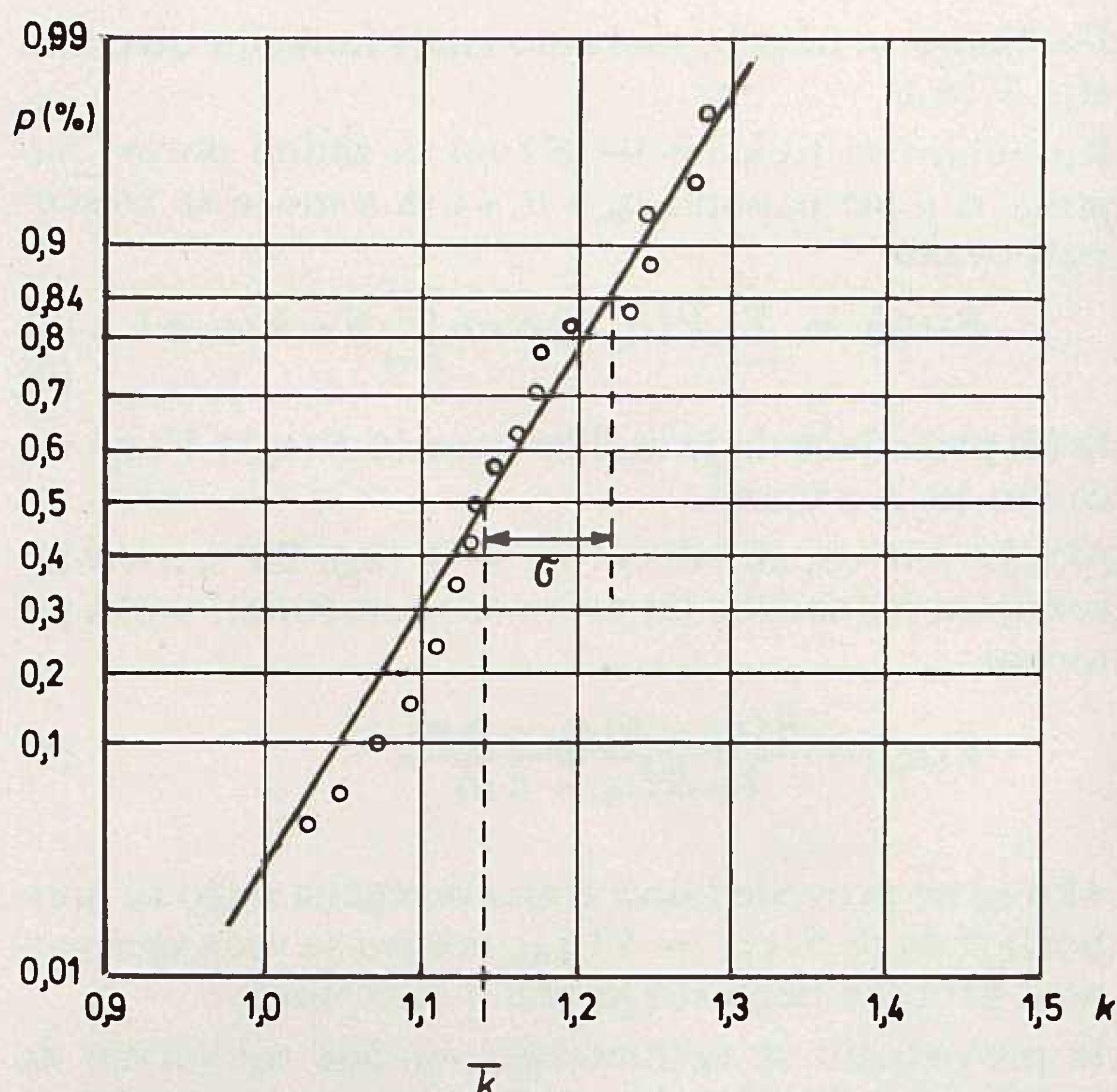
$$k_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (k_i - 1)^m,$$

$$\frac{1}{m} = \frac{\sum_{i=1}^N (k_i - 1)^m \ln(k_i - 1)}{\sum_{i=1}^N (k_i - 1)^m} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(k_i - 1).$$

Za provjeru hipoteza o slaganju empirijske razdiobe s jednom ili više teorijskih razdioba iskorišteno je nekoliko statističkih testova ( $\chi^2$ -test,  $n\omega^2$ -test, test Kolmogorova). U mnogim se slučajevima pokazalo da empirijska razdioba vrlo dobro slijedi normalnu krivulju razdiobe. Jedan takav primjer dan je slici 3. U ostalim se slučajevima često uočava dobro slaganje s Weibullovom razdiobom.

Daljnji korak u statističkoj obradi jest računanje vjerojatnosti rizika od preskoka izazvanih sklopnim prenaponima. Konačno, treba reći da terenska ispitivanja služe kao osnova za verifikaciju drugih, jeftinijih i brzih metoda za studiranje prenaponskih pojava na izolaciji visokonaponskih mreža (kao što su TNA-studije ili računski postupci, npr. primjena EMTP-programa).

Ipak valja naglasiti da pojavom savršenije mjerne opreme (tranzijentnih rekordera i sl.) terenska ispitivanja ponovo postaju važna zbog svoje velike prednosti — najrealnije slike o naprezanju izolacije u stvarnim uvjetima mreže, različitih sklopnih aparata, novih oblika izolacije itd.



Slika 3. Primjer dobrog slaganja empirijske i teorijske krivulje razdiobe (fazni prenaponi na tercijaru autotransformatora u TS Melina pri sklapanja voda Melina — Obrovac)

## 4. MJERNA OPREMA I INSTRUMENTI

Točnost mjerenja visokog napona postiže se kvalitetnim naponskim djelilima i odgovarajućim instrumentima te njihovom pravilnom upotrebom.

Naponska su djelila izuzetno važan dio mjernog sklopa, pa se zahtijeva da budu vrlo kvalitetna. Osim toga, ona moraju biti pravilno izabrana, pa je potrebno nešto reći o vrstama i osobinama postojećih djelila.

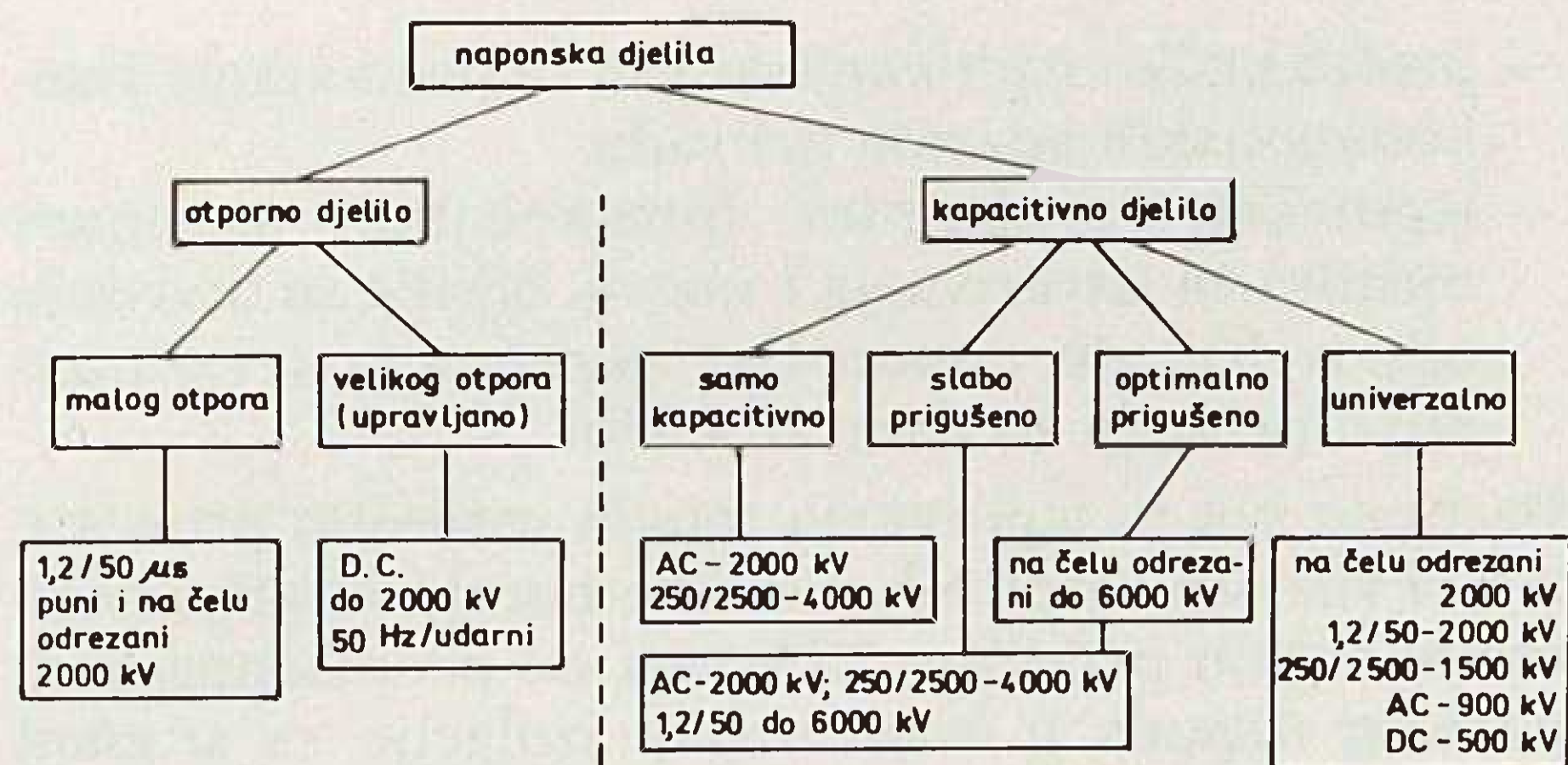
### 4.1. Naponska djelila

Visoke je napone potrebno neizobličeno (tj. vjerno) sniziti na nižu razinu (stotinu ili nekoliko stotina volti). Da bi udovoljila tom zahtjevu, djelila uglavnom moraju ispunjavati dva bitna uvjeta:

- 1) na visokonaponskoj strani djelila potrebno je zadržati vjernu sliku visokog napona na predmetu ispitivanja,
- 2) utjecaj djelila na napon koji se mjeri mora biti što manji ili pak mora dati zahtijevani (traženi) oblik.

S obzirom na karakteristike, i točnost, dakle prijenosna svojstva, djelila moraju odgovarati i određenim standardima (npr. IEC 60 — 1 do 4), a za pojedine slučajeve moraju imati i bolja svojstva nego što ih standard zahtijeva. Na slici 4. dan je pregled najvažnijih tipova djelila i područja njihove primjene.

Osim o kvaliteti naponskih djelila, točnost mjerenja ovisi i o njihovu položaju u ispitnom krugu, pa je tom utjecaju također potrebo pridati posebnu pažnju.



Slika 4. Pregled najvažnijih tipova djelila i njihove primjene

Točnost mjerenja, osim o kvaliteti i smještaju djelila, ovisi i o načinu prijenosa mjernog signala od sekundarnog dijela djelila do mjernog instrumenta. To osobito vrijedi za udarne napone, dakle za impulsne pojave. Naime, pri prijenosu naponskog impulsa mjernim kabelom postoji mogućnost zahvaćanja raznih smetnji koje izobličuju mjerni signal, pa je smetnje potrebno ukloniti ili barem smanjiti. To se postiže upotrebom mjernih kabela s dobrim oklapanjem, sprečavanjem petlji velikih površina između mjernog kabela i uzemljenja laboratorija, povećanjem razina mjernog napona (dobro odabrane zaključne impedancije) itd., a u posljednje vrijeme i upotrebom optičkog prijenosa pomoću kabela sa staklenim vlaknima.

Sljedeći faktor koji utječe na točnost mjerenja, posebno impulsnih napona, jesu sami mjerni instrumenti, pa je i o njima potrebno nešto reći.

#### 4.2. Instrumenti za mjerenje i registriranje impulsnih pojava

Za mjerenje i registriranje impulsnih ispitnih napona u visokonaponskom laboratoriju, kao i za registriranje prenaponskih pojava u mreži (na terenu), danas se koriste sljedeći uređaji:

- voltmetar za udarne napone, analogni ili digitalni,
- uređaji za mjerenje vremena rezanja, s analognim ili digitalnim pokazivanjem (npr. pri odrezanim atmosferskim udarima),
- osciloskopi — analogni i digitalni,
- tranzijentni rekorderi.

Voltmetar za udarne napone (amplitudni voltmetar) već se dugo upotrebljava u visokonaponskoj mjernoj tehnici i njegove su karakteristike dobro poznate.

U VN-laboratoriju Instituta za elektroprivredu za mjerenje udarnih napona koristi se, između ostaloga, i analogni amplitudni voltmetar s ugrađenom »memorijom« za pamćenje maksimalnog pokazivanja i s podesivim vremenom pamćenja.

Takav se uređaj može koristiti i na terenu, u slučajevima kada želimo izmjeriti samo amplitudu promatrane pojave.

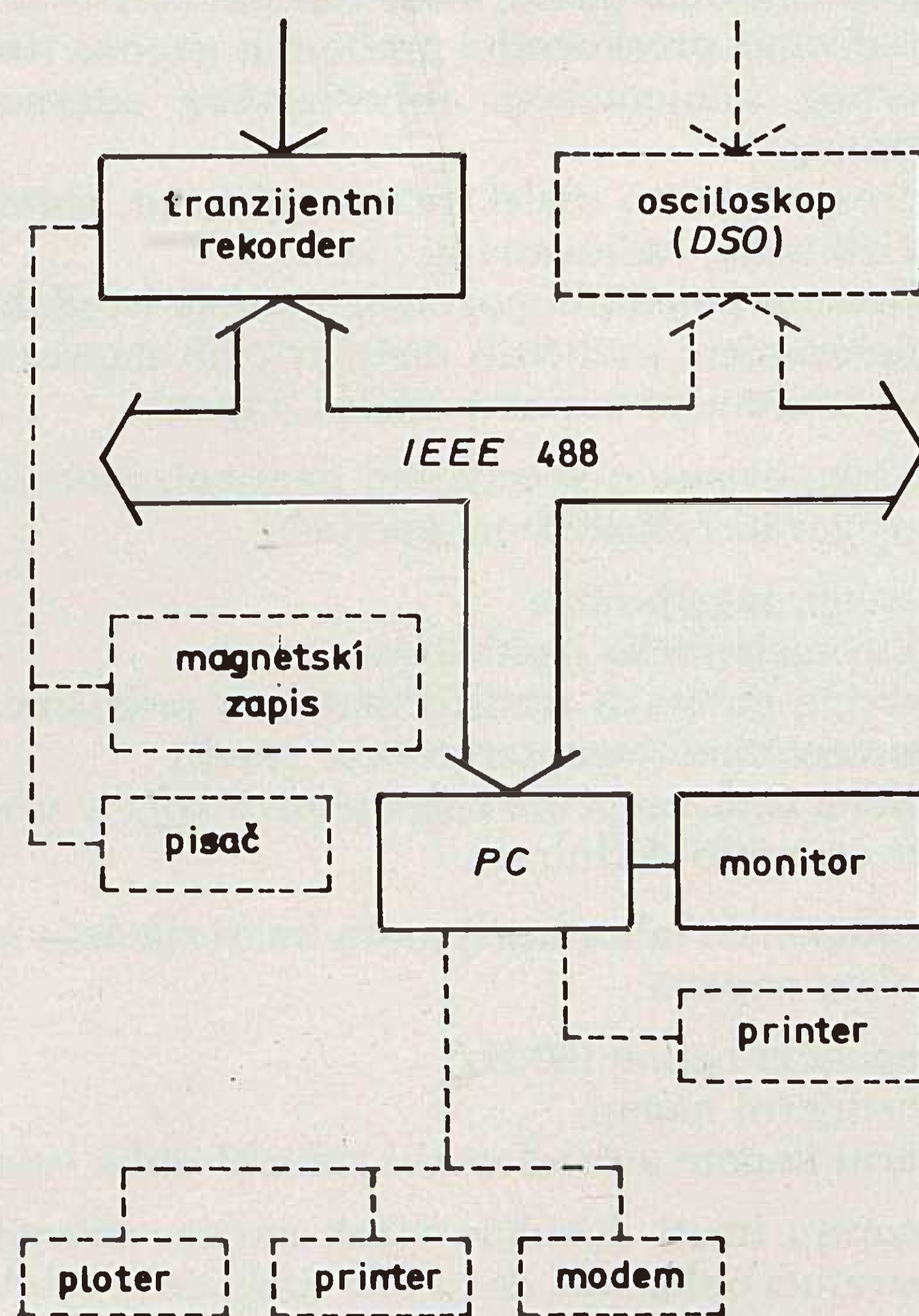
Među osciloskopima (analognim) razlikuju se osciloskopi za udarne napone (mjerni napon od 1 500 V i za vrlo brze pojave) i standardni osciloskopi (mjerni napon oko 50 V). Velika je razlika i u osjetljivosti prema elektromagnetskim smetnjama. Standardni osci-

loskopi zahtijevaju oklopljenu mjernu kabinu jer se mjerni signal inače izobličuje. Njihova je upotreba međutim, bila česta i široka, osobito kada su se pojavili i usavršili osciloskopi s pamćenjem (storage — osciloskopi) kakav je osciloskop »Tektronix« model 466 našeg Instituta.

S pojavom digitalnih osciloskopa (digital storage — osciloskopi — DSO) nastaje znatan kvalitetni pomak u mjernoj tehnici općenito. Ista ocjena vrijedi i za pojavu tranzijentnih rekordera. Dok se sve donedavno za registriranje brzih pojava koristio standardni osciloskop s mogućnošću snimanja ekrana polaroidnom kamerom (npr. spomenuti Tektronix 466) ili osciloskop s rotirajućom kamerom (kakav je npr. 7-kanalni osciloskop Instituta za elektroprivredu) ili, eventualno, brzi pisac (zapisivanje elektrostatskim putem) s razvojem digitalne tehnike i usvajanjem personalnih kompjutora (PC-a) nastaje prava revolucija u mjernoj tehnici.

Primjenom analogno-digitalnih pretvarača odnosno pretvaranjem analognih signala u niz digitalnih podataka, što je osnovni princip rada svih mjernih uređaja s digitalnom tehnikom, omogućuje se ne samo mjerenje i registriranje promatrane veličine, već i memoriranje podataka. Upotrebom personalnih kompjutora i odgovarajućeg softvera za obradu tih podataka, omogućuje se vrlo brza kompletna analiza i postiže mnogo veća točnost mjerenja. Osim toga, moguća je i kontrola i upravljanje mjernim procesom, a prema potrebi i automatizacija.

Jedan takav mjerni sistem sa svim njegovim mogućnostima vidimo na slici 5.



Slika 5. Blok-shema modernoga mjernog sistema

Ostvarivanjem takvoga mjernoga sistema, uz primjenu postojećeg softvera za analizu podataka, omogu-

čuje se i vrlo kvalitetno mjerenje direktno u postrojenju, u stvarnoj mreži (npr. mjerenje sklopnih prenapona).

Tranzijentni rekorder BBC GOERZ, s ukupno osam mjernih kanala, kojim raspolaže Institut za elektroprivredu, ima 16 K riječi po svakom kanalu, što je dovoljno za većinu potrebnih snimanja, osobito na terenu. Povezivanjem digitalnih osciloskopa i tranzijentnih rekordera s personalnim kompjutorom može se, uz odgovarajući softver, postići kompletan mjerni sistem kojim se registrira i izmjeri mjerni signal, obavi kompletna analiza, donesu odgovarajuće odluke o mjernom procesu itd., a sve to u dosad nezamislivo kratkom vremenu. Podaci spremljeni u memoriju računala mogu se obrađivati i naknadno, a ispis podataka može se obaviti u najpogodnijem obliku.

## 5. VISOKONAPONSKI LABORATORIJ INSTITUTA ZA ELEKTROPRIVREDU

### 5.1. Općenito o ulozi visokonaponskih laboratorija

Dobar visokonaponski laboratorij mora, u skladu s navedenim karakteristikama izolacijskih sistema i postavljenim zadacima, omogućiti sljedeća ispitivanja i mjerenja:

- ispitivanje podnosivim istosmjernim i izmjeničnim naponom pogonske frekvencije, atmosferskim prenaponom i sklopnim prenaponom u različitim uvjetima (suho, kiša, onečišćenje)
- određivanje preskočnih i probojnih napona (istosmjernog, izmjeničnog, atmosferskog udarnog i sklopnog)
- mjerenje faktora dielektričnih gubitaka, parcijalnih izbivanja, radiosmetnji i korone
- simulaciju pojedinih pogonskih stanja istodobnih s djelovanjem različitih dielektričnih naprezanja (npr. izmjenični napon + udarni napon).

Osim toga, ovisno o specijalnoj namjeni, moraju se moći osigurati i sljedeće mogućnosti:

- mjerenje zagrijavanja
- elektromehanička ispitivanja
- mjerenja gubitaka transformatora i prigušnica u opterećenome i neopterećenom stanju
- različita ispitivanja uže specijalnosti koja je nemoguće općenito definirati.

Visokonaponski laboratorij mora imati sljedeće izvore visokog napona:

- izmjenični napon (50 Hz)
- istosmjerni napon
- udarni napon: atmosferski i sklopni oblik vala.

Oni moraju imati dovoljno visok napon, energiju i odgovarajući oblik vala da bi bilo moguće provoditi i sljedeća ispitivanja:

- tipsko i rutinsko ispitivanje kojima se dokazuje dovoljna izolacijska čvrstoća novoprodučenih visokonaponskih uređaja

- profilaktičko ispitivanje kojim se prati stanje visokonaponskih aparata pri radu
- ispitivanje probojnim (preskočnim) naponom nužnim za istraživanja i razvoj. Njime se utvrđuje odnos između naponskog naprezanja i vjerojatnosti proboja za danu izolaciju.

Da bi se sva ta ispitivanja mogla uspješno provesti, izvori visokih i ispitnih napona moraju imati maksimalni napon približno 25% veći od propisanog podnosivog napona u koordinaciji izolacije za stupanj izolacije visokonaponskih uređaja koji se žele ispitati.

Nadalje, svojim radnim karakteristikama ispitni visokonaponski uređaji moraju omogućiti optimalnu točnost izvođenja ispitivanja.

Najvećim zahtjevima mora udovoljiti ispitna visokonaponska oprema pri utvrđivanju probojnih ili preskočnih udarnih napona uz odgovarajuću ispitnu proceduru. Ispitni uređaji moraju omogućiti dobivanje niza podataka pogodnih za statističku obradu jer se na taj način postiže maksimalna pouzdanost i ekonomičnost (trajanje ispitivanja i broj uzoraka).

### 5.2. Izvori napona i pripadna oprema visokonaponskog laboratorija Instituta za elektroprivredu u Zagrebu

Za ispitivanje izmjeničnim naponom laboratorij ima ispitni uređaj sljedećih karakteristika:

- maksimalni efektivni napon 350 kV
- mogućnost trajnog opterećenja 0,5 A
- R/X manje od 0,05.

Mjerenje napona obavlja se kapacitivnim djelilom čiji je visokonaponski dio kapacitivna normala s dvije mjerne elektrode. Time je omogućeno istodobno mjerenje napona te, uz upotrebu mjernog mosta, mjerenje kapaciteta i faktora dielektričnih gubitaka ispitivanog objekta. Napon se mjeri voltmetrom tjemene vrijednosti. Točnost mjerenja visokog napona je  $\pm 1\%$ .

Regulacija napona podešava se ( $du/dt$ ) u granicama prema IEC 60. Mjerni uređaj ima ugrađenu memoriju pa su moguća točna mjerenja preskočnih i probojnih napona bez obzira na tromost mjernog sistema. Mjerna područja i regulacija mogu se odabirati ručno, odgovarajućim sklopkama, ili preko spoja na mikroprocesor kojim se može programirati proces ispitivanja uz odgovarajuće zapise.

Ispitni uređaj ima regulaciju osposobljenu za sinhroni rad s udarnim generatorom.

Ispitni uređaj omogućuje mjerenje parcijalnih izbivanja od 1 pC na naponu 350 kV te radiosmetnji manjih od 9 dB (1  $\mu$  V).

U 1989. god. planira se dogradnja na maksimalni napon 700 kV.

Izvor istosmjernog napona je ispravljač koji se priključuje na već opisani izmjenični visokonaponski uređaj. Maksimalni napon je 500 kV (0,5 A).

Mjerenje se obavlja preko visokoomskog djelila napona s točnošću  $\pm 0,5\%$ . Sve se regulacije mogu provoditi kao za prije prikazan uređaj.

Za ispitivanje udarnim naponima laboratorij je opremljen udarnim generatorom sljedećih karakteristika:

— maksimalni napon	1 500 kV
— energija	60 kJ
— oblik vala	1,2/50 $\mu$ s i 250/2500 $\mu$ s
— polaritet vala	+ ili –
— rezanje vala	1,4–2–3–5 $\mu$ s
— točnost regulacije amplitude	$\pm 1\%$
— vremenski razmak impulsa	1 ... 30 s
— okidni sistem	udarni generator i dva osciloskopa

Napon se mjeri niskoomskim djelilom (10 k $\Omega$ ) sljedećih karakteristika:

— prijenosni omjeri	1:500 1:1000
— odziv	10 $\mu$ s
— točnost prijenosnog omjera	$\pm 1\%$

Na djelila se spaja impulsni voltmetar klase točnosti 1% za pune i odrezane valove ili osciloskop za snimanje oblika vala.

Upravljački dio udarnoga generatora ima priključke na mikroprocesor, kojim se može voditi zadani program ispitivanja, uz potrebne zapise i snimanja udarnih napona.

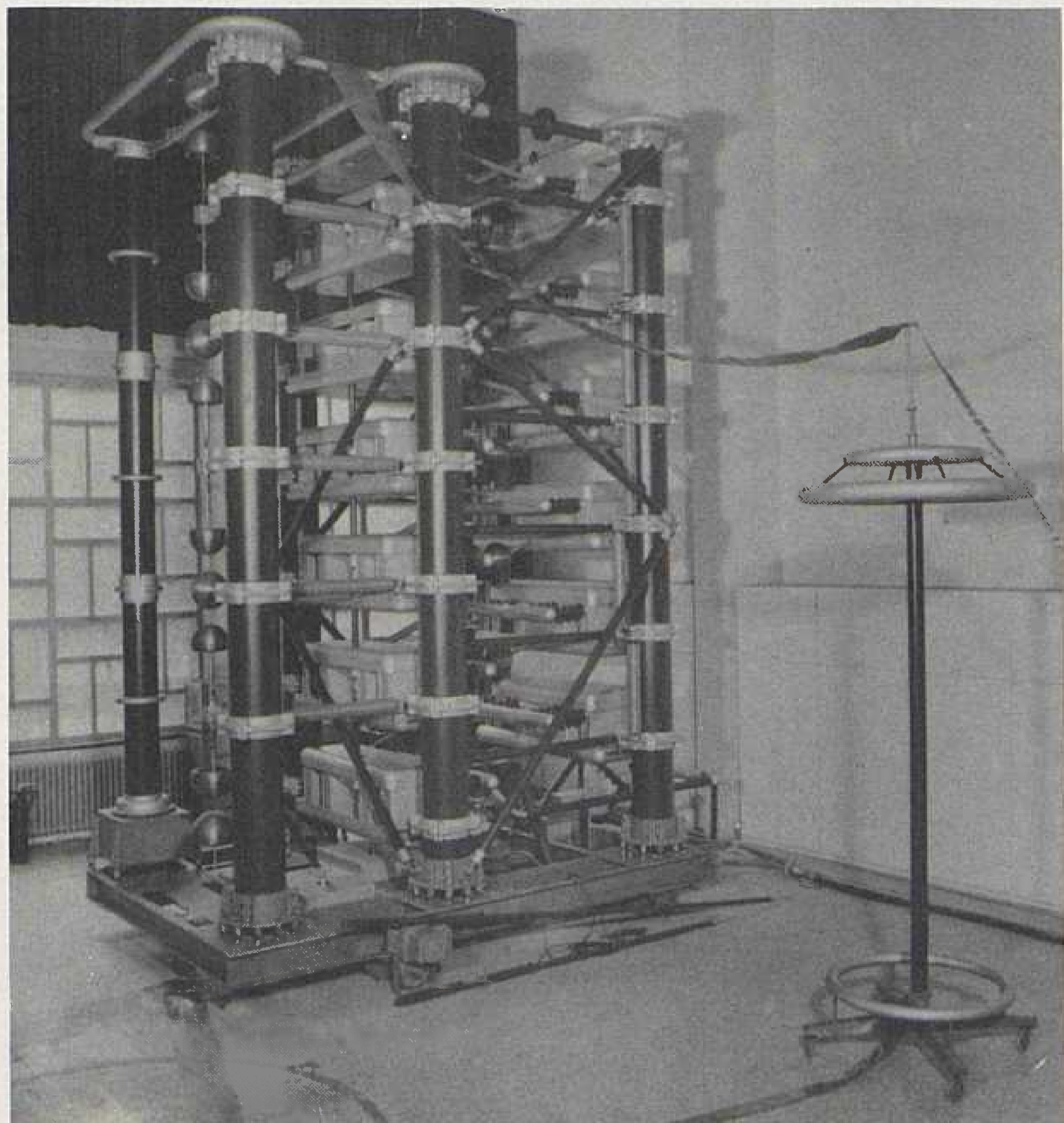
Upravljački sistem udarnoga generatora omogućuje i sinhroni rad s izvorom visokoga izmjeničnog napona tako da se udarni napon na bilo kojem dijelu sinusoida može pribrojiti izmjeničnom naponu (0 ... 360° el.) s točnošću  $\pm 3^\circ$  el.

Svi visokonaponski uređaji u laboratoriju za visoki napon Instituta za elektroprivredu omogućuju kvalitetna ispitivanja po IEC 60, odnosno u skladu s propisima industrijski najrazvijenijih zemalja.

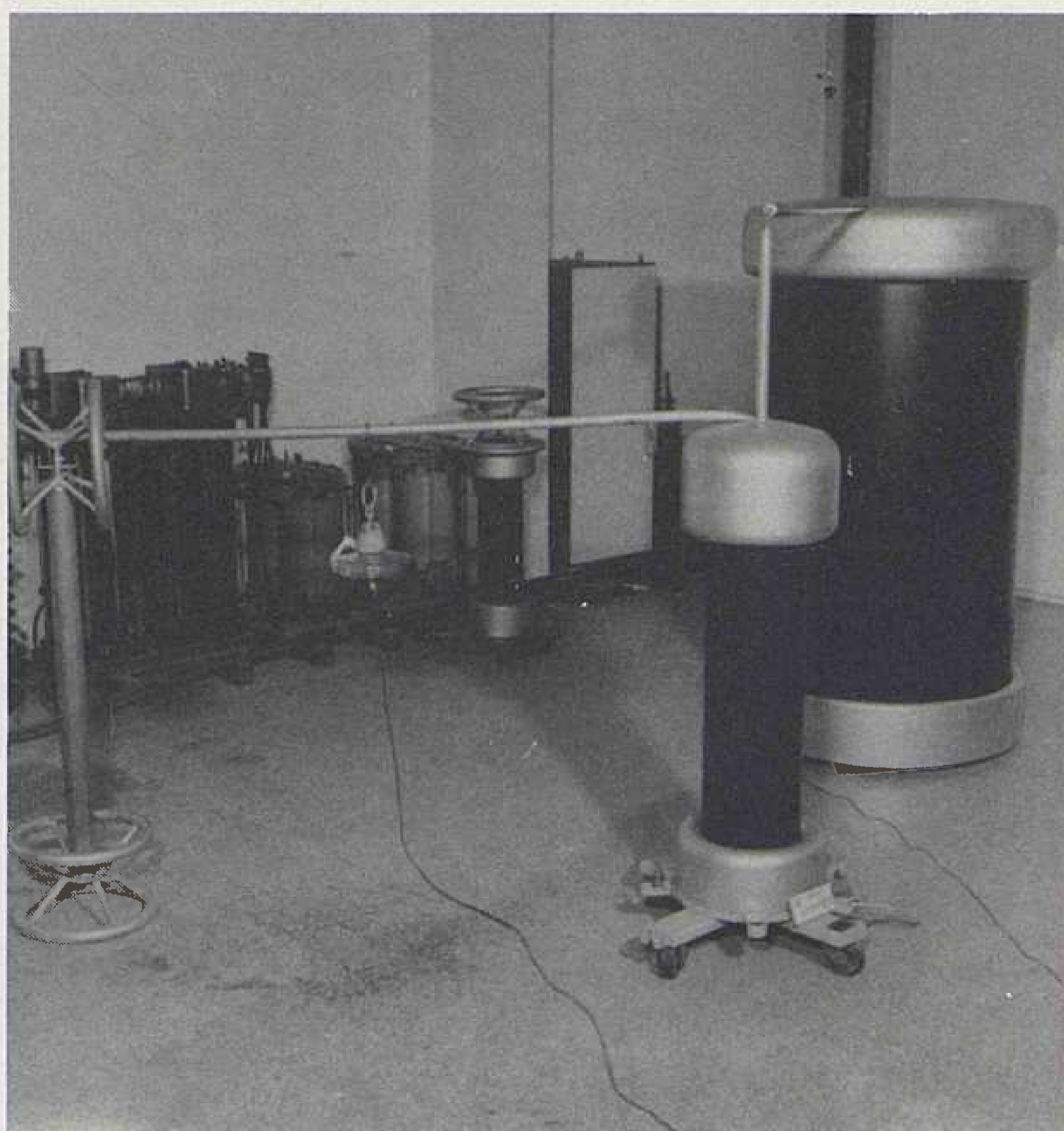
Ispitni se uređaji mogu vidjeti na priloženim fotografijama.

#### LITERATURA

- [1] W. HAUSCHILD, W. MOSCH: »Statistik für Elektrotechniker«, VEB Verlag Technik, Berlin, 1984.
- [2] N. HYLTEN CAVALLIUS: »High voltage laboratory planning«, Emil Haefely, Basel, 1986.
- [3] M. MODRUŠAN: »Najnovije stanje i daljnji razvoj visokonaponske impulsne tehnike«, kolokvij o ispitivanju VN opreme u laboratoriju i na terenu, Zagreb, 1982.
- [4] I. S. DAVIDOV, Z. D. KOVALJČUK, A. N. ŠERENCIS: »Razvitie setei 500 kV i urovni vnutrenih parenaprjaženii«, El. Stanciji, 9, 1981.
- [5] D. C. SMITH: »Switching surge measurements on an uncompensated 500 kV line«, Ref. 33–06, CIGRE, Paris, 1972.
- [6] E. HOFFMANN, B. STÖSSER: »Schaltversuche mit unbelasteten und induktiv belasteten 380 kV Transformatoren«, Elektrizitätswirtschaft, 1980, Heft 8.
- [7] H. PATRUNKY, H. J. SOWADE et al.: »Switching of transformers, reactors and long transmission lines; Field tests in German 420 kV networks«, Ref. 13–08, CIGRE, Paris, 1980.
- [8] K. SCHILLING, O. VÖLCKER: »380 kV — Umspannwerk Süd der Wiener Stadtwerke — Elektrizitätswerke — Überspannungen und Isolationskoordination«, ÖZE, Heft 7/8, 1985.



Slika 6. Visokonaponski udarni generator



Slika 7. Visokonaponski izmjenični izvor

**CHARACTERISTICS OF MEASURING EQUIPMENT AND STATISTICAL METHODS FOR TESTING ISOLATING SYSTEMS IN HV LABORATORY AND IN THE FIELD**

In the paper are described base characteristics of modern measuring equipment for testing isolating systems as well as base statistical methods for data analysis. Presented is a strategy for testing of overvoltage conditions in real net as well as up to day possibilities and characteristics of HV laboratory in »Institut za elektroprivredu«.

**CHARAKTERISTIKA DER MESSUNGSAUSRÜSTUNG UND DER STATISTISCHEN METHODE BEI DER PRÜFUNG DER ISOLATIONSSYSTEME IN DEM HOCHSPANNUNGLABORATORIUM UND AM TERRAIN**

Im Artikel werden zusammenhängend die wichtigsten Charakteristika der modernen Messungsausrüstung für die Überprüfung der Isolations systeme neben einer Überprüfung der Isolations system neben einer Übersicht der Hauptthesen der statistischen Methoden die bei der Analyse der Ergebnisse angewendet werden, gegeben. Ebenfalls gibt man eine Strategie der experimentalen Forschungsarbeiten dre Überspannungs — Erscheinungen im wirklichen Netz gegeben. Am Ende werden auch die jetzigen Möglichkeiten und Charakteristika des Hochspannungslaboratorium des Instituts für Elektrowirtschaft angeführt.

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРИ ИСПЫТАНИИ ИЗОЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ В ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЛАБОРАТОРИИ И НА МЕСТЕ**

В статье дано сжатое изложение существенных характеристик современного измерительного оборудования испытание изоляционных систем с рассмотрением основных положений статистических методов, применяемых при анализе полученных результатов. Также дано изложение стратегии экспериментальных испытаний явлений перенапряжения в действительной сети, а в конце приводятся и те перешние возможности и характеристики высоковольтной лаборатории Института электрохозяйства.

Naslov pisaca:

**Josip Mužny, dipl. inž.**  
**Ante Sekso, dipl. inž.**  
**Mr. Dragutin Mihalic, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb,**  
**Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1988 — 05 — 27

# CONSULTING-USLUGE ZA GRADNJU ENERGETSKIH POSTROJENJA I OSIGURANJE KVALITETE

Milivoj Krejči — Hrvoje Štingl — Zoran Selanec — Josip Kučak — Dimitrije Avdejev — Hrvoje Bezlaj  
Zagreb

UDK 621.311.17  
PREGLEDNI RAD

Consulting-usluge i osiguranje kvalitete dvije su grupe aktivnosti, pri čemu se svaka od njih može neovisno primijeniti na različita područja ljudske djelatnosti. U ovom se kontekstu, međutim, govori o području u kojemu su te aktivnosti tijesno povezane, odnosno na kojemu osiguranje kvalitete čini dio cjeline — consultinga. Jedan od osnovnih razloga provođenja consultinga valja tražiti u mogućnosti višestrukog ponavljanja aktivnosti s međusobnim utjecajem, što vodi akumulaciji iskustva i prijenosu znanja, omogućujući selektivan pristup svakome novom objektu. Za postizanje kvalitete krajnjeg produkta bez obzira na to je li to usluga, projekt ili oprema, radni se proces podvrgava osiguranju kvalitete. Osiguranje kvalitete kao segment consulting-usluga jest organizirani pristup definiranju onog a što se želi ili mora ispuniti u toku svih faza gradnje (pripremnih radova, projektiranja, nabave, proizvodnje, ugradnje, ispitivanja i upuštanja pogona te prestanka njihova rada), uz definiranje postupaka za utvrđivanje i verificiranje ispunjenosti zahtjeva.

**Ključne riječi:** consulting, osiguranje kvalitete, energetske objekti.

Consulting je skup specijaliziranih, tijesno povezanih, visokostručnih aktivnosti temeljenih na znanstvenoj osnovi, potrebnih pri gradnji ili rekonstrukciji suvremenih složenih privrednih objekata, od zasnivanja projektnog zadatka do puštanja objekta u rad.

Konzultant je »specijalist u nekom području, koji radi u svojstvu osobe koja daje savjete, upute, zaključke u pitanjima svoje struke«. Član 53. Zakona o izgradnji objekata sasvim konkretno nabrja 16 specifičnih aktivnosti consulting-organizacije. No pretendirajući, vjerojatno, na kompletnost, Zakon počinje prethodnim istraživanjima i završava ispravnim funkcioniranjem objekta u početku njegova korištenja.

U tom smislu consulting je širok spektar intelektualnih usluga usmjerenih dobivanju uspješnog objekta.

Investitori objekta mogu obaviti te aktivnosti i sami, uz pretpostavku da u radnom odnosu imaju radnike specijalizirane za te poslove. Zbog relativno kratkog vremena angažmana malo je vjerojatno potpuno ekipiranje investitora, a osim toga, ono je i nepraktično. Izostavljanje, pak, nekog obaveznog koraka pri izgradnji nije moguće ili bar nije preporučljivo. Stoga investitor za manji ili veći opseg poslova može angažirati consulting-organizaciju. Zajedničko djelovanje investitora i consulting-organizacije radi stručnog obavljanja rutinskih i specijalističkih zadataka pri tom je osnovna pretpostavka.

Tok aktivnosti u gradnji naših energetske objekata pokazuje da consulting još nije stekao pravo mjesto, no ipak postoji pozitivan trend; grupiranjem niza parcijalnih aktivnosti na pojedinim objektima približavamo se definiciji kompletnog consultinga.

Postojanje i djelovanje consulting-organizacija u razvijenim zemljama već je niz godina prihvaćena či-

njenica. Paralelno s njima rade male i velike organizacije, multidisciplinarne, kao i one koje se bave samo užim područjima.

Institut za elektroprivredu relativno je »mlada« organizacija — »stara« je 35 godina. Svih približno sto pedeset njegovih radnika praktično se bavi consultingom. Djelatnošću koja se uobičajeno smatra consultingom i poslovima osiguranja kvalitete (u toku gradnje objekata) već se godinama bavi oko polovica radnika. Profil te djelatnosti moguće je porezimirati sljedećom aktivnosti:

- izrada prethodnih studija izbora lokacija, optimalnih parametara, ekoloških aspekata i sl. (TE Plomin 2, NE Slavonija, NE Prevlaka, HE Đurđevac)
- izrada i revizija investicijskih programa (TE Plomin II, HE Dubrava, HE Dale ...)
- izrada natječajne dokumentacije (NE Prevlaka, postojenja za odsumporavanje TE Plomin II)
- planiranje i praćenje gradnje objekata (TE Sisak 2, NE Krško, T Plomin II)
- praćenje financijske realizacije (HE Dubrava, HE Dale, TE Plomin II)
- osiguranje kvalitete (NE Krško, HE Dubrava, TE Plomin II ...)
- pretpogonska ispitivanja (TE — TO Zagreb — blok 3, NE Krško, RHE Obrovac ...)
- primopredajna garantna i normativna ispitivanja (NE Krško, RiTE Ugljevik, RHE Obrovac, TS Meline ...)
- kolaudacija objekta (RiTE Gacko, RiTE Ugljevik).

Na takvoj ili sličnoj listi treba tražiti osnovne argumente za provođenje dijela aktivnosti pri gradnji objekata preko organizacija za consulting-usluge. Prije svega to je kontinuirana mogućnost osiguranja visokostručnog osoblja za obavljanje aktivnosti u toku

gradnje koje zahtijevaju angažiranje stručnjaka različitih profila za relativno kratka vremenska razdoblja ili diskontinuirano. Pritome se ne smije zanemariti ni činjenica da se u velikim privrednim sistemima kao što je elektroprivreda obavljanje dijela aktivnosti izgradnje objekata uz pomoć consulting-usluga ostvaruje kontinuitet u pristupu pojedinim problemima i osigurava jedinstveni nastup investitora prema ostalim sudionicima u gradnji objekata.

Daljnje razloge za provođenje consultinga valja tražiti u mogućnosti višestrukog ponavljanja aktivnosti s međusobnim utjecajem, što vodi akumulaciji iskustva i prijenosa znanja omogućujući selektivan pristup svakome novom objektu.

Pritom se povratne informacije realiziraju samim consultingom ili pri obavljanju aktivnosti na objektima u pogonu.

Za postizanje kvalitete krajnjeg produkta bilo da je to usluga, projekt ili oprema radni proces podvrgava se osiguranju kvalitete.

Osiguranje kvalitete kao jednog od segmenata consulting-usluga označava organizirani pristup definiranju onoga što se želi ili mora ispuniti u toku svih faza izgradnje (pripremnih radova, projektiranja, nabave, proizvodnje, ugradnje, ispitivanja i upuštanja pogona, ili prestanka njihova rada), uz definiranje postupaka kojima se utvrđuje i verificira da su zahtjevi ispunjeni.

Prema definiciji osiguranje kvalitete (Quality Assurance — QA obuhvaća sistematske i planirane aktivnosti nužne za postizanje odgovarajuće pouzdanosti da će neka komponenta ili cijelo postrojenje s obzirom na sigurnost i pouzdanost dobro raditi.

Iako se i prije fragmentarno pojavljivalo, osiguranje kvalitete dobilo je taj naziv (preuzet iz angloameričkoga jezičnog područja — Quality Assurance, skraćeno QA) neposredno iz komercijalne primjene nuklearne energije i u vezi s razvojem regulative s tog područja, najprije u vojnome i svemirskom programu, a zatim i u programu mirnodopske upotrebe nuklearne energije. Tako je 1970. god. u SAD izdan zakonski akt »10 CFR 50, Dodatak B« kojim su definirani kriteriji osiguranja kvalitete za nuklearne elektrane i postrojenja za reprocesiranje goriva. Zatim je slijedio niz standarda i zakona koji su upotpunjavali i tumačili osnovni zakonski akt.

Ostale zemlje s nuklearnim programom razvijale su vlastitu regulativu za osiguranje kvalitete, ali uglavnom po uzoru na regulativu SAD. Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) iz Beča izdala je 1978. međunarodni standard osiguranja kvalitete 50—C—QA Code of Practice: »Quality Assurance for Safety in Nuclear Power Plants«, namijenjen zemljama članicama bez vlastite regulative. Taj je standard donedavno bio važeći propis u Jugoslaviji.

Osiguranje kvalitete u nas i u svijetu primjenjivalo se u početku samo na elemente i aktivnosti koje su utjecale na nuklearnu sigurnost. Kako su nuklearni energetske objekti velikih jediničnih snaga, i njihova je raspoloživost od vrlo bitna, pa su se principi osiguranja kvalitete počeli proširivati i na opremu važnu za

raspoloživost (turbine, generator, glavni transformator, kondenzator itd.).

Sljedeći je korak bilo proširenje primjene postupaka za osiguranje kvalitete i na ostale energetske objekte (hidroelektrane, termoelektrane). U klasičnim energetskim objektima danas se najčešće osiguranje kvalitete ne primjenjuje na sve faze (obično samo za proizvodnju opremu i ugradnju), te se od sudionika gradnje ne zahtijevaju kompletni QA-programi kao za nuklearne objekte, nego primjena samo nekih kriterija osiguranja kvalitete.

Pravi trenutak početka aktivnosti osiguranja kvalitete praktički se podudara s početkom ostalih consulting-aktivnosti (čiji je sastavni dio). Razlog je činjenica da je osiguranje kvalitete bitno ovisno o spoznajama do kojih consulting dolazi u toku svog provođenja; uz to, ta provjera ima retrogradno djelovanje na consulting, prije svega iskustvima s gradnje prethodnih objekata. Tako provjera kvalitete mora početi najkasnije revizijom projekta, da bi se nastavila u toku ugovaranja opreme (izrada primjerenog programa osiguranja kvalitete kao sastavnog dijela ugovora) i trajala u toku izrade opreme, njezina transporta na gradilište, montaže, puštanja u rad i ispitivanja performansi gotovog objekta. Pritom je bitna trajna tijesna suradnja s organizacijom koja je odgovorna za gradnju, i to radi promjena koje u toku gradnje nužno nastaju zbog razvoja tehnologije, konstruktivnih izmjena i realizacije tempa izgradnje.

Gotovo svaki element elektroenergetskog objekta za koji provjerava kvalitete nije počela u pravom trenutku u toku gradnje stvara ozbiljnu smetnju za dovršenje objekta i njegovo puštanje u rad, a kada objekt počne raditi takav se element pretvara u ključni problem pouzdanosti i pogonske spremnosti.

Razvoj proizvodnje opreme vrlo je skokovit i neujednačen (nove vrste materijala omogućuju racionalnije izvedbe, ali imaju drukčije tehnologije). Paralelno s tim razvijaju se nove metode i programi provjere kvalitete, javni i interni standardi. Stoga ta aktivnost, osim više ili manje rutinskih radnji (ovisno o potrebi ekspertiza kad je kvaliteta granična), zahtijeva i trajni rad stručnjaka najviših kvalifikacija te dobar uvid u različite tehnike (ne samo elektrostrojarstva), uz sposobnost organiziranja grupe specijalista sastavljenih prema potrebi i sa sposobnošću sudjelovanja u radu tih grupa.

Nije manje važno ni osiguranje kvalitete i objekata koji su u pogonu. Povremene sustavne provjere kvalitete omogućuju pravodobnu nabavu rezervnih dijelova, realno planiranje rokova i trajanje remonta te njegovih troškova, a sve to utječe na racionalan i pouzdan pogon. Za aktivnosti održavanja vrijedi gotovo sve što vrijedi za izgradnju.

Dosadašnja iskustva govore da u elektroenergetskim objektima gotovo i nema podjele na ključne i manje bitne dijelove postrojenja. Svaki dio koji zataji tako da onemogućuje raspoloživost i pogonsku spremnost objekta, dijela sistema ili sistema u cjelini, ključni je dio u tom trenutku, bez obzira na njegovu materijalnu vrijednost.



Otud potječe potreba osiguranja kvalitete kao važna karika u nizu ostalih činilaca potrebnih za neprekinutu i sigurnu opskrbu električnom energijom.

Institut za elektroprivredu počeo je svoje aktivnosti na tom području gradnjom HE Dubrovnik još 1960. god., a gradnjom naše prve nuklearne elektrane u Krškom te su aktivnosti prerasle u organizirani pristup definiranju onoga što se želi i mora ispuniti u toku izgradnje objekata na osnovi svjetskih iskustava i regulative s tog područja.

Ubrzo je IE proširio svoje aktivnosti na osiguranju kvalitete na klasične objekte: TE — TO Zagreb, TE — TO Osijek, HE Čakovec, RHE Obrovac.

Danas je Institut aktivan u radu na proizvodnim objektima koji se grade ili rekonstruiraju, odnosno na objektima čija se gradnja priprema u SRH: HE Dubrava, HE Đurđevac, HE Đale, TE Plomin 1 i 2, hidroelektrane na Muri, Savi, Kupi i pritocima. Također surađuje i u izradi programa osiguranja kvalitete za objekte koje naša industrija gradi u inozemstvu (HE Hadita).

Istodobno su nastavljene aktivnosti vezane za nuklearni program izradom programa osiguranja kvalitete za pripremne radove na NE Prevlaka, NE Slavonija, NE Dalmacija, te za Odlagalište radioaktivnog otpada, pripremu dijela osiguranja kvalitete Poziva za nuđenje kao i evaluaciju ponuda za NE Prevlaka.

Danas IE ima uvježbanu i na objektima školovanu ekipu stručnjaka za rad na području consultinga i osiguranja kvalitete energetske objekata u svim fazama njihove gradnje i rada — od pripremnih radova do prestanka rada energetske objekata.

## LITERATURA

- [1] Oxford concise dictionary, Bell edition, Oxford, 1982.
- [2] V. KLAJČIĆ: »Rječnik stranih riječi«, Naklada Liber, Zagreb, 1984.
- [3] HENNING: »Handbuch der Qualitaetsicherung«, Vlg. Oldenburg, Muenchen, Wien
- [4] Zakon o izgradnji investicionih objekata, N.N. br. 54, 1986.

## CONSULTING ACTIVITIES AND QA FOR CONSTRUCTION OF ELECTRIC POWER PLANTS

Consulting and QA are two activities that can be applied to different human efforts. In this paper is discussed about common field for these activities i. e. about QA as a part of field-consulting. One of base reasons for consulting activities is in possibility for multiple repeating of activities with mutual impact that leads to accumulation of knowledge and technology transfer as well as selective approach on each new object. For better product quality, that can be service, design, or equipment QA is applied on production process. QA as a part of consulting services is organized method for determination of requirements during all construction phases (preparation of work, design, procurement, production, construction, testing and operation as well as decommissioning) on the base of defined procedures and verification of requirements fulfillment.

## CONSULTING — DIENSTLEISTUNGEN FÜR DEN AUSBAU DER ENERGETISCHEN ANLAGEN UND DIE SICHERUNG DER QUALITÄT

Consulting Dienstleistungen und die Sicherung der Qualität sind zwei Aktivitätsgruppen, wobei jede einzelne unabhängig an verschiedenen Gebieten der menschlichen Tätigkeit angewendet werden kann. In diesem Kontext spricht man jedoch über ein Gebiet in dem diese Aktivitäten eng verbunden sind bzw. über das Gebiet and dem eine Sicherung der Qualität ein Teil eines Ganzen ist — Consulting. Einen der Hauptgründe für die Durchführung des Consulting sollte man in der Möglichkeit einer mehrfachen Wiederholung der Aktivitäten mit gegenseitiger Beeinflussung suchen, was zur Akkumulation der Erfahrung und der Übertragung des Wissens führt, wobei jedes neue Objekt selektiv behandelt werden kann. Zum Erreichen der Qualität des Endproduktes ohne Rücksicht darauf ob das eine Dienstleistung, ein Projekt oder eine Ausrüstung ist, wird der Arbeitsprozess der Qualität untergeordnet. Die Sicherung der Qualität als Segment der Consulting — Dienstleistungen ist eine organisierte Definierung dessen was gewünscht wird oder im Laufe aller Arbeitsphasen erreicht werden muß (Vorbereitungsarbeiten, Projektierungen, Anschaffung, Erzeugung, Einbau, Prüfungen und das In — Betrieb — Lassen, sowie die Unterbrechung ihrer Arbeit) neben dem Definieren der Prozesse zur Feststellung und Verifikation der Erfüllung der Anforderungen.

## КОНСУЛЬТАТИВНЫЕ УСЛУГИ ПО СООРУЖЕНИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК И ОБЕСПЕЧЕНИЮ КАЧЕСТВА

Консультативные услуги и обеспечение качества — две группы активности, причем каждая из них может независимо применяться в различных диапазонах человеческой деятельности. Вданном контексте говорится, однако, о той сфере деятельности, в которой эти активности тесно связаны, точнее в той сфере деятельности, где обеспечение качества представляет часть целостности — консультативности. Одной из основных причин проведения консультаций следует искать в возможности многократного повторения деятельности при взаимном влиянии, что приводит к накоплению опыта и передачи знаний, что делает возможным отборочный подход к каждому новому объекту. Для достижения качества конечного продукта, независимо услуга ли это, проект или оборудование, рабочий процесс подвергается обеспечению качества. Обеспечение качества, как сегмент консультативных услуг, является организованным подходом к определению того, что желательнo или должно быть выполненным в течение всех фаз сооружения (подготовительных работ, проектирования, поставок, изготовления, установки, испытаний и входа в эксплуатацию, как и приостановления их работ), с определением способа установления и засвидетельствования выполнения требований.

Naslov pisaca:

Milivoj Krejči, dipl. inž.  
 Hrvoje Štingl, dipl. inž.  
 Zoran Selanec, dipl. inž.  
 Josip Kučak, dipl. inž.  
 Dimitrije Avdejev, dipl. inž.  
 Hrvoje Bezljaj, dipl. inž.  
 Institut za elektroprivredu,  
 41000 Zagreb,  
 Proleterskih brigada 37,  
 Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988 — 05 — 25

# PRAĆENJE RADA HIDROENERGETSKIH OBJEKATA

Marijan Zelić, Zagreb

UDK 621.311.21.004

STRUČNI RAD

U članku su sustavno i stručno obrađeni razlozi i potrebe kontinuiranog praćenja rada hidroenergetskih objekata. Za tu su svrhu kao primjer navedena mjerenja na HE »Varaždin« i način pravodobnog otkrivanja oštećenja na pojedinim objektima. Također su opisani nužni zahvati provedeni na građevinskim objektima hidroelektrane radi održavanja potpune pogonske spremnosti hidroelektrane.

**Ključne riječi:** tehničko promatranje, praćenje, mjerenje, dilatacija, naponi, pritisci, injektiranje, obrada pukotina, erozija, sanacija, odstranjivanje.

## UVOD

U društvenim prilikama u kojima gradnja novih energetske objekata zaostaje za sve većom potrebom za energijom osobito je važno da se što bolje čuvaju i održavaju postojeći elektroenergetski izvori.

Praćenje hidroenergetskih postrojenja razumijeva aktivnosti kontinuiranog promatranja, mjerenja i ispitivanja elemenata postrojenja da bi se, ako bude potrebno, mogle pravodobno poduzeti odgovarajuće mjere zaštite radi sprečavanja većih šteta.

Nažalost, ponekad se praćenju stanja hidroenergetskih postrojenja u nas ne pridaje potrebna pažnja, pa se vrlo često intervencija stručnjaka traži tek u fazi kada nastane havarija, oštećenje ili druge nepoželjne pojave.

Korisnici hidroenergetskih postrojenja često nisu ni svjesni kolika bi oštećenja, zastoji u proizvodnji te nastali troškovi mogli biti ublaženi, ili čak potpuno spriječeni da se sistematski pratilo stanje cjelokupnog postrojenja i da su se pravodobno otkrili mogući problemi. Nerijetko su razlozi toga i pomanjkanje sredstava, pa se uskraćuje ulaganje u ono što je najviše potrebno.

To je vrlo karakteristično za građevinski dio postrojenja s obzirom na to da se održavanju elektrostrojarske opreme donekle prilazi na zadovoljavajući način.

Želeći učiniti korak naprijed u očuvanju postojećih hidroelektrana, njihove sigurnosti i pogonske spremnosti, prezentirat ćemo uobičajeni pristup praćenju hidroenergetskih postrojenja da bi se uočila potreba i višestruka korist za cijelo društvo.

## 1. OPĆENITO O PRAĆENJU HIDROENERGETSKIH OBJEKATA

Praćenje prilika hidroenergetskih objekata proistječe iz pozitivnoga zakonskog propisa, pa je jedan od bitnih akata i »Pravilnik o tehničkom promatranju visokih brana« (Sl. list br. 7 od 16. 2. 1966. godine). Osim tog Pravilnika praćenje je regulirano i »Propisima o tehničkim mjerama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja« (Sl. list br. 19 od 15. 5. 1968. godine).

Budući da »Pravilnik o tehničkim promatranjima visokih brana« propisuje samo okvirne zahtjeve, koji se odnose samo na visoku branu i akumulaciju, Zajednica jugoslavenske elektroprivrede, zajedno s Jugoslavenskim komitetom za visoke brane, definirala je »Uputstva za tehnička promatranja visokih brana« (1982. godine).

Tim je uputstvima, osim promatranja brane, definirana i potreba sistematskog praćenja i ostalih objekata i elemenata hidroenergetskog postrojenja koji utječu na sigurnost cijelog postrojenja.

Pod tehničkim promatranjem razumijeva se skup operacija kojima je cilj mjerenje fizičkih veličina čije je poznavanje nužno da bi se u željenom trenutku odredilo stanje cijelog objekta ili pojedinih njegovih dijelova. To se odnosi i na stanje u stjenjnoj masi uz objekt i u prostoru akumulacije, osobito s obzirom na stabilnost i vodopropusnost. Osim toga, promatranjem se prate i kemijski utjecaji s mogućnošću korozije materijala ili bilo kakvog smanjenja njegove mehaničke otpornosti.

Društvena korist od tehničkog promatranja je višestruka jer se provodi radi sigurnosti objekta, optimalnog održavanja i prikupljanja dragocjenih iskustava za unapređenje projektiranja, građenja i korištenja novih objekata.

Sigurnost objekta kontrolira se mjerenjima i snimanjima da bi se utvrdila prisutnost deformacija i pomicanja koja bi mogla biti znak poremećaja same konstrukcije, njezinih temelja ili tla.

O značenju promatranja hidroenergetskih objekata radi optimalnog održavanja nije potrebno posebno govoriti jer je jasno da su troškovi održavanja neusporedivo manji ako se uočene nepoželjne pojave saniraju odmah u početku i time onemogućiti daljnji razvoj oštećenja. Uobičajeni postupci praćenja »ponašanja« objekata upravo to i omogućuju.

Društveno-ekonomska korist postiže se i unapređenjem tehničkih rješenja u planiranju, projektiranju i gradnji novih objekata. Ona se temelje na iskustvima prikupljenim u toku praćenja postojećih hidroelektrana.

Današnja je praksa pokazala da je već samo objavljivanje rezultata praćenja naših hidroenergetskih objekata dalo dragocjene podatke i putokaze za usavršavanje tehnike projektiranja i nalaženje povoljnijih rješenja.

## 2. ORGANIZACIJA PRAĆENJA HIDROENERGETSKIH OBJEKATA

Praćenje hidroenergetskih objekata u SR Hrvatskoj provodi se prilično neorganizirano.

Neorganiziran i nesistematičan pristup ponekad je posljedica nemogućnosti uočavanja svih objektivnih pozitivnih efekata praćenja, ali i obaveza, a nerijetko i pomanjkanja sredstava.

Kontinuirano i primjerno praćenje, u skladu s odgovarajućim projektom u SR Hrvatskoj, provodi se u hidroelektranama na rijeci Dravi (HE Varaždin, HE Čakovec), a dosadašnje spoznaje upućuju na to da se to može očekivati i za HE Dubravu.

Tehničko promatranje HE Varaždin od 1979. godine provodi Institut za elektroprivredu, a praćenje HE Čakovec provodi »Elektroprojekt« Zagreb od 1982. godine, kada je ta elektrana puštena u rad.

Praćenje obje elektrane ostvaruje se u suradnji sa specijalističkim organizacijama i uz znatnu pomoć korisnika elektrane.

Ideja da se organizira praćenje tih i ostalih elektrana u SR Hrvatskoj s jednog mjesta, što bi dalo znatne ekonomske i tehničke efekte, dosada nije ostvarena, čemu svakako treba težiti.

U takvoj organizaciji praćenja bilo bi moguće osigurati kontinuitet i sistematičnost rada te objektivno sagledavanje nužnih zahvata i sanacija radi osiguranja trajnosti i sigurnosti objekata. Osim toga, ne treba zanemariti značenje osiguranja i održavanja danas već vrlo skupe mjerne opreme, te usavršavanje kadrova.

## 3. NEKA ISKUSTVA U PRAĆENJU RADA HE VARAŽDIN

Radi prikaza uobičajenog sistema praćenja koji je prihvatljiv s gledišta zakonske regulative i s gledišta zahtjeva korisnika hidroenergetskog postrojenja, prikazat ćemo sistem i iskustva praćenja rada HE Varaždin.

Praćenje HE Varaždin provodi se u skladu s Projektom tehničkog promatranja od početka rada, tj. od 1975. godine.

Projektom su predviđena sljedeća mjerenja i promatranja:

1. horizontalne komponente pomicanja na vanjskim površinama objekta i okoline
  - mjerenje se provodi metodom aliniranja i mikrotriangulacije na stalnim geodetskim točkama betonske i nasute brane, strojarnice i bliže okoline;
2. vertikalne komponente pomicanja na vanjskim površinama objekta i okoline
  - mjerenje se provodi metodom preciznog nivelmana na nasutoj i betonskoj brani, strojarnici, nasipima dovodnog kanala i akumulaciji;
3. rotacije u prostoru — naginjanja objekta
  - mjerenje se provodi prijenosnim klinometrom na mjernim bazama betonske brane i strojarnice;
4. dilatacijskih otvora
  - mjerenje se provodi induktivnim davačem (deformetrom) ugrađenim na dilatacijske rešetke strojarnice;
5. napona i pritisaka u temeljnom dnu brane i strojarnice
  - na kontaktu temeljnog tla i temelja objekta ugrađene su mjerne kapsule — elektroakustičke doze koje omogućuju mjerenje pornog tlaka i totalnog pritiska;
6. procjednih voda i filtracijskih pojava
  - opažanje se provodi mjerenjem količine vode u drenažnim kanalima izvedenim po obodu akumulacije i praćenjem vodostaja u piezometrima ugrađenim u objekte strojarnice, nasute i betonske brane, na spoju nasute i betonske brane te u nasipima akumulacije i dovodnog kanala;
7. razdjelnica i pukotina
  - opažanje se provodi na vanjskim površinama betonske konstrukcije brane i strojarnice te na unutrašnjim betonskim površinama protočnog dijela elektrane — na dovodnom tunelu, spirali, i difuzor-aspiratoru u vrijeme remonta;
8. fizičko-kemijskih promjena betonske konstrukcije
  - opaža se korozija betona strojarnice i brane te pojava izlučivanja  $\text{CaCO}_3$  iz betona — inkrustacija;
9. vodostaja površinskih voda
  - mjerenje se provodi u akumulacijskom jezeru, dovodnom kanalu, odvodnom kanalu, donjoj i

- gornjoj vodi brane, vodokaznim letvama i limnigrafima;
10. vodostaja podzemne vode
    - opažanje i mjerenje provodi se pomoću piezometara ugrađenih uz objekte brane, strojarnice, akumulacije i derivacijskog kanala te na širem utjecajnom području HE Varaždin;
  11. erozije i nanosa
    - mjerenja i opažanja provode se u akumulacijskom bazenu, dovodnome i odvodnom kanalu te slapištu brane i dijelu »starog« korita Drape nizvodno od brane;
  12. vizuelnog pregleda dostupnih i vidljivih dijelova objekata
    - opaža se stanje brane (nasute i betonske), strojarnice, nasipa akumulacije i dovodnog kanala, odvodnog kanala, drenažnog kanala, mostova preko dovodnoga i odvodnog kanala;
  13. vibracija temelja strojeva
    - detektorom vibracija opažaju se promjene na određenim točkama u neposrednoj blizini pričvršćenja strojeva.

Sva navedena mjerenja i opažanja provode se u skladu s vremenskim planom aktivnosti, a registrirane se pojave analiziraju i evidentiraju parcijalnim i završnim izvještajem.

Zahvaljujući redovnome i sistematskom praćenju stanja objekata i okoline cjelokupnog postrojenja, pravodobno su registrirane i analizirane nepoželjne pojave koje bi mogle imati teže posljedice za sigurnost, pogonsku spremnost i trajnost cijele hidroelektrane.

Na temelju provedenih analiza i stručnih mišljenja o mogućim posljedicama, HE Varaždin je, na prijedlog Instituta za elektroprivredu i projektanta, poduzela odgovarajuće postupke preventivne zaštite, što je rezultiralo uspješnom eksploatacijom, tako da pogonska spremnost elektrane dosada nijednom nije dovedena u pitanje.

Navest ćemo samo neke uspješno provedene preventivno zaštitne postupke provedene u toku tog praćenja.

1. Injektiranje i obrada pukotina i betonskih oštećenja na kojima je ustanovljeno procjeđivanje vode na unutrašnjoj strani protočnog dijela strojarnice.
 

Redovnim promatranjem betonskih površina protočnog trakta elektrane, koje se provodi pri svakom godišnjem remontu, uočene su pukotine koje su praćene, pa je u određenom trenutku procijenjeno da je za zaštitu cijele armature i konstrukcije nužno sanirati pukotine i oštećenja.
2. Obrada pukotina na kanalu za naplavine izvedenom uz objekt strojarnice
 

Obilascima strojarnice i okoline vizualnim je pregledima utvrđeno postupno slijeganje terena uz lijevi bok strojarnice, zbog čega su se pojavile pukotine na kanalu za naplavine. Zbog povećanja pukotina počelo je procjeđivanje vode iz tog kanala, što je ubrzalo ispiranje čestica materijala u bližoj okolini i dovelo u pitanje konstrukciju kanala. Sanacija je uspješno obavljena.

3. Injektiranje i obrada pukotina na vanjskim površinama objekta strojarnice
 

Zbog rada elektrane, vibracija i diferencijalnog slijeganja pojavile su se pukotine na zidovima, stupovima i podnoj konstrukciji glavne i donje etaže elektrane. Pukotine su injektirane i obrađene radi sprečavanja daljnjeg povećanja. Praćenje saniranih pukotina pokazalo je da je većina njih uspješno popravljena već u prvom koraku, a neke su sanirane i naknadno. Praćenje mjesta pojave pukotina nastavljeno je daljnjim redovnim tehničkim promatranjem.
4. Poduzimanje aktivnosti radi smanjenja i uklanjanja procjeđivanja vode kroz desni nasip prijelaznog dijela dovodnog kanala i ispod njega.
 

Zbog popuštanja dilatacijskih brtvi na obloženoj i krilnom betonskom zidu prijelaznog dijela dovodnog kanala počela se gubiti voda iz kanala, dio vode izvirati uz nožicu desnog nasipa i vlažiti teren uz strojarnicu. Ta je pojava registrirana pomoću rezultata promatranja slijeganja krune desnog nasipa, povećanja količine procjedne vode te povećanja pukotina nastalih na kruni nasipa. Poduzete aktivnosti sanacije nisu potpuno uspjele, pa je količina procjedne vode iz kanala samo smanjena. Naknadnim snimanjem podvodnom videokamerom otkriven je uzrok gubljenja vode (rupe na različitoj visini dilatacijske reške) iz kanala i sve popratne pojave, pa se priprema projekt sanacije.
5. Popravak erozionog oštećenja stupa mostova na odvodnom kanalu
 

Promatranjem derivacijskog kanala i izgrađenih mostova registrirana je pojava erozije stupova mostova u razini radne vode u kanalu. S obzirom na to da je erozija s vremenom napredovala, pristupilo se sanaciji koja je vrlo uspješno završena bez pražnjenja kanala.
6. Sanacija erodiranog dijela slapišta
 

Programom tehničkog promatranja jedanput godišnje je predviđeno hidrografsko snimanje slapišta brane. Nekoliko je puta u toku eksploatacije uočena erozija dna slapišta koja bi daljnjim povećanjem mogla ugroziti sigurnost brane. U takvim su slučajevima odmah nakon upozorenja i provedene analize stanja, poduzete odgovarajuće sanacije.
7. Sanacija lokalno erodiranih dijelova odvodnog kanala
 

U toku eksploatacije elektrane različitog režima rada i eroziona snage vode u kanalu pojavila se lokalna erozija pokosa kanala, a time i obrušavanje dijela pokosa iznad kote vode. S obzirom na mogućnost daljnjeg napredovanja erozije i oštećenja kanala te zapunjavanja dna kanala erodiranim materijalom, počela je sanacija koja je uspješno završena.
8. Injektiranje i obrada pukotina na betonskim stupovima brane
 

U toku svog postojanja brana je osim djelovanju atmosferskih utjecaja bila izložena utjecajima čestih oscilacija vodostaja, promjena temperature,

agresivnosti vode, a sve zajedno rezultiralo je promjenama fizičko-mehaničkih svojstava materijala i uzrokovalo oštećenje.

Na temelju promatranja betona brane uočena je korozija betona, pukotine sa pojavom inkrustacija i bez njih, pa je procijenjeno da je radi sprečavanja širenja tih štetnih pojava branu potrebno sanirati. Sanacija je uspješno obavljena, što je sigurno osiguralo i produžilo vijek trajanja objekta.

9. Skidanje raslinja koje se pojavljuje kroz pukotine asfaltno-betonske obloge akumulacijskog jezera i dovodnog kanala te obrada pukotina

U toku praćenja postrojenja primijećena je pojava raslinja na pukotinama asfaltno-betonske obloge. S razvojem raslinja i korijenja nastajala su oštećenja obloge. Da se nije pravodobno reagiralo i spriječio razvoj te pojave, nastala bi vrlo velika oštećenja.

Osim navedenih pojava koje su u toku praćenja uočene i sanirane, sistematsko praćenje daje i druge pozitivne rezultate.

Na primjer, u sklopu redovnog praćenja obavlja se mjerenje i analizira stanje nanosa u akumulacijskom jezeru.

U toku eksploatacije mijenja se količina nanosa u jezeru. Ovisno o rezultatima praćenja, korisnik elektrane redovno je informiran o stanju nanosa u jezeru i potrebi odgovarajućih zahvata.

Posljednje su analize upozorile na potrebu da se korisnik nakon 13 godina eksploatacije mora pripremiti za vađenje nanosa iz akumulacije jer daljnje zasi-pavanje može donijeti ozbiljne probleme u radu elektrane.

#### 4. ZAKLJUČAK

Praćenje hidroenergetskih postrojenja u eksploataciji vrlo je važan element u procesu produljenja trajnosti, očuvanju pogonske spremnosti i sigurnosti objekata.

Zato se praćenju objekata hidroelektrana ne bi smjelo prilaziti stihijski i neorganizirano.

Dosadašnja iskustva u stručnom praćenju rada hidroelektrana upućuju na veliku društveno-ekonomsku opravdanost tog praćenja i za korisnike elektrane i za cijelo društvo. Danas, kada treba nastojati očuvati svaki kWh električne energije, pravodobno uočavanje mogućih problema i njihovo uklanjanje osigura-

vaju kontinuitet proizvodnje, umnogome produžuju vijek eksploatacije, a ponekad i upućuju na mogućnost većeg iskorištenja izgrađenih postrojenja.

Stoga prividan nedostatak sredstava ne bi smio biti činilac zbog kojega se praćenju svih hidroelektrana u SR Hrvatskoj ne bi prišlo dovoljno pažljivo.

Radi unapređenja praćenja hidroelektrana u eksploataciji, trebalo bi osigurati praćenje iz jednog centra ili jedne institucije, u kojoj bi bili koncentrirano odgovarajuće stručno osoblje i oprema.

#### FOLLOW UP OF CONSTRUCTION ACTIVITIES FOR HPP

In the paper are systematically and professionally elaborated conditions and requirements for continual follow up of construction activities for HPP. For that purpose presented are measurements on HPP »Varaždin« and the method for detection of failures on some objects. Also are presented some modifications on civil objects of HPP for maintaining operational conditions.

#### BEOBACHTUNG DER HYDROENERGETISCHEN OBJEKTE

Im Artikel werden fachkundig und zusammenhängend die Gründe und die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Verfolgung der Arbeit der hydroenergetischen Objekte bearbeitet. Zu diesem Zweck sind als Beispiel Messungen erwähnt worden die sich auf das Wasserkraftwerk »Varaždin« und die Art der rechtzeitigen Entdeckung der Beschädigungen an einzelnen Objekten beziehen. Ebenfalls werden notwendige Eingriffe beschrieben, die an Bauobjekten des Wasserkraftwerkes wegen der Erhaltung einer vollkommenen Betriebsbereitschaft des Wasserkraftwerkes durchgeführt wurden.

#### НАБЛЮДЕНИЕ ЗА РАБОТАМИ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

В статье систематически и по специальности разработаны причины и потребности непрерывного наблюдения за работой гидроэнергетических объектов. С этой целью в качестве примера приведены измерения на ГЭС »Вараждин« и способ своевременного обнаружения повреждений на некоторых объектах. Также описаны необходимые предприятия, проводившиеся на строительных объектах гидроэлектростанции для сохранения полной эксплуатационной готовности гидроэлектростанции.

Naslov pisca:

**Marijan Zelić, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb,**  
**Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1988 – 05 – 24

# SUVREMENI PRISTUP ODRŽAVANJU GRUPE HIDROELEKTRANA U SLIVU

Srećko Bojić — Miroslav Blažičko — Đuro Stanković, Zagreb

UDK 621.311.21.004

STRUČNI RAD

Povezivanjem elektrana u sistem daljinskog nadzora i upravljanja te upravljanja iz centra lancem elektrana na jednom vodotoku ili slivu javlja se potreba za novim sistemom i organizacijom održavanja objekata, postrojenja i uređaja.

**Ključne riječi:** održavanje, plansko-preventivno održavanje, lanac hidroelektrana, organizacijski oblici održavanja.

## UVOD

Problematika održavanja hidroelektrana koje rade kao zasebni objekti u samostalnom režimu rada stvara je koliko i hidroelektrane. Osnovni problemi održavanja rješavani su za svaki pojedinačni slučaj, ovisno o okolnostima, tehnološkim rješenjima i raspoloživosti osoblja, rezervnih dijelova i potrošnog materijala.

Povezivanjem elektrana u sistem daljinskog nadziranja i upravljanja, te upravljanja iz centra lancem elektrana (komande lanca) na nekoj rijeci ili slivu, uz primjenu ostalih pratećih suvremenih tehnoloških rješenja, nesumnjivo se pojavljuje nova kvaliteta u proizvodnji, iskorištenju i regulaciji vodotoka.

Zbog postojanja takvoga funkcionalnog sistema elektrana osjeća se potreba prestrukturiranja svih organizacijskih oblika, posebno sistema i organizacije održavanja objekata, postrojenja i uređaja.

## 1. OSNOVNE OSOBINE ODRŽAVANJA HE U NEKIM NAŠIM ELEKTROPRIVREDNIM ORGANIZACIJAMA

U većini naših elektroprivrednih organizacija sistemi i organizacije održavanja HE još uvijek su izrazito »klasičnog« tipa, s dominantnim udjelom interventoga (korektivnog) načina održavanja, a stupanj i nivo suvremenijih plansko-preventivnih zahvata u održavanju zastupljen u maloj mjeri; L. [1], [2]. Održavanje se uglavnom svodi na uklanjanje nepredviđenih kvarova, planske preglede i godišnje remonte u ustaljenim i strogo definiranim vremenskim periodima, što uzrokuje dulje ispade iz pogona te velike i konstantne troškove.

Takav način održavanja ujedno umanjuje efekte moguće primjene suvrmenih tehničkih, tehnoloških i informatičkih dostignuća, posebno u novim i rekonstruiranim elektranama.

U organizacijskom smislu, održavanje objekata, postrojenja i uređaja HE uglavnom se rješava unutar hidroelektrane, angažiranjem vlastite radne snage, radioničkoga i skladišnog prostora.

U novije se vrijeme uočavaju pozitivni trendovi u racionalizaciji i povećanju efikasnosti sistema održavanja te bolje organiziranosti održavanja u HE.

U sklopu rješavanja problematike HE u lancu na rijeci Dravi i Muri u SRH snimljena su stanja i organizacije održavanja u nekim našim elektroprivrednim organizacijama među kojima postoji takva ili slična organizacijska povezanost.

Rezultati analiza pokazuju da u HE koje pripadaju grupi elektrana ili rade u lancu postoji tendencija objedinjavanja pojedinih funkcija održavanja za cijelu grupu (lanac) elektrana. To se ponajprije odnosi na postrojenja i uređaje novijih tehnologija, npr.:

- održavanje telekomunikacijskih uređaja
- održavanje uređaja za zaštitu i mjerenja ili opreme tipiziranih uređaja i opreme koja je zastupljena na većem broju elektrana u lancu (grupi)
- održavanje visokonaponskih rasklopnih postrojenja
- održavanje turbinskih regulatora i sličnih uređaja.

I u jednom slučaju u kojemu je djelomično aktivirano i daljinsko vođenje hidroelektrana u lancu (HE Formin, Dravske hidroelektrarne), uređaji za daljinsko vođenje i nadziranje održavaju se centralno.

Osnovna elektrostrojarska oprema po pravilu se održava zasebno u svakoj hidroelektrani, uz povremenu međusobnu pomoć i pomoć vanjskih organizacija u obavljanju većih planiranih ili izvanrednih zahvata. Prema tome, može se govoriti o nekoliko različitih pristupa održavanju i organizacijskim oblicima održavanja, i to:

- potpuno samostalnom održavanju HE, kao početnome modelu

- djelomično grupnom održavanju uvjetovanom više specijalističkim potrebama i raspoloživim kadrovima nego težnjom za racionalnijim i efikasnijim oblicima održavanja
- grupnom održavanju kombiniranom sa samostalnim održavanjem, uz određenu podjelu po vrstama održavanja i veću koncentraciju radne snage
- pretežno grupnome (zajedničkom) održavanju s jasnom koncepcijom o postupnom napuštanju samostalnog održavanja.

Iz navedenih organizacijskih oblika održavanja može se zaključiti da ne postoji jasna analogija između stupnja razvoja organizacije rada i upravljanja hidroelektranom i organizacije održavanja te da nijedan navedeni oblik u postojećem sistemu ne dominira.

## 2. SUVREMENIJI PRISTUP I NOVE MOGUĆNOSTI ODRŽAVANJA

Osnovni motivi unapređenja sistema i organizacije održavanja proistječu iz opće težnje za povećanjem proizvodnje, raspoloživosti, sigurnosti i racionalnijeg poslovanja svake hidroelektrane.

Za lanac hidroelektrana ili grupe elektrana u slivu osim osnovnih motiva postoji još nekoliko zahtjeva i specifičnosti koje bitno utječu na koncepciju, funkcionalnost i racionalnost cijelog sistema. To su:

- zajednički režimi korištenja vode
- optimiranje proizvodnje unutar sliva ili lanca elektrana
- regulacija i bolje iskorištenje vodotoka pri pojavi većih vodnih valova.

Sa stajališta tehnike, jedan od osnovnih preduvjeta za funkcioniranje takvoga cjelovitog i racionalnijeg proizvodnog sistema jest potpuna automatizacija i uključivanje hidroelektrane u sistem daljinskog nadziranja i upravljanja. Uz primjenu suvremenih mikroračunarskih i miniračunarskih sistema te uz kvalitetnu informatičku podršku dobiva se fleksibilan proizvodni sistem, nadziran i upravljani iz jednog središta (komande lanca ili komande sliva).

Osim toga, raspoloživost i pouzdanost cijelog sistema ovisi o raspoloživosti i pouzdanosti svake komponente sistema, dakle o stupnju kvalitete i nivou održavanja objekata, postrojenja i uređaja.

Klasičnim načinom održavanja u takvom je režimu rada elektrana praktički nemoguće udovoljiti svim zahtjevima; L. [1].

Uvođenjem novih oblika, prije svega planskoga preventivnog načina održavanja kao dominantnog oblika u sistemu održavanja, moguće je trajnim praćenjem, preventivnim kontrolama, pregledima i zahvatima koji se provode planski i u skladu s režimom rada elektrane bitno smanjiti broj iznenadnih kvarova i tako znatnije:

- povećati pouzdanost i sigurnost komponente
- povećati raspoloživost proizvodnih grupa

- maksimirati proizvodnju svake elektrane
- sniziti troškove korektivnoga (interventnog) održavanja,

a time i ukupne troškove održavanja.

Uz takav pristup održavanju objekata, postrojenja i uređaja presudno je važno znati što, kada i kako održavati da se ne dogodi neplanirani zastoje. Drugim riječima, potrebno je u svakom trenutku poznavati stanje svih kritičnih komponenata tehnološkog procesa da bi se pravodobnim zahvatom spriječio veći kvar ili havarija postrojenja.

Razvoj novih metoda ispitivanja, praćenje stanja i nadzor postrojenja i elektrostrojarske opreme upravo su usmjereni na to, počevši od pojedinačnih pregleda, periodičnih ispitivanja i mjerenja pa sve do trajnog promatranja i nadzora radne sposobnosti (monitoringa), posebno VN-rotacijskih strojeva; L. [3].

Uspostavljanje sistema za permanentno promatranje stanja kritičkih komponenata elektrane, osobito proizvodnih grupa, sve je češća svjetska praksa, a uvodi se radi sprečavanja optećenja koja nastaju nepredviđenim akcidentima, smanjenja rizika kvara i zastoja te produljenja dobi trajanja promatrane komponente.

Novi pristup usmjeren je na razvoj »sistema eksperta«, u kojemu se periodičkim i trajnim signalima sistematski promatra i na kompleksnom modelu pomoću računala, permanentno evaluira stanje stroja; L. [3].

Značenje i mogućnost primjene »starijih« periodičkih metoda ispitivanja za ocjenu stanja postrojenja, uređaja ili opreme nije time smanjena. Njihova primjena postaje očita kad veličine koje se permanentno promatraju prijeđu odabrane granice odnosno redovito se primjenjuju kod ispitivanja komponenata koje nemaju presudno značenje za raspoloživost elektrane.

Sa stajališta održavanja, upotrebom sistema za permanentno praćenje opreme, uz kombinaciju adekvatnih periodičkih metoda ispitivanja, omogućeno je stvaranje kvalitetne baze podataka na temelju koje se mogu dobro i pravodobno planirati složeniji pregledi, kontrole i preventivni zahvati u postrojenju, kao i produljiti ili skratiti (ovisno o stanju) već ustaljeni ciklusi održavanja; L. [4].

S obzirom na značenje kvalitete rada svake hidroelektrane u lancu ili slivu, primjena sistema za permanentno promatranje stanja vitalnih dijelova elektrana ima puni smisao, osobito za suvremeno koncipiran grupni rad hidroelektrana upravljanih i nadziranih iz centra koji tehničko-tehnološki i informatički potpuno opremljen.

## 3. NOVI ORGANIZACIJSKI OBLICI U SISTEMU ODRŽAVANJA

Krajnji cilj izgradnje grupe elektrana u slivu ili lancu jest rad elektrana bez osoblja, uz daljinski nadzor i

upravljanje iz jednog centra. Ta pretpostavka izravno utječe na funkcioniranje cijele organizacije, uključivši i službu održavanja.

Uvođenjem suvremenog sistema plansko-preventivnog održavanja postiže se nova kvaliteta i ekonomičnost cjelokupnoga proizvodnog procesa, pa je prirodno da i organizacija održavanja poprima nove osobine i dimenzije, s osnovnim ciljem racionalnijeg korištenja raspoloživih stručnih i materijalno-tehničkih potencijala.

S današnjih pozicija čini se logičnim i korisnim potpuno ujediniti službu održavanja za cijeli lanac odnosno grupu hidroelektrana u slivu. Pod ujedinjavanjem službi održavanja razumijeva se formiranje zajedničkih grupa od kadrova zaposlenih u pojedinim elektranama, i to (L. [2], [5], [6]):

- jedinstvene grupe za planiranje, pripremu i praćenje održavanja, za tzv. tehnološku pripremu koja bi uz optimalan broj ljudi koncipirala i usmjeravala sve aktivnosti održavanja
- jedinstvene operativne specijalističke grupe sastavljene od podgrupa pojedinih specijalnosti za održavanje svih objekata, postrojenja i uređaja.

Takvom je organizacijom moguće udovoljiti suvremenijim oblicima postavljenog sistema održavanja koji se sastoji od:

- tekućeg održavanja (dnevnog, tjednog, periodičnog)
- interventnog održavanja (popravka kvarova vlastitim snagama)
- plansko-preventivnog održavanja (planirane revizije i remont postrojenja i opreme)
- općeg održavanja.

Funkcioniranje može teći tako da se:

- opće održavanje obavlja prema općim i internim standardima lokalnom ili mobilnom radnom snagom
- tekuće održavanje obavlja prema utvrđenome vremenskom planu i programu s mobilnim ekipama
- interventno održavanje (uklanjanje nepredviđenih kvarova vlastitim snagama radi osposobljavanja postrojenja za proizvodnju, čišćenje naplavina itd.) obavlja ekipa prema potrebi i prirodi zadatka (iz centralne grupe za održavanje)
- plansko-preventivno održavanje obavlja periodički i po godišnjim i višegodišnjim planovima, na temelju rezultata permanentnog praćenja stanja opreme, svim raspoloživim snagama zajedničke operativne specijalističke grupe i uz pomoć vanjskih organizacija
- priprema svih navedenih oblika održavanja (planiranje dinamike, troškova, radne snage, materijala i praćenje tehničke kvalitete postrojenja) obavlja radom službe tehnološke pripreme, koja izdaje i radne naloge operativnoj grupi.

Pritom se ne smije izostaviti reorganizacija i racionalniji pristup koncipiranju i korištenju radioničkih i

skladišnih prostora, te osiguranju potrebnih rezervnih dijelova i potrošnog materijala.

Uvođenjem i uspostavom jednoznačnog sistema nomenklature kojim se obuhvaćaju tehničko-tehnološke jedinice održavanja, tehnička i sva ostala dokumentacija, rezervni dijelovi i potrošni materijal te cijeli proizvodni proces bitno pridonose kvaliteti, povećanju funkcionalnosti i ekonomičnosti cjelokupnog sistema i organizacije održavanja.

#### 4. ZAKLJUČAK

Povezivanjem hidroelektrana u lanac ili grupu elektrana u slivu sa zajedničkim režimom rada mogu se postići veća iskorištenja vodnih potencijala.

Napuštanjem postojećih i uvođenjem suvremenijih oblika održavanja objekata, postrojenja i uređaja elektrana, prije svega plansko-preventivnim pregledima, kontrolama i zahvatima na temelju permanentnog praćenja stanja opreme te formiranjem (djelomične ili potpuno centralizirane) organizacije održavanja moguće su znatne uštede u troškovima održavanja, uz istodobno povećanje raspoloživosti, pouzdanosti i sigurnosti proizvodnih postrojenja.

Na toj se osnovi u IE provode daljnja istraživanja i prate suvremene tehnologije radi razvoja i usavršavanja takvih sistema održavanja.

#### LITERATURA

- [1] R. BASOVIĆ, F. BEK: »Organizacija proizvodnje na HE s ostvrtom na primene na HE; Đerdap«, referat IV-33.
- [2] M. BLAŽIČKO, S. BOJIĆ, Đ. STANKOVIĆ: »Analiza postojećih organizacija održavanja hidroelektrana«, elaborat IE Zagreb, 1987.
- [3] A. KELEN: »Diagnostics of HV machine insulation — from inspection to continuous monitoring; MEE International conference; Reliability and lifetime of electrical machines«, Budapest, 1987.
- [4] J. G. HEARD: »Summary report on large turbine generator maintenance practices«, Electra, No. 117/88.
- [5] Đ. STANKOVIĆ, S. BOJIĆ, D. AVDEJEV: »Konceptija organizacije održavanja postrojenja i opreme lanca hidroelektrana na Dravi i Muri«, studija IE, Zagreb, 1986.
- [6] M. BLAŽIČKO, S. BOJIĆ, Đ. STANKOVIĆ: »Preliminarni izvještaj o prijedlogu organizacije održavanja na Dravi i Muri u SRH«, IE, Zagreb, 1987.



#### A MODERN CONCEPT OF GROUP HPP's MAINTENANCE

In the paper is presented a modern concept of maintenance of objects, systems and equipment in HPP as a result of remote survey and control of several HPP's on a river.

#### СОВРЕМЕННЫЙ ПОДХОД К ОБСЛУЖИВАНИЮ ГРУППЫ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ВОДОСБОРНОМ БАСЕЙНЕ

Объединением электростанций в систему дистантного надзора и управления, а также управление из центра каскада электростанций одного водотока или водосборного бассейна вызывает необходимость в создании новой системы и организационном обслуживании объектов, установок и устройств.

Naslov pisaca:

**Srećko Bojić, dipl. inž.**  
**Miroslav Blažičko, dipl. inž.**  
**Đuro Stanković, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb,**  
**Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1988-05-26

#### MODERNE WARTUNG DER WASSERKRAFTWERKE

Mit dem Verbinden der Kraftwerke in ein System der Fernüberwachung und Fernsteuerung sowie der Steuerung aus der Kraftwerkette in einem Wasserlauf oder Zusammenfluß zeigt sich das Bedürfnis nach einem neuen System und der Organisation der Einrichtung der Anlage.

# DOPRINOS SIGURNOSTI I RASPOLOŽIVOSTI NE KRŠKO PROVEDBOM POGONSKIH ISPITIVANJA

Marino Balog — Vladimir Bradač — Ratko Vojvodić, Zagreb

UDK 621.039.58.004

STRUČNI RAD

U članku je dan prikaz aktivnosti Instituta za elektroprivredu u provedbi pogonskih ispitivanja NE Krško, koja se obavljaju svake godine za vrijeme obustave radi izmjene goriva. Pogonska ispitivanja treba da provjere stanje komponenata i sistema NE Krško da bi se pravodobnim, korektivnim akcijama omogućilo održavanje sigurnosti i raspoloživosti objekta na željenoj razini. Također je prikazana računarska podrška u pripremi, provedbi i obradi rezultata ispitivanja.

**Ključne riječi:** nuklearna elektrana, pogonska ispitivanja bezrazornim metodama, sigurnost i pouzdanost pogona.

## 1. UVOD

Pogonska ispitivanja cjevovoda i komponenata NE Krško provode se periodički, u toku redovnih godišnjih obustava radi izmjene goriva, a cilj im je utvrđivanje stanja ispitivane opreme i, na temelju toga, ocjena sposobnosti za nastavak sigurnoga i pouzdanog rada, odnosno poduzimanje pravodobnih korektivnih akcija da bi se sigurnost i pouzdanost pogona održala na željenoj razini. Ispitivanja se provode bezrazornim metodama, u programom utvrđenom opsegu, na uzorku komponenata i cjevovoda koji su projektom klasifikacijom svrstani u kategorije »od utjecaja na sigurnost« rada nuklearne elektrane.

Osnova za ocjenu sposobnosti nastavka sigurnoga i pouzdanog rada jest usporedba s početnim stanjem koje je, prema programu, snimljeno prije puštanja elektrane u pogon, i kriterijima prihvatljivosti utvrđenim referentnom regulativom za pojedine bezrazorne metode.

U članku je dan kratak prikaz aktivnosti Instituta za elektroprivredu u provedbi pogonskih ispitivanja, od pripreme programa ispitivanja preko provedbe ispitivanja do evaluacije rezultata i ocjene stanja komponenata i sistema.

Dosadašnjom provedbom pretpogonskih i pogonskih ispitivanja u toku pet dosada obavljenih izmjena goriva Institut je stekao veliko iskustvo u obavljanju takvih poslova i izobrazio velik broj stručnjaka koji mogu kompetentno obaviti ispitivanja i ocijeniti stanje odnosno predložiti mjere za uklanjanje neprihvatljivih stanja.

## 2. PROGRAM ISPITIVANJA

Kao što je poznato, Nuklearna elektrana Krško izrađena je prema američkoj regulativi. To se posebno

odnosi na strojarske komponente i sisteme izrađene prema zahtjevima propisa ASME »Boiler and Pressure Vessel Code« Section III »Nuclear Power Plant Components« i ostalih sekcija na koje se poziva sekcija III. Za provedbu pogonskih ispitivanja nuklearnih elektrana u SAD je mjerodavna sekcija XI »Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components«, koja se pak poziva na bezrazorne metode propisane u sekciji V »Nondestructive Examination«. Primjena tako sistematiziranih zahtjeva u SAD propisana je za svakog vlasnika nuklearne elektrane, a propisuje ju NRC — Nuklearna regulatorna komisija. Dokument koji propisuje i opisuje mjere sigurnosti, za NE Krško FSAR (Konačni sigurnosni izvještaj), također je baziran na spomenutoj regulativi. Na taj se način i zahtjevi za provedbu pogonskih ispitivanja oslanjaju na spomenute ASME-propise.

ASME sekcija XI propisuje specifična područja ispitivanja i sisteme odnosno komponente na kojima se provode ispitivanja, i to u toku cijeloga predviđenog radnog vijeka elektrane. Također propisuje:

- opće zahtjeve — izbor komponenata obuhvaćenih ispitivanjem, opseg ispitivanja, kvalifikaciju osoblja za provedbu ispitivanja i evaluaciju rezultata.
- posebne zahtjeve s obzirom na metodu ispitivanja, kriterije isključivanja pojedinih komponenata iz opsega ispitivanja te zahtjeve za komponente klase 1, 2. i 3, te pumpe i ventile.

Osim zahtjeva navedenih u ASME B&PVC, sekcija XI za provedbu ispitivanja u NE Krško, primjenjuju se i preporuke Nuklearne regulatorne komisije SAD, (US-NRC), koje dopunjavaju zahtjeve ASME-propisa.

Na temelju zahtjeva regulative definira se program ispitivanja koji će se primjenjivati u toku cijeloga radnog vijeka elektrane. Program se počeo primjenjivati još prije puštanja elektrane u rad da bi se utvrdilo početno stanje odnosno dobili podaci koji će pomoći pri ocjeni stanja u budućim ispitivanjima. Vrlo

je važno da se metode i postupci primijenjeni u toku pretpogonskih ispitivanja koriste i kانسije, pri provedbi pogonskih ispitivanja radi lakše mogućnosti usporedbe odnosno evaluacije rezultata. Naravno, to treba shvatiti uvjetno jer napredak tehnike bezrazornih ispitivanja vodi usavršavanju metoda ili primjeni novih spoznaja koje je nužno uvažiti.

Za NE Krško odabran je program ispitivanja »B«, prema ASME B&PVC, sekcija XI, koji cijeli radni vijek elektrane dijeli na četiri intervala po 10 godina i u svakom intervalu predviđa ispitivanje cjelokupnog opsega ispitanog pretpogonskim ispitivanjima.

Program ispitivanja za prvi 10-godišnji interval rada NE Krško pripremio je Instituta za elektroprivredu u skladu sa spomenutim zahtjevima, a primijenjen je u pretpogonskom ispitivanju i u pet dosadašnjih pogonskih ispitivanja.

### 3. PROVEDBA ISPITIVANJA

Ispitivanja se mogu podijeliti u nekoliko zasebnih cjelina koje se mogu obavljati praktički neovisno jedna o drugoj, a sasvim su specifične problematike. To su:

- ispitivanja reaktorske posude i njezinih unutrašnjih struktura; obavljaju se daljinski upravljanom ultrazvučnom i vizualnom opremom s unutrašnje strane posude
- ispitivanja cijevnog snopa generatora pare metodom vrtložnih struja
- ispitivanja ostalih komponenata i cjevovoda metodama bez razaranja (ultrazvukom, penetrantima, magnetskim česticama, vizualno)
- ispitivanja propuštanja zaštitnog plašta (kontejnmenta) i njegovih penetracija.

Valja napomenuti da ispitivanje reaktorske posude s unutrašnje strane daljinski upravljanom opremom još dosada nije obavljeno, a prvo takvo ispitivanje predviđa se za ovogodišnji remont.

Pogonska se ispitivanja po pravilu obavljaju u toku redovnih obustava radi izmjene goriva, pa su stoga vremenski ograničena, a neke su aktivnosti i na kritičnom putu remontnih radova. Stoga je neobično važna dobra priprema i organizacija provedbe ispitivanja, a posebno:

- dobra izvježbanost i obučenost osoblja koje provodi ispitivanja
- provjera ispravnosti i baždarenje opreme prije ispitivanja
- ispravno prikupljanje svih podataka koji mogu pomoći pri evaluaciji rezultata ispitivanja
- provedba mjera osiguranja kvalitete.

Osoblje koje provodi ispitivanja mora udovoljavati, točno propisanim uvjetima, i to stručnom osposobljenošću i općim zdravstvenim sposobnostima. Nužan trening osoblja i obnavljanje znanja provode se u sklopu priprema za ispitivanje, svake godine prema posebno pripremljenim postupcima.

Aktivnosti pogonskog ispitivanja praćene su provedbom mjera za osiguranje kvalitete koje su obavezne za sve aktivnosti na komponentama i sistemima NE Krško koje utječu na sigurnost rada elektrana. Tim se mjerama stječe odgovarajuće pouzdanje da su radovi izvedeni na zahtjevan odnosno kvalitetan način. Za tu je svrhu u Institutu za elektroprivredu razvijen sistem osiguranja kvalitete s odgovarajućim postupcima kojima se verificira kvaliteta obavljenih aktivnosti.

Aktivnosti osiguranja kvalitete u provedbi pogonskih ispitivanja u osnovi su podijeljene na tri faze obavljanja aktivnosti:

- pripreme za provedbu ispitivanja
- provedba ispitivanja
- priprema završnih izvještaja.

U fazi priprema za provedbu pogonskih ispitivanja QA — služba Instituta nadgleda ispunjenje preduvjeta za kvalitetno obavljanje ispitivanja — prati pripremu postupaka za ispitivanje, pripremu planova i programa ispitivanja, trening i obuku osoblja za provedbu ispitivanja, provjeru i kalibraciju ispitnih uređaja i ispunjenje sličnih preduvjeta. U toku provedbe pogonskih ispitivanja QA direktno nadzire rad osoblja koje obavlja ispitivanje (prema postupkom utvrđenom uzorku) te tako provjerava provode li se aktivnosti u skladu sa za to predviđenim postupkom. Konačno, u fazi izrade završnog izvještaja o provedenim ispitivanjima QA organizira i vodi proces verifikacije pripremljenog izvještaja.

Sama ispitivanja bezrazornim metodama u najvećem se broju slučajeva obavljaju u otežanim uvjetima. To se prije svega odnosi na prisutnost ionizirajućeg zračenja u području ispitivanja i zaštitu odnosno vremenska ograničenja na boravak u takvim prostorima. Te okolnosti dodatno naglašavaju važnost dobre pripreme ispitivanja i obučenosti osoblja da bi se ispitivanja obavila kvalitetno i uz maksimalnu zaštitu osoblja.

### 4. RAČUNARSKA PODRŠKA

U sklopu mogućih poboljšanja rada na području planiranja, prikupljanja rezultata ispitivanja, obrade podataka i izvještavanja počela je primjena elektroničkih računala te razvoj baza podataka i aplikacijskih programa za potrebe provedbe pogonskih ispitivanja. Zbog specifičnosti provedbe ispitivanja i obrade rezultata primjena elektroničkih računala za prikupljanje i obradu podataka pri pogonskim ispitivanjima zasada se dijeli na dvije osnovne grupe:

- prikupljanje, analiza i obrada podataka o ispitivanjima cijevi generatora pare metodom vrtložnih struja
- baza podataka o pogonskim ispitivanjima komponenata i cjevovoda sigurnosnih sistema.

Pri ispitivanju cijevi generatora pare upotrebu kompjutera i kompjutorske obrade podataka omogućio je razvoj i nabava suvremenog sistema za ispitivanje, koji ima dio za prikupljanje podataka upravljani mik-

roprocesorom te minikompjutor za analizu i obradu podataka. Na taj je način omogućeno brže i kvalitetnije ispitivanje i smanjena mogućnost greške operatera. Razvijeni programi omogućavaju kvalitetnu analizu podataka, praćenje izvršenja plana i statističku obradu podataka, uz različite mogućnosti prikazivanja rezultata ispitivanja.

Ostale aktivnosti pogonskih ispitivanja, pri čemu se ne misli na ispitivanja reaktorske posude s unutrašnje strane i provedbu ispitivanja nepropusnosti kontejnmenta, nisu automatizirane već se obavljaju ručno, a tako se i registriju podaci. Stoga se primjena kompjutora na tom području svodi na formiranje baze podataka u kojoj su podaci o 10-godišnjem programu ispitivanja, tehnički podaci o objektima ispitivanja, dotada obavljena ispitivanja i evidencija o raportirajućim indikacijama utvrđenim u toku dotadašnjih ispitivanja. Aplikacijski programi omogućuju da iz baze podataka dobijemo određene informacije u željenom obliku, npr:

- ispis sumarnoga godišnjeg plana ispitivanja
- detaljan plan i podatke za ispitivanje pojedinog objekta
- pregled izvršenja plana i razne druge informacije.

Primjena informatičke znanosti i upotreba električnih računala u provedbi pogonskih ispitivanja bitno je olakšala pripremu i provedbu pogonskih ispitivanja, a posebno je umanjila mogućnost grešaka koje se pripisuju ljudskom faktoru te tako pridonijela povećanju kvalitete pogonskih ispitivanja.

## 5. ZAKLJUČAK

Pogonska ispitivanja komponenata i sistema nuklearne elektrane Krško vrlo su važna i kompleksna aktivnost koja izravno pridonosi očuvanju sigurnosti i pouzdanosti rada nuklearne elektrane na zahtjevanom nivou. Institut za elektroprivredu ulaže konti-

nuirane napore da školovanjem osoblja i stalnim praćenjem i primjenom novih spoznaja s područja problematike ispitivanja i sigurnosti nuklearnih elektrana uopće održi odnosno poboljša kvalitetu tih aktivnosti te tako bitno pridonese sigurnome i pouzdanom pogonu našega nuklearnog prvijenca.

### CONTRIBUTION TO SAFETY AND RELIABILITY OF NPP »KRŠKO« BY OPERATIONAL EXAMINATIONS

In the paper is presented a activity in »Institut za elektroprivredu« on operational examinations in NPP »Krško«, that are performed each year during refueling. Operational examinations in NPP are performed on systems and components and with necessary corrective actions result in increased safety and reliability of the plant.

### BEITRAG ZUR SICHERHEIT UND BEREITSCHAFT DES NE KRŠKO DURCH BETRIEBSKONTROLLEN

Im Artikel wird die Aktivität des Instituts für Elektrowirtschaft bei Betriebskontrollen in dem NE Krško die jedes Jahr während der Stilllegung wegen Brennstoffwechsel durchgeführt werden. Die Betriebskontrollen sollten den Zustand der Komponenten und das System überprüfen um durch rechtzeitige Verbesserungsaktionen die Erhaltung der Sicherheit und Bereitschaft der Objekte auf der gewünschten Ebene zu erhalten.

### ВКЛАД В НАДЕЖНОСТЬ И РАСПОЛАГАЕМЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ АЭС »КРШКО« ПРОВЕДЕНИЕМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

В статье дан обзор деятельности Института электрохозяйства при проведении эксплуатационных испытаний на АЭС »КРШКО«, производимых ежегодно во время остановки для замены топлива. Эксплуатационными испытаниями необходимо проверить состояние составляющих и системы АЭС »Кршко«, чтобы своевременным коррективным действием сделать возможным сохранение надежности и располагаемых возможностей объекта на желательном уровне.

Naslov pisaca:

**Marino Balog, dipl. inž.**  
**Vladimir Bradač, dipl. inž.**  
**Ratko Vojvodić, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb,**  
**Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-05-24

# ZBRINJAVANJE RADIOAKTIVNOG OTPADA NUKLEARNIH ELEKTRANA

Jadranko Karuza, Zagreb

UDK 621.039.7

PREGLEDNI RAD

Oslobadajući čovjeka mnoštva problema i olakšavajući mu život, nove i napredne tehnologije, ujedno donose i neke nove probleme. Tako se uz proizvodnju električne energije u nuklearnim elektranama javlja i potreba za zbrinjavanjem radioaktivnog otpada iz tog procesa. U članku je prikazan proces zbrinjavanja radioaktivnog otpada iz nuklearnih elektrana od njegova nastajanja do konačnog odlaganja. Opisani su izvori radioaktivnog otpada u modernoj nuklearnoj elektrani, pri čemu su obrađeni primjeri iz konkretne i reprezentativne nuklearne elektrane — NE Krško (632 MWe PWR). Naglašen je nizak nivo radioaktivnosti u NE Krško (oko deset puta niži od konzervativnih vrijednosti iz analiza sigurnosti), što je također reprezentativno za većinu nuklearnih elektrana u svijetu, a može se povezati s kvalitetnim »ljudskim faktorom«. U nastavku članka opisano je trajno odlaganje radioaktivnog otpada s naglaskom ne toliko na specifična rješenja, ovisna o lokaciji odlagališta i vrsti otpada, već više na osnovne kriterije koji su i međunarodno prihvaćeni i koje treba primijeniti za trajno odlaganje radioaktivnog otpada iz nuklearnih elektrana. Detaljno su prikazani kriteriji zaštite od zračenja, zaštite prirodne okoline čovjeka, pravne i društvene prihvatljivosti, fizičke zaštite i sigurnosti pri transportu radioaktivnog materijala.

**Ključne riječi:** radioaktivnost, radioaktivni otpad, nuklearne elektrane.

## UVOD

Čovjek je u svojoj prirodnoj sredini oduvijek izložen djelovanju ionizirajućeg zračenja. Ionizirajuće zračenje Sunca, kozmičko zračenje, prirodni radioaktivni materijal u zemlji, zračenje kuća u kojima stanujemo, zgradama u kojima radimo, ono u hrani i piću koje konzumiramo, radioaktivne čestice i plinovi u zraku koji udišemo te radioaktivni materijal u našim tijelima — sastavni su dio naše svakodnevnice.

Korištenje prirodnih i umjetnih izvora ionizirajućeg zračenja u toku dvadesetog stoljeća bitno je pridonjelo kvaliteti življenja i također postalo dio svakidašnjice. Primjena izvora ionizirajućeg zračenja u medicini (rendgenska dijagnostika, rendgenska terapija i niz novih primjena), industriji (industrijska radiografija i primjena u procesnoj tehnici i automatici), kao i primjena ili postojanje umjetnih izvora ionizirajućeg zračenja i u svakodnevnom životu (radioaktivni gromobrani, ionizacijski detektori dima, televizija, svjetleći instrumenti i monitori i slično) pridonose produženju života i povećanju kvalitete čovjekova života.

Naučnim istraživanjima (istraživanjima svojstava i primjene radioizotopa, istraživačkih reaktora i slično) počela je i važna primjena u energetici (nuklearne elektrane, nuklearne toplane), a time je riješen problem opskrbe industrijskog društva osnovnom sirovinom — energijom.

Civilizacijske tekovine bitno su pridonijele povećanju kvalitete življenja današnjeg čovjeka, produženju životnog vijeka i povećanom stupnju materijalnog blagostanja. No, one donose i određene probleme čija je složenost proporcionalna stupnju napretka. Jedan od njih je i otpadni materijal industrijske civilizacije.

U mnogim industrijskim procesima u svakodnevnoj primjeni nastaju velike količine otpadnog materijala opasnog za zdravlje ljudi (otrovni otpadni materijal, kancerogene tvari i slično), a mogu izazvati i štetne promjene u prirodnoj okolini čovjeka (ugljik-dioksid u atmosferi iz procesa izgaranja, dušikovi spojevi itd.). Mnoge od tih opasnih tvari ne raspadaju se i ostaju permanentno opasne za čovjeka, pa je i problem njihova trajnog uklanjanja iz prirodne čovjekove okoline složeniji.

Kao i u svakoj drugoj industriji, i proizvodnja električne energije nuklearnom fisijom u nuklearnim elektranama opterećena je nastajanjem otpadnog materijala. Budući da je taj otpadni materijal iz procesa proizvodnje električne energije u nuklearnim elektranama izvor ionizirajućeg zračenja, problematika njegova uklanjanja iz procesa, prerade i trajnog uklanjanja iz prirodne čovjekove okoline svodi se na problematiku rada s radioaktivnim otpadnim materijalom.

## IZVORI RADIOAKTIVNOG OTPADA U NUKLEARNOJ ELEKTRANI

Osnovni uzrok i izvor ionizirajućeg zračenja u procesu proizvodnje električne energije u nuklearnim elektranama je nuklearno gorivo. Ono sadrži fisibilne elemente i njihove izotope koji su prirodno radioaktivan materijal, i u procesu njihove prerade, od vađenja ruda do ulaganja gotovih elemenata nuklearnog goriva u jezgru reaktora nuklearne elektrane stvara se radioaktivni otpadni materijal ili se koncentriraju na određenim mjestima.

Na primjeru NE Krško prikazat ćemo količine i tipove radioaktivnoga otpadnog materijala koji se stva-

raju u današnjim modernim nuklearnim elektranama i reprezentativni su za većinu nuklearnih elektrana u svijetu.

Nuklearna elektrana Krško (664 MWe — PWR) redovno radi od 1981. godine i proizvodi oko 0,5 GWg električne energije godišnje. Pri njezinim radu nastaju plinoviti, tekući i kruti radioaktivni otpaci.

Plinoviti radioaktivni izotopi nastaju u primarnom krugu nuklearne elektrane kao posljedica fisije U-235. Pojavljuju se u parnoj fazi spremnika za volumnu kontrolu primarnog hladioca, a u manjim količinama i u isparivaču za recirkulaciju bora, isparivaču za preradu tekućega radioaktivnog otpada, sabirnicima za recirkuliranje borne kiseline te spremniku za dreniranje primarnog hladioca. Za odstranjivanje radioaktivnih plinova iz primarnog kruga NE Krško zadužen je sistem za procesiranje otpadnih plinova.

Sistem za procesiranje otpadnih radioaktivnih plinova djeluje na načelu recirkulacije dušika. Dušik, tjeeran kompresorima, istiskuje smjesu vodika i plinovitih fisijjskih proizvoda iz spremnika volumne kontrole primarnog hladioca. Smjesa vodika, dušika i fisijjskih proizvoda prevodi se preko kompresora u katalitičku peć u koju se dodaje dovoljna količina kisika koja reducira vodik na manje od 0,006 % sagorijevanjem u vodenu paru. Pošto se vodena para odstrani, preostali se radioaktivni plinovi crpkom prevode u spremnike za skupljanje i skladištenje radioaktivnih plinova.

Kapacitet spremnika za skupljanje i skladištenje radioaktivnih plinova dovoljan je za vijek trajanja elektrana (40 godina), pa nije predviđeno planirano ispuštanje radioaktivnih plinova u okolinu.

Radioaktivni otpad NE Krško u krutom obliku takav je već zbog samoga proizvodnog procesa u manjim količinama. U tu kategoriju otpada pripada kontaminirana zaštitna odjeća, obuća i ostala zaštitna oprema (navlake za cipele, rukavice, plastični i papirni kombinezoni), kontaminirani različiti plastični i krpeni otpad te filtri iz tehnoloških i ventilacijskih sistema i drugo. Veće količine te vrste radioaktivnog otpada javljaju se pri radovima održavanja sistema i opreme nuklearne elektrane. Tada u kruti otpad pripadaju i dijelovi zamijenjene kontaminirane opreme. Kruti radioaktivni otpad NE Krško skuplja se u plastične vreće na mjestu nastanka i na punktovima radiološke kontrole, odakle se prenosi u postrojenje za preradu i kondicioniranje radioaktivnog otpada.

Glavninu radioaktivnog otpada u NE Krško čini radioaktivni materijal u procesnim tekućinama. Za odvajanje i preradu radioaktivnog materijala iz procesnih tekućina u NE Krško se primjenjuju metode ionske izmjene, evaporacije i separacije krute tvari (filtriranje). Pritome primjena određene metode ovisi o izvoru i čistoći procesne tekućine s radioaktivnim materijalom, njezinoj kontaminaciji radioaktivnim materijalom i o radioaktivnome materijalu koji se želi ukloniti iz procesa.

Metode ionske izmjene prikladne su za kontinuirano odstranjivanje radioaktivnih tvari iz primarnog kru-

ga nuklearne elektrane. U sistemu za volumnu i kemijsku kontrolu ugrađeni su demineralizatori s ionskim izmjenjivačima preko kojih kontinuirano prelazi dio tekućine primarnog kruga. Nakon zasićenja ionskih masa one se zamjenjuju, a zadržani radioaktivni materijal, zajedno s istrošenim masama, postaje jedan od izvora radioaktivnog materijala koji ide na preradu i koncentriranje.

Evaporacija s odstranjivanjem radioaktivnog taloga i ispuštanja evaporata primjenjuje se na procesnim tekućinama koje su kemijski čiste i mogu se u obliku dekontaminirane vode ispustiti iz nuklearne elektrane. Tekući radioaktivni otpad iz te skupine nastaje zatvorenim dreniranjem i curenjem tehnoloških sistema i opreme primarnog kruga. Te se tekućine skupljaju u posebnome sabirnom spremniku za tekući otpad zapremnine 36 m<sup>3</sup>.

Skupljena tekućina iz tog sabirnog spremnika crpkom se transportira u isparivač, odakle se isparivanjem reducira volumen radioaktivnog otpada. Isparivač ima kapacitet prerade 3,4 m<sup>3</sup>/h kontaminirane vode.

Koncentrat evaporatora je koncentrirani tekući radioaktivni otpad koji se crpkama odvodi u postrojenje za preradu i kondicioniranje radioaktivnog otpada. Kondenzat evaporatora djelomično je ili potpuno dekontaminirana voda koja se crpkom prebacuje u posebni monitor — spremnik. U njemu se radiokemijskim analizom utvrđuje stupanj kontaminiranosti kondenzata. Ako kontaminiranost vode zadovoljava kriterij za ispuštanje u okolinu (kvaliteta pitke vode), ta se dekontaminirana voda miješa s vodom u bitnoj rashladnoj vodi NE Krško i tako ispušta u okolinu. Nije li kriterij čistoće vode za ispuštanje zadovoljen, voda iz monitor — spremnika vraća se na dekontaminiranje ionskom izmjenom i taj se proces ponavlja do zadovoljenja kriterija za ispuštanje.

Evaporacija s odstranjivanjem radioaktivnog koncentrata i recikliranjem evaporata primjenjuje se u procesu odvajanja borne kiseline iz primarnog hladioca. U posebnom se evaporatoru koncentrira borna kiselina, a kondenzat se vraća u primarni krug. U NE Krško predviđena je i ponovna upotreba koncentrata u obliku borne kiseline, no on se uglavnom odstranjuje iz sistema i odvodi u postrojenje za preradu i kondicioniranje radioaktivnog otpada.

Ostale tekućine koje sadrže radioaktivne tvari u NE Krško (otvorene drenaže podova, tekućine nastale pri dekontaminaciji ispiranjem opreme podova i zaštitne odjeće te tekućine iz praonica odjeće i prostora za tuširanje) karakterizirane su manjom kontaminacijom i relativnom kemijskom neutralnošću. Te se tekućine skupljaju, ovisno o izvoru, u jednome od dva spremnika, i to spremnik za skupljanje podnih drenaža ili u spremnik otpadnih tekućina iz praonica. Otpadne tekućine iz praonica najčešće se mogu bez posebne prerade ispuštati u okolinu jer zadovoljavaju radiološke i kemijske uvjete za kvalitetu otpadnih voda, pa se nakon analize u monitor — spremniku obično i ispuštaju. Veći dio skupljanje tekućine od podnih drenaža potječe od pranja podova u elektra-

ni, a manji od curenja opreme ili uzimanja uzoraka. Ovisno o koncentraciji radioaktivnih materijala u tim tekućinama, one se ili prerađuju evaporacijom i/ili ionskom izmjenom, ili pak ispuštaju.

U procesu prerade i kondicioniranja radioaktivnog otpada u NE Krško primjenjuju se različite tehnologije i metode. Izbor tehnologije kondicioniranja radioaktivnog otpada ovisi o više faktora — o agregatnom stanju otpada, kemijskim i radiokemijskim karakteristikama te količini i dinamici radioaktivnog otpada. Cilj kondicioniranja radioaktivnog otpada u NE Krško jest njegovo pretvaranje u kruto stanje, pakovanje u standardne ili zaštićene 200-litarske bačve i stvaranje barijere za ispuštanje radioaktivnog materijala u prirodnu čovjekovu okolinu.

Istrošene mase ionskih izmjenjivača transportiraju se crpkom, vodenim tokom, od demineralizatora od sabirnog spremnika za ionske mase, u kojemu se ostavljaju i što dulje skupljaju da bi se raspadom kratkoživućih radioizotopa smanjila njihova ukupna aktivnost. Nakon određenog perioda odležavanja, ionske se mase iz spremnika duškom tlače u pripremljene i vakuumirane bačve, koje se nakon punjenja zatvaraju i transportiraju u privremeno skladište radioaktivnog otpada pri NE Krško. Bačve za skladištenje istrošenih ionskih masa imaju unutrašnji betonski štit u kojemu je željezna posuda (unutrašnja bačva) za prihvatanje ionskih masa.

Koncentrat evaporatora transportira se crpkama do postrojenja za preradu i kondicioniranje radioaktivnog otpada, gdje se solidificira ubrizgavanjem u vermikulit-cementnu matricu u 200-litarskim bačvama. Bačve se pune smjesom vermikulita i cementa a u vertikalnoj se osi bačve smješta injektor. Pošto se u bačvi stvori potlak od 600 mm Hg, otvaranjem ventila u bačvu se ubrizga tekući radioaktivni medij. On se u bačvi veže s cementom u čvrsti betonski blok, a vermikulit preuzima višak vlage i zapunjava sve pore. Nakon zatvaranja i te se bačve privremeno skladište u skladištu za radioaktivni otpad NE Krško.

Radioaktivni otpad, koji u već krutom obliku dolazi u postrojenje za preradu i kondicioniranje radioaktivnog otpada u NE Krško, možemo podijeliti na nekoliko vrsta o kojima ovisi način prerade i kondicioniranja.

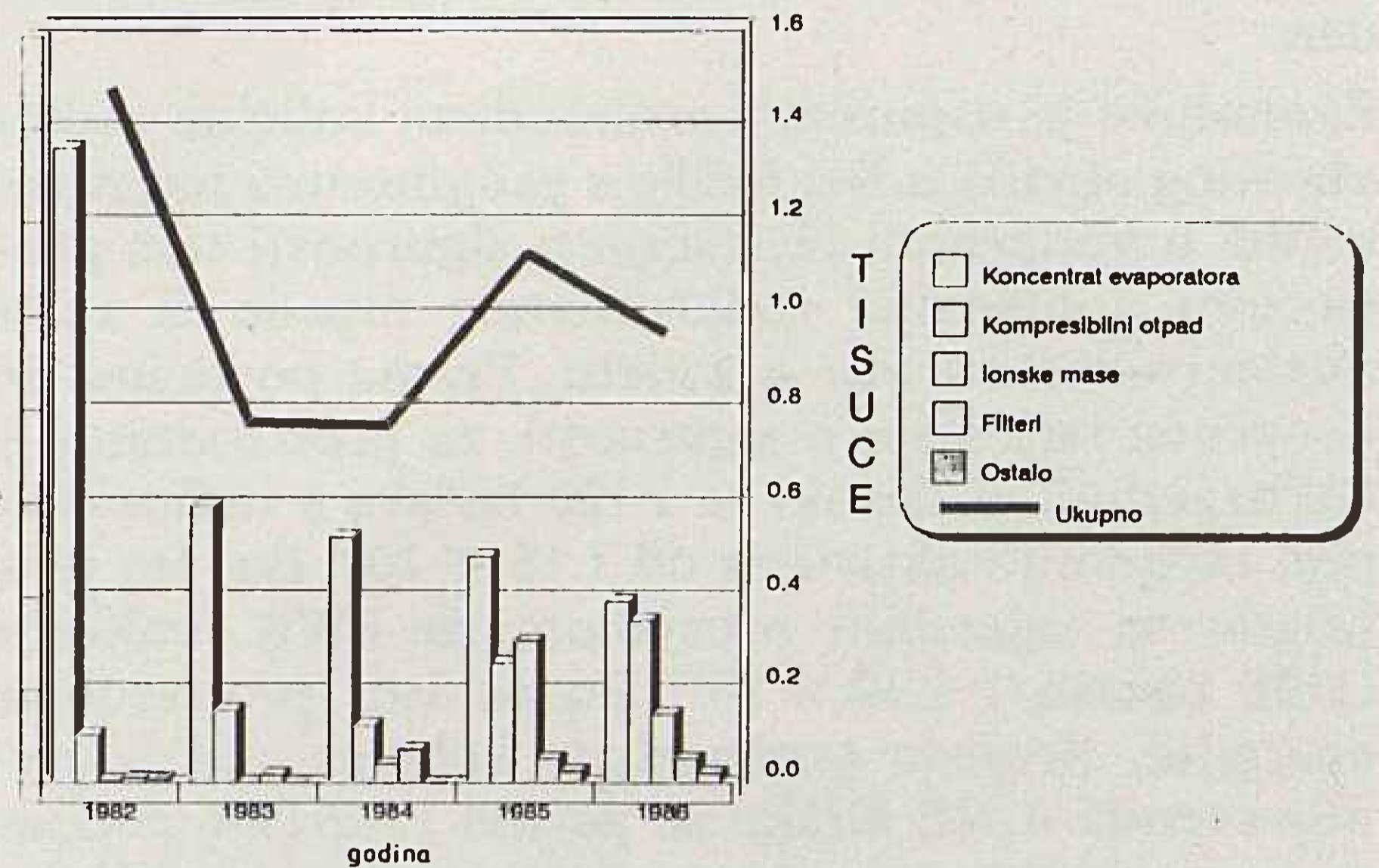
Kruti kompresibilni radioaktivni otpad, sakupljen u plastičnim vrećama s raznih točaka elektrane, ulaže se u standardne 200-litarske bačve i prešom tlači tlakom 100 bara. Napunjena bačva s krutim kompaktnim radioaktivnim otpadom zatvara se i također otprema u privremeno skladište za radioaktivni otpad u NE Krško.

Kruti nekompresibilni otpad niske aktivnosti pakira se u standardne bačve i nakon zatvaranja skladišti, a kruti se nekompresibilni otpad srednje aktivnosti (filtri i slično) pakira u bačve s unutrašnjim betonskim štitom i pohranjuje u njima.

Sve bačve s radioaktivnim otpadom označene su kao radioaktivni materijal, nose oznaku o vrsti i kategoriji radioaktivnog otpada i datum pakiranja. Bačve s kompresibilnim radioaktivnim otpadom pri skladiš-

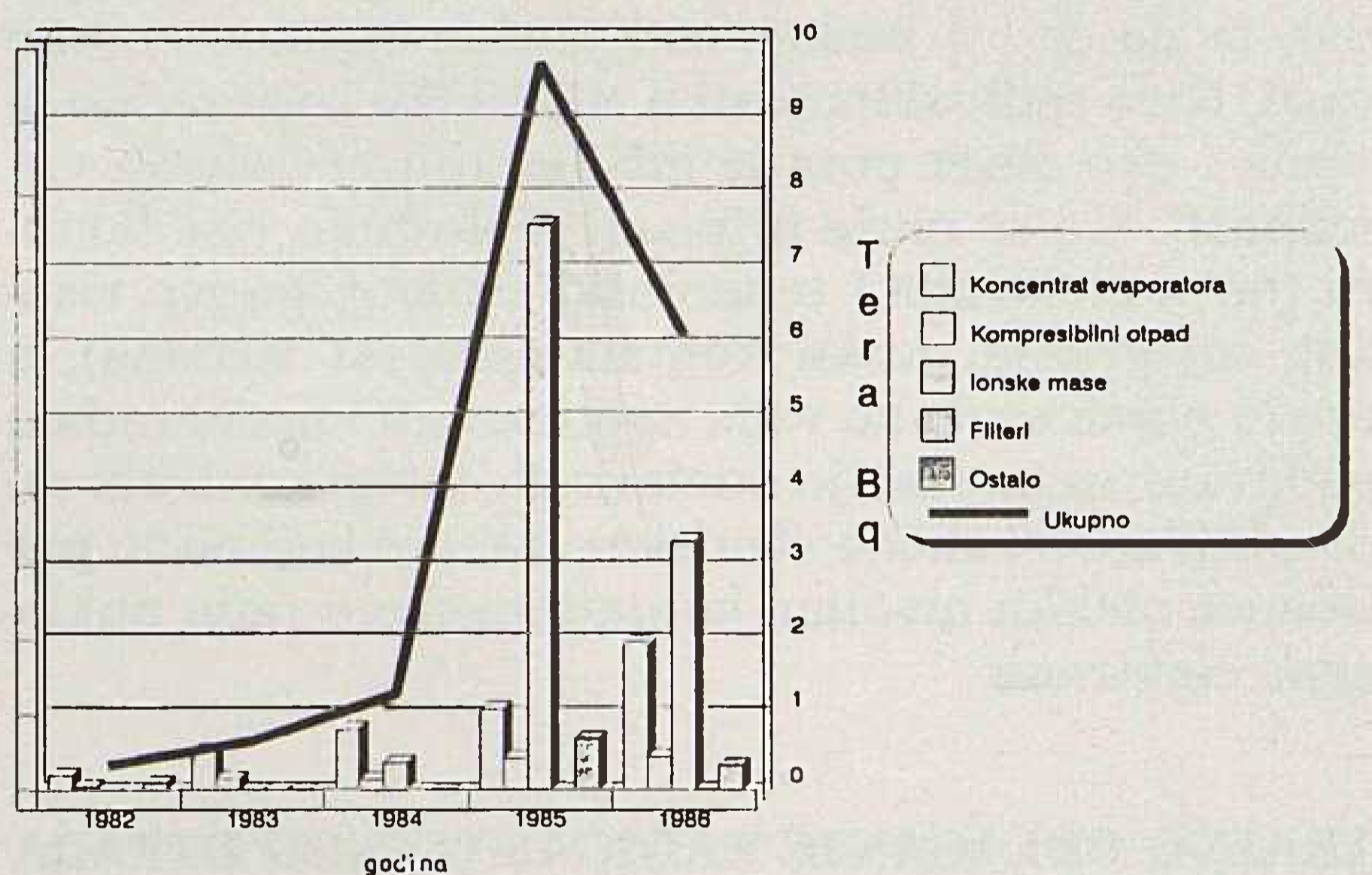
tenju u NE Krško odvojene su od ostalih bačava i računa se s mogućom kasnijom redukcijom volumena tog otpada nekom metodom za redukciju volumena (kompresiju, spaljivanje itd.).

Kapacitet skladišta radioaktivnog otpada u NE Krško je oko 9 000 bačava. Proizvedene količine radioaktivnog otpada u NE Krško do kraja 1986. godine pokazane su kao broj bačava po tipu ovisnome o izvoru otpada na slici 1.



Slika 1. Broj bačava s radioaktivnim otpadom

Na slici 2. pokazana je aktivnost proizvedenog radioaktivnog otpada po godinama i tipu ovisnom o izvoru otpada.



Slika 2. Aktivnost radioaktivnog otpada

Kao što se iz slika vidi NE Krško i nakon pet godina rada nije dosegla određenu ravnotežu u proizvodnji i preradi radioaktivnog otpada. Prve godine rada karakterizirane su relativno velikim brojem bačava radioaktivnog otpada male aktivnosti, osobito u razdoblju probnog rada 1981. i 1982. godine. U tom razdoblju ispitivanja sistema elektrane i čestih povećanja snage, ponovnih zaustavljanja i niza planiranih i neplaniranih ispada generirane su velike količine niskoaktivne otpadne vode s relativno malo radioaktivnih izotopa zbog niske kontaminacije sistema i relativno svježega i intaktnoga goriva. Prerada tih otpadnih voda uglavnom se obavlja pomoću evaporatora i količine radioaktivnog otpada koji je potjecao od taloga evaporatora. One su velike volumenom, a niske aktivnošću. Razlog te pojave je određeni faktor koncentracije koji se može postići evaporacijom u raz-

umnom vremenu za preradu radioaktivnih otpadnih tekućina. Godine 1983. i 1984. jesu godine normalnog rada elektrane i stabilne proizvodnje radioaktivnog otpada, a naglo povećanje količina radioaktivnog otpada u 1985. godini može se povezati sa znatnim radovima odražavanja NE Krško koji su tada izvođeni. U toj je godini osobito važan porast količine i aktivnosti istrošenih ionskih smola u radioaktivnom otpadu, što se može povezati s kompletnim programom zamjene istrošenih ionskih masa koji je tada proveden.

Zanimljivo je usporediti proizvedene količine radioaktivnog otpada u NE Krško s prognozama napravljenima u konačnom izvještaju o sigurnosti te s prosječnim količinama radioaktivnog otpada iz rada nuklearnih elektrana u svijetu. Prema podacima iz konačnog izvještaja o sigurnosti, za proizvodnju 0.5 GWh/godinu očekivalo se 1 120 bačava s radioaktivnim otpadom i aktivnost od  $1.15 \times 10^{14}$  Bq, što je u skladu sa svjetskim prosjekom za PWR reaktore (1138 bačava i  $1.32 \times 10^{14}$  Bq za istu proizvedenu energiju). Stvarno proizvedene količine radioaktivnog otpada u NE Krško za period 1982-1986 godine za istu količinu energije prosječno iznose 1 024 bačava i  $0.363 \times 10^{14}$  Bq.

Vidljivo je da je proizvodnja radioaktivnog otpada u NE Krško volumenom već dosegla svoju ravnotežu vrijednosti (karakteristike nuklearne elektrane i sistema za preradu i kondiciranje radioaktivnog otpada), te da će i u budućnosti možda samo neznatno rasti. Nivo radioaktivnosti u NE Krško izvanredno je nizak i oko deset puta je niži od konzervativnih vrijednosti, što se može pripisati djelovanju više faktora (nova elektrana i tehnološki sistemi, gorivo visokog integriteta, niska kontaminiranost sistema), a među njima svakako valja napomenuti i način rada u elektrani, organizaciju održavanja, stoga kontrolu radioaktivnosti i slične »ljudske« faktore koji bitno pridonose niskim nivoima kontaminacije u radu nuklearne elektrane.

## TRAJNO ODLAGANJE RADIOAKTIVNOG OTPADA

Osnovni kriterij za sigurno trajno odlaganje radioaktivnog otpada jest duljina vremena u kojemu je radioaktivni otpad potrebno efektivno izolirati od čovjeka i spriječiti njegovo širenje u prirodnu čovjekovu okolinu. Za razliku od mnogih drugih štetnih otpadnih materijala, koji trajno zadržavaju svoje opasne osobine, radioaktivni se otpad postepeno raspada i prelazi u neštetne oblike koji ne djeluju na čovjeka. Vrijeme u kojemu je radioaktivni otpad štetan ovisi o vrsti radioizotopa i količini, a osnovna je podjela sadržana već u klasifikaciji radioaktivnog otpada. Za niskoaktivne i srednjeaktivni otpad karakteristična je potreba da se on efektivno izolira od okoline u toku približno 300 godina. To vrijeme pušta rješenja trajnog odlaganja niskoaktivnoga i srednjeaktivnog otpada u površinskim slojevima zemlje i osnovni je parametar pri izboru alternativa za trajno odlaganje te vrste radioaktivnog otpada. Taj je kriterij također

u skladu s preporukama Međunarodne agencije za atomsku energiju. One predviđaju i mogućnost odlaganja niskoaktivnoga i srednjeaktivnog otpada u dubljim, stabilnim geološkim formacijama, no upozoravaju na konzervativnost takvih rješenja koja nisu ekonomska i povezana su s trajnim odlaganjem visokoaktivnog otpada.

Razdoblje izolacije niskoaktivnoga i srednjeaktivnog otpada od 300 godina može biti podijeljeno na nekoliko faza, i to:

- period aktivnog rada na deponiji
- period izolacije deponije
- period monitoringa deponije.

U prvoj fazi rada na odlagalištu radioaktivnog otpada aktivno se radi, radioaktivni se otpad dovozi, prema potrebi preraduje u finalni oblik i odlaže. Taj period ovisi o projektiranom kapacitetu deponije i može iznositi od 30 do 50 i više godina. U drugoj fazi kapacitet deponije je popunjen i on se zatvara i ostaje pod stalnim nadzorom, s izoliranim i s kontroliranim pristupom. Ta faza može trajati 50 ili više godina. U trećoj se fazi radioaktivnost materijala na deponiju već toliko smanji da se može odnustati od stalnog nadzora i kontrole pristupa i provoditi samo periodička kontrola stanja radioaktivnosti u okolini u trajanju koje nadležni organi smatraju potrebnim. Iz prosječnog sastava materijala na deponiju srednjeaktivnog i niskoaktivnog otpada, aktivnost materijala će se nakon 100 godina smanjiti na 1/8 početne vrijednosti.

U takvom konceptu trajnog odlaganja niskoaktivnog i srednjeaktivnog otpada bitno je zadržati i karakteristiku bitni i pri odlaganju na površinskim slojevima zemlje: ako je potrebno taj otpad, uvijek dostupan, može se prikupiti i prema potrebi preraditi ili prevesti na neku drugu lokaciju za trajno odlaganje. Time to rješenje dobiva reverzibilni karakter i zadržava fleksibilnost za promjene u nazorima, politici, tehnološkim rješenjima i drugim promjenama u budućnosti, koje danas ne možemo sagledati.

Rješenje za trajno zbrinjavanje radioaktivnog otpada mora zadovoljiti osnovne kriterije prihvatljivosti, i to:

- kriterije zaštite od zračenja
- kriterije zaštite prirodne čovjekove okoline
- pravne i društvene kriteriji prihvatljivosti
- kriterije fizičke sigurnosti
- kriterije sigurnosti transporta radioaktivnog materijala.

## Zaštita od zračenja

Određeni kriteriji zaštite od zračenja uvjetuju projektiranje, izvedbu i rad u procesu prerade i odlaganja radioaktivnog otpada. Metode i način obrade, skladištenja, transporta i trajnog odlaganja niskoaktivnoga i srednjeaktivnog otpada moraju biti takvi da osoblje koje radi s radioaktivnim otpadom pri obavljanju svojih aktivnosti bude što manje izloženo ionizirajućem zračenju. Pritome treba primijeniti os-



novne principe radiološke zaštite: što veću udaljenost od izvora ionizirajućih zračenja, što kraće vrijeme izlaganja djelovanju ionizirajućeg zračenja i primjenu odgovarajućih štivotva kad god je moguće.

Ti zahtjevi moraju biti primijenjeni već pri projektiranju opreme i sistema za rukovanje, skladištenje, transport i trajno odlaganje niskoaktivnoga i srednjeaktivnog otpada. U razvoju tehnološkog procesa valja planirati akcije, kretanje i zadržavanje osoblja i prikladnom raspodjelom opreme i upravljačkih mehanizama nastojati smanjiti primljene doze. U održavanju opreme i sistema valja predvidjeti stalne ili prijenosne štivotve za smanjivanje brzine doze na radnom mjestu. Osoblje koje radi s radioaktivnim otpadom mora upotrebljavati zaštitna sredstva i sredstva za osobnu dozimetriju. Odgovarajuće službe radiološke zaštite trebaju brinuti o sredstvima za osobnu zaštitu i dozimetriju za opću upotrebu i specijalne poslove.

Osoblje koje radi s izvorima ionizirajućeg zračenja, kakav je niskoaktivni i srednjeaktivni otpad, godišnje ne smije primiti dozu veću od 50 mSv, odnosno tromjesečnu dozu veću do 30 mSv.

Brzina doze na površini paketa ili bačava s radioaktivnim otpadom, ako se materijal prenosi izvan pojedinoga nuklearnog objekta ne smije biti veća od 2 mSv/h, a na udaljenosti 1 m od površine ne smije biti veća od 0,1 mSv/h. Površinska kontaminacija ne smije biti veća od 40 Bq/100 cm<sup>2</sup> za alfa-emitere, odnosno 400 Bq/100 cm<sup>2</sup> za beta i gama-emitere.

### Zaštita prirodne čovjekove okoline

Mnoge zemlje već godinama trajno odlažu radioaktivni otpad niske i srednje aktivnosti u površinskim slojevima zemlje. Postavljeni kriteriji za zaštitu prirodne okoline čovjeka pri takvom načinu odlaganja jesu slijedeći:

čovjeka treba zaštititi od štetnog djelovanja ionizirajućeg zračenja otpadnoga radioaktivnog materijala. Taj će utjecaj biti najbolje utvrđen analizom sigurnosti potencijalnih lokacija odlagališta, a u analizi sigurnosti posebnu pažnju treba pridati utjecaju radioaktivnosti na čovjeka. Kriteriji zaštite čovjeka dani su međunarodnim preporukama i pojedinim nacionalnim propisima.

Lokacija trajnog odlagališta mora biti dobro istražena s obzirom na geološke i hidrološke karakteristike da bi se sa što većom sigurnošću i pouzdanošću moglo odrediti sigurnosne osobine.

Karakteristike lokacije odlagališta moraju biti usklađene s karakteristikama radioaktivnog otpada koji se odlaže, da bi se stvorile prirodne barijere za sprečavanje širenja radioaktivnog materijala. Projektne karakteristike odlagališta također treba uskladiti i, ako je moguće osigurati komplementarnost barijera protiv širenja radioaktivnog materijala.

Poznata ili potencijalna prirodna bogatstva i načina iskorištenja zemljišta oko lokacije odlagališta ne smiju biti ugrožene odlaganjem radioaktivnog otpa-

da. Pri ocjeni utjecaja odlagališta na prirodna bogatstva i način korištenja zemljišta valja uzeti u obzir dugoročnu geološku stabilnost i utjecaj mogućih klimatskih promjena.

Budući da je odlagalište radioaktivnog otpada u površinskim slojevima relativno lako pristupačno čovjeku, mjere kontrole pristupa treba predvidjeti za razdoblje u kojemu odloženi radioaktivni otpad može biti opasan za ljude ili životinje koji bi došli do njega. Zbog potrebnih mjera kontrole pristupa preporučuje se da se broj odlagališta otpada bude što manji.

Uz primjenu navedenih kriterija, način odlaganja niskoaktivnoga i srednjeaktivnog otpada u površinskim slojevima bitno je izmijenjen u proteklim godinama. Razvoj je rezultirao uvođenjem većeg broja barijera za radioaktivni materijal i boljim poznavanjem sigurnosnih faktora koji utječu na odlaganje radioaktivnog otpada.

Odlaganje radioaktivnog otpada u površinskim slojevima zemlje počelo je kao stavljanje neprerađenoga radioaktivnog krutog otpada na površinu zemlje i kasnije zatrpavanje tog otpada slojem neradioaktivnog materijala (zemljom, drugim otpadom i slično). Projektne barijere za tako odloženi otpad su minimalne i uglavnom se sastoje od pakiranja i sposobnosti upijanja tla i pokrivnih naslaga. Na takav način odlaganje radioaktivnog otpada nepovoljno djeluje ispiranje padavinama, erozija, podzemne vode, ulazak životinja i slično. Promjene zemljišta pri toj vrsti odlaganja također su velike. Posljednja nepovoljna karakteristika (stvaranje humaka i brda otpada) u nekim je odlagalištima izbjegnuto kopanje jaraka u koje se smješta radioaktivni otpad i onda zatrpava. Prednosti su manje promjene izgleda zemljišta nakon upotreba i manje zahvaćenog zemljišta radi veće moguće gustoće pakovanja radioaktivnog otpada.

U novije se vrijeme takav način odlaganja niskoaktivnoga i srednjeaktivnog otpada kombinira iskopavanjem jaraka i stvaranjem nepropusnih slojeva. Za odlaganje niskoaktivnoga i srednjeaktivnog otpada uglavnom se koriste dvije tehnološke varijante. Otpad se odlaže u betonskim monolitima ili betonskim bazenima smještenim na neprupusnoj podlozi opskrbljenoj su drenažnim sistemom.

Varijanta s betonskim ili drugim nepropusnim donjim slojem odlagališta (glinom ili drugim materijalom velike nepropusnosti) nastaje tako da se dno iskopa napuni slojem betona ili drugoga nepropusnog materijala. Na tu se podlogu stazu paketi radioaktivnog otpada, a šupljine između paketa zapunjavaju šljunkom, pijeskom ili nekim nepropusnim materijalom. Preko složenoga radioaktivnog otpada nasipava se sloj vodonepropusnog materijala ili se pokriva betonskim pločama i zapunjavanju pukotine. Na površini takvog odlagališta obično se postavlja sistem asfaltne hidroizolacije i uspostavlja površinski drenažni sistem.

U sistemu formiranja betonskih monolita radioaktivni se pripremljeni otpad slaže u armiranobetonsku jamu, a šupljine između paketa radioaktivnog otpada

popunjavaju se također betonom. Površinska je obrada slična obradi prethodno opisanog sistema.

Osnovni cilj tih tehnologija odlaganja niskoaktivnog i srednjeaktivnog otpada u površinskim slojevima jest efektivno sprečavanje prodora površinskih voda do radioaktivnog materijala, te time sprečavanje mogućnosti njegova ispiranja. Nepropusna podloga i drenažni sistem služe kao dodatni element sigurnosti u sprečavanju širenja radioaktivnosti u podzemne slojeve. Osnovna nepropusna podloga postavlja se tako da je iznad nivoa podzemnih voda i čime se sprečava oplakivanje otpadnog materijala podzemnom vodom i moguće ispiranje radionuklida.

U nekim se zemljama i niskoaktivni i srednjeaktivni otpad odlaže u dublje slojeve zemlje kao visokoaktivni. Primjer toga je Švicarska, u kojoj se podzemno odlagalište radi bušenjem horizontalnih tunela u matičnoj stijeni, ili SR Njemačka, u kojoj se za to koriste napuštenim rudnicima soli. Radioaktivni se otpad nakon obrade pohranjuje u tunelima i klizajućom oplatom postepeno zalijeva betonom. Bušenjem odgovarajućeg broja tunela osigurava se potreban kapacitet odlagališta.

Opisanim tehnologijama prerade, skladištenja i trajnog odlaganja niskoaktivnoga i srednjeaktivnog otpada moguće je zadovoljiti kriterije utjecaja otpada na prirodnu čovjekovu okolinu, koji su postavljeni kao maksimalna godišnja doza kritične količine 5 mSv za svakog stanovnika koju bi primio svim putovima ekspozicije (direktnim zračenjem, inhalacijom i ingestijom radionuklida).

Volumen, masa, fizički i kemijski oblik i ukupna aktivnost radioaktivnog otpada nisu jedini kriteriji po kojima se utvrđuje utjecaj radioaktivnog otpada na okolinu. Vrsta radioaktivnosti, vrijeme poluraspada i druge karakteristike određuju trajanje rizika izlaganja ionizirajućem zračenju radioaktivnog otpada. Te je rizike zanimljivo usporediti s ostalim opasnim materijalima iz industrije i ostalih djelatnosti i na toj ih osnovi vrednovati. Studija napravljena u Velikoj Britaniji pokazala je da se relativna toksičnost niskoaktivnoga otpada brzo smanjuje i da je nakon stotinjak godina zanemariva i niža od vrijednosti relativne toksičnosti pepela koji nastaje sagorijevanjem ugljena. Budući da u proizvodnje električne energije sagorijevanjem ugljena nastaju bitno veće količine pepela nego što se za istu proizvodnju električne energije u nuklearnim elektranama generira radioaktivnog otpada, relativna toksičnost niskoaktivnog otpada u početku je manja od relativne toksičnosti pepela, a relativna toksičnost srednjeaktivnog otpada vrlo se brzo smanjuje i za desetak godina je niža od vrijednosti za pepeo. Iz toga se može zaključiti da sa stajališta ugroženosti prirodne čovjekove okoline niskoaktivni i srednjeaktivni otpad označava izvor opasnosti samo za relativno kratak period od stotinjak godina, a da je, dugoročno gledano, ta ugroženost manja nego ugroženost kod nekih klasičnih otpadnih proizvoda o čijem se trajnom odlaganju mnogo manje brine. Visokoaktivni otpad u usporedbi s ostalim tipovima opasnoga otpadnog materijala naše civili-

zacije (otpad živinih spojeva, spojeva olova, cijanida i arsena i pesticidima) također je malena. Za razliku od radioaktivnog otpada, relativna toksičnost tih drugih otpadnih materija s vremenom ostaje nepromijenjena i oni su trajna opasnost za okolinu.

### Pravni i društveni kriteriji prihvatljivosti

Pravni kriteriji prihvatljivosti trajnog odlaganja niskoaktivnoga i srednjeaktivnog otpada u Jugoslaviji su regulirani Zakonom o zaštiti od ionizirajućih zračenja s pratećim pravilnicima, republičkim zakonima i pravilnicima. Zajdno s odgovarajućim zakonima, pravilnicima i tehničkim normativima koji reguliraju gradnju investicijskih objekata i rad tehnoloških sistema, te relevantnim međunarodnim aktima, preporukama i propisima Međunarodne agencije za atomske energiju (MAAE), pravni sustav u kojemu su navedeni kriteriji prihvatljivosti za ove objekte potpuno je definiran.

Kriteriji društvene prihvatljivosti odlaganja niskoaktivnoga i srednjeaktivnog otpada, kao uostalom i kriteriji prihvatljivosti radioaktivnog otpada u cjelini, nisu tako precizno određeni uprkos tome što bi oni morali biti sastavni dio procesa opredjeljivanja za primjenu nuklearnih tehnologija i, posebno, nuklearne energetike u društvu u cjelini. Zato je posebno važno već u procesu selekcije prihvatljivih alterantiva za odlaganje radioaktivnog otpada naročitu pažnju pridati elementima koji utječu na društvenu prihvatljivost pojedine lokacije ili solucije, a njima pripadaju: postojeća prirodna i mineralna bogatstva te sadašnji i predviđeni način njihova korištenja, vrijednost zemljišta, sadašnje i postojeće korištenje i zemljišno-pravni odnosi, stanovništvo i njegova raspodjela, način i kvaliteta života te postojeća i planirana infrastruktura, općeniti utjecaj na prirodnu čovjekovu okolinu u promatranom području, kao i javno mišljenje.

Za procjenu faktora postojećih prirodnih i mineralnih bogastava područja čija se namjena podređuje trajnom odlaganju radioaktivnih otpadaka potrebno je obaviti detaljne analize, studije i istraživačke radove da bi se utvrdio sadašnji i predviđeni način njihova korištenja te mogući utjecaj koji može imati odlaganje niskoaktivnoga i srednjeaktivnog otpada. Treba promotriti sva nalazišta mineralnih sirovina i procijeniti njihov utjecaj na planirano odlagalište (moguća slijeganja tla i drugi poremećaji geoloških struktura) te utjecaj odlagališta na mogućnosti korištenja mineralnih sirovina.

Vrijednost zemljišta koje se određuje kao odlagalište niskoaktivnoga i srednjeaktivnog otpada utvrđuje se njegovom kvalitetom i nizom drugih faktora — udaljenošću od većih populacijskih centara, razvojem infrastrukture, topografijom, klimatskim uvjetima te postojećom i planiranom namjenom zemljišta (poljoprivreda, razvoj urbanih sredina, rekreacijska ili turistička područja, ekološki ili arheološki rezervati i slično). Ti faktori mogu imati važno ekonomsko, društveno i kulturno značenje. Analize moraju poka-

zati da je u njih uključena kompletnost mogućnosti razvoja promatranog područja i da je planirani razvoj u skladu s namjenom određenog dijela zemljišta za skladištenje radioaktivnog otpada te da je pronađen minimum negativnog utjecaja odlagališta na budući razvoj područja.

Pri proračunu potencijalnog djelovanja odlagališta na sigurnost okolnog stanovništva moraju se uzeti u obzir sadašnja i planirana raspodjela i gustoća stanovništva, a posebne analize trebaju pokazati ostale utjecaje odlagališta na razvoj regije. Pri izboru lokacije odlagališta korisno je da postoji razvijena prometna mreža i ostala infrastruktura, no treba dokazati da dodatno opterećenje transporta i ostalih djelatnosti odlagalištem neće negativno djelovati na život i kvalitetu života tog područja. Rješenja kojima se ulaganjem u infrastrukturu okoline zbog potreba odlagališta (razvoj putova za transport radioaktivnog otpada, razvoj naselja za zaposlene na odlagalištu, razvoj školstva i drugih javnih usluga, trgovine, prometa i slično) pokrivaju i potrebe lokalnog stanovništva i podiže njihov standard, svakako treba preferirati.

U analizu ekoloških poremećaja oko područja deponija, iako su oni za vrijeme eksploatacije deponija kratkotrajni i može se očekivati vraćanje u prvotno stanje nakon zatvaranja deponija, valja uključiti sav biljni i životinski svijet promatranog područja.

Jedan od bitnih elemenata koji pridonose realizaciji odlagališta radioaktivnog otpada svakako je i javno mišljenje, naročito na nivou područja na kojemu se namjerava locirati deponij. Da bi se to postiglo, potrebno je inicirati i sistematski provoditi objektivno informiranje javnosti na svim nivoima te pravodobno uspostaviti i komunikaciju sa svim neposredno zainteresiranim strankama. Odlagalište radioaktivnog otpada moguće je realizirati samo ako negativni aspekti rizika budu prevladani pozitivnim društveno-ekonomskim efektima na lokalnom nivou (na kojemu nastaju i rizici). Ti su efekti povećana stopa zaposlenosti, gradnja naselja, poboljšanje javnih usluga, razvoj infrastrukture i, općenito, poboljšanje životnog standarda.

### Fizička sigurnost

Kriteriji sistema fizičko-tehničke zaštite odlagališta radioaktivnog otpada niske i srednje aktivnosti bazirani su na sprečavanju nesvjesnog dodira ljudi ili životinja s radioaktivnim materijalom i njihovom izlaganju ionizirajućem zračenju većem od dopuštenoga te spriječavanju svjesnog dodira ljudi s izvorima ionizirajućeg zračenja radi izlaganja prirodne čovjekove okoline djelovanju ionizirajućeg zračenja (diverzija).

Fizičko-tehnička zaštita odlagališta uvelike će ovisiti o tehnologiji odlaganja i o tome je li odlagalište aktivno ili je zatvoreno i osigurano barijerama za sprečavanje prodora radioaktivnog materijala u okolinu. U toj kasnijoj fazi sama će prirodna barijera (beton-

ski pokrivač, zemljani nasip iznad radioaktivnog otpada i slično) znatno sprečavati dostup radioaktivnog materijalu izvana, dok se u fazi eksploatacije odlagališta trebaju intenzivirati mjere fizičko-tehničke zaštite.

S obzirom na karakter odlagališta radioaktivnog otpada, naglasak fizičko-tehničke zaštite potrebno je staviti na određene fizičke barijere koje sprečavaju dostup te na fizičke i tehničke metode detekcije ulaska neovlaštenih osoba. Uz ispravnu čuvarsku službu, pravodobno detekciju neovlaštenog ulaska i komunikaciju s organima javne sigurnosti može se potpuno spriječiti posljedice neovlaštenog ulaska u područje odlagališta.

### Sigurnost transporta radioaktivnog materijala

Međunarodni i naši propisi postavljaju sigurnosne zahtjeve i standarde za pakiranje i transport radioaktivnog materijala, a među njima i niskoaktivnog i srednjeaktivnog otpada. Uz primjenu tih regulativa, transport niskoaktivnoga i srednjeaktivnog otpada može se obavljati sigurno i pouzdano. S aspekta sigurnog transporta niskoaktivnog i srednjeaktivnog otpada, potrebno je poznavati sljedeće:

- vrstu radioaktivnog otpada i prosječni sastav radionuklida i njihove aktivnosti
- vanjsku kontaminaciju pakovanja (kontejnera, bačve) i transportnog vozila
- brzinu doze na površini pakovanja i na površini transportnog vozila.

Postavljeni kriteriji jesu:

- brzina doze na površini paketa ili bačava s radioaktivnim otpadom koji se prenose izvan pojedinačnog nuklearnog objekta ne smije prijeći 2 mSv/h, a na udaljenosti 1 m od površine ne smije biti veća od 0,1 mSv/h
- površina kontaminacija ne smije biti veća od 40 Bq/100 cm<sup>2</sup> za alfa-emitere odnosno 400 Bq/100 cm<sup>2</sup> za geta i gama-emitere.

Najpogodniji oblik radioaktivnog otpada za transport jest solidificirani otpad. Pojedine zemlje potpuno zabranjuju transport tekućega radioaktivnog otpada. Zato je pretpostavljeno da će na svim mjestima na kojima nastaje radioaktivni otpad biti predviđeni i sistemi za preradu tog otpada i njegovu solidifikaciju. Radi smanjenja volumena radioaktivnog otpada, potrebno je predvidjeti i neki stupanj kompaktiranja kompaktibilnoga krutog otpada, što uz današnju tehnologiju visokotlačnih preša nije neizvedivo.

Nakon te, osnovne prerade i pakiranja u bačve ili specijalne kontejnere niskoaktivni i srednjeaktivni otpad prevozi se cestovnim, željezničkim ili vodenim transporterima do odlagališta. U našim uvjetima vodeni, a vjerojatno ni željeznički transport, zbog pretovara ne dolazi u obzir, pa se prijevoz radioaktivnog otpada uglavnom mora obavljati cestovnim putem.

## ZAKLJUČAK

Prema sadašnjem stanju i pretpostavljenim varijantama razvoja nuklearnoga energetskog programa u Jugoslaviji, radioaktivni otpad zastupljen je relativno malim količinama, aktivnostima i opasnošću za okolinu. Radioaktivni otpad koji nastaje korištenjem radioizotopa i nuklearnih tehnika u svakodnevnom životu treba sigurno skladištiti i trajno pohraniti u uvjetima u kojima će biti spriječen njegov dodir s čovjekom i njegovom prirodnom okolinom. Društvenu opravdanost takvoga trajnog odlaganja radioaktivnog otpada opravdavamo sveukupnim analizama rizika i koristi primjene nuklearnih tehnika i nuklearne energetike za čovjeka.

Analize rizika i štetnosti za čovjeka i njegovu okolinu upozoravaju na mogućnost sigurnog odlaganja radioaktivnog otpada u specijalnim skladištima ili centraliziranim odlagalištima. Sadašnje radove na realizaciji tih rješenja svakako valja nastaviti završiti, što će omogućiti i širu upotrebu nuklearne energije kao jeftinoga, pouzdanog i sigurnog izvora električne energije, preduvjeta za daljnji razvoj i napredak društva.

## LITERATURA

- [1] »Les Centrales nucle'aires — Rejets et environment«, Electricite' de France, Direction de l'Equipement, 1985.
- [2] »Radiation — A Fact of Life«, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1985.
- [3] »Standardization of Radio-active Waste Categories«, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1970.
- [4] »Pravilnik o načinu sakupljanja, evidentiranja, obradivanja, čuvanja, konačnog smještaja i ispuštanja radioaktivnih otpadnih materija u čovjekovu sredinu«, Službeni list SFRJ, br. itd., 1986.
- [5] »Pravilnik o granicama iznad kojih stanovništvo i lica koja rade s izvorima ionizirajućih zračenja ne smiju biti izloženi zračenju i o mjerenjima stupnja izloženosti ionizirajućim zračenjima ne smiju biti izloženi zračenju i o mjerenjima stupnja izloženosti ionizirajućim zračenjima lica koja rade s izvorima tih zračenja i o provjeravanju kontaminacije radne okoline«, Službeni list SFRJ, br. i.d.t., 1986.
- [6] »Ciklus nuklearnog goriva lakovodnih reaktora«, Nuklearna elektrana Krško — Služba za analizu tehničke sigurnosti, Krško, 1985.
- [7] »Waste Management and Disposal — Report of Working Group 7«, International Nuclear Fuel Cycle Evaluation, INFCE/PC/2/7, IAEA, Vienna, 1980.
- [8] »The Occurrences of Plutonium at Different Points in the Fuel Cycle«, INFCE/WG.4/16 (A) and (B), IAEA, Vienna, 1979.
- [9] »Canada. The Candu PHW Generating System Waste Arrisings«, INFCE/DEP/WG.7/1, IAEA, Vienna, 1979.
- [10] SMITH, R. I., i SCHNEIDER, K. J.: »Analysis of the decommssioning of a pressurized water reactor and a fuel reprocessing plant«, Proc. IAEA-SM-234, Vienna, 1978.
- [11] »INFCE Working Group 4: Reprocessing, plutonium handling and recycle, Final Report«, IAEA, Vienna, 1979.
- [12] CODEE, H. D. K.: »Netherlands Low and Medium Waste Management«, Nuclear Europe, No. 3, March 1986.
- [13] KUYPERS, J.: »KEMA Research on Treatment of Radioactive Waste«, KEMA Scientific and Technical Reports, Vol. 3, No. 1.
- [14] DECAMPS, F. and DECONINCK, J. M.: »Belgium's Low and Medium Waste Management«, Nuclear Europe, No. 3, March 1986.
- [15] RIVERO, P.: »Status of Spain's Nuclear Power Plant Program«, Nuclear Europe, No. 9, 1985.
- [16] KINDELAN, J. M.: Editorial to Nuclear Europe No. 3, March 1986.
- [17] BARTHOUS, A. and FAUSSAT, A.: »Low and Medium Waste Storage in France«, Nuclear Europe, No. 3, March 1986.
- [18] GINNIFF, M. E.: »Management of Radioactive Wastes by UK Nirex«, Nuclear Europe, No. 3, March 1986.
- [19] »Prospects for Waste Disposal«, Atom No. 352, February 1986.
- [20] MARŠIĆ, P.: »Radioaktivni otpaci«, Delo in varnost, No. 31, 1986.
- [21] »Final Safety Analysis Report«, Nuklearna elektrana Krško, Krško, 1976.
- [22] »Treatment of Low and Intermediate Level Solid Radioactive Wastes«, Technical Report Series No. 223, IAEA, Vienna, 1983.
- [23] »Odlaganje radioaktivnih otpadaka i ozračenog nuklearnog goriva za program izgradnje nuklearnih elektrana u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije do 2000. godine«, Zajednica jugoslavenske elektroprivrede Beograd, Zgreb, 1985.
- [24] »Definicija serije nuklearnih elektrana koje će se graditi u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije«, Zajednica jugoslavenske elektroprivrede, Jugel, Beograd, 1985.
- [25] »Obezbeđivanje nuklearnog goriva i razrada modela transfera tehnologiju NGC za serijum NE koje će se graditi u elektroenergetskom sistemu Jugoslavije do 2000. godine«, Institut za nuklearne nauke »Boris Kidrič«, Beograd, 1985.
- [26] »Site investigations for repositories for solid radioactive wastes in shallow ground«, Technical Report Series No. 216, IAEA, Vienna, 1982.
- [27] »Recommendation of the International Commission on Radiological Protection«, ICRP Publication 26, Ann. ICRP 1 3, Pergamom Press, Oxford, 1977.
- [28] PASSANT, F. H.: »Prospects for Waste Disposal«, Atom No. 352, February 1986.
- [29] »Zakon o zaštiti od ionizirajućih zračenja i posebnim mjerma sigurnosti pri korištenju nuklearne energije«, Sl. list SFRJ, br. 62/84.
- [30] »Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material«, IAEA, Safety Series No. 6, Vienna, 1985.
- [31] »Zakon o prijevozu opasnih tvari«, Sl. list SFRJ br. 24, 1984.
- [32] »Osnovna rješenje NE Slavonija«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.
- [33] »Projekt centralnog skladišta radioaktivnih ostataka (CSRO) (Operativni parametri za izvedbeni projekt)«, Institut za fiziku Sveučilišta, Zagreb, 1981.
- [34] »Nuklearna elektrana Prevlaka — Preliminarni investicioni program«, EB Elektroprojekt, Ljubljana, Elektroprojek, Zagreb, 1984.

- [35] LAVIE, J. M., BARTHOUX, A.: »The Management of Low and Medium Level Radioactive Waste in France«, Proc. Symp. on Waste Management, Tucson, 1982.
- [36] DRESSEN, A. L.: »Financing a New LLW Disposal Site«, Proc. Symp. on Waste Management, Tucson, 1982.
- [37] »Cost of a Shallow Land Burial Repository for Low and Medium Active Waste«, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Aktennitz Nr. 10166, Zurich, 1984.
- [38] »Analysis of Economic Impacts of Waste Management and Disposal in Different Fuel Cycles«, INFCE/DEP/WG7/17., Federal Republic of Germany, IAEA, Vienna, 1979.
- [39] KARUZA J.: »Društveno-ekonomska opravdanost izgradnje deponije radioaktivnog otpada niske i srednje aktivnosti«, Institut za elektroprivredu Zagreb, Zagreb, 1988.

#### DISPOSAL OF NPP RADIOACTIVE WASTES

New technologies bring beside positive effects for human life also new problems. For example a production of electric power in NPP brings problems with disposal of radioactive wastes. In the paper is presented a problem of NPP radioactive waste disposal from its origin to the final placing. Described are origins of radioactive wastes in a modern NPP as well as example of representative NPP »Krško« (632 MWe PWR). It is stressed a low radioactive level in NPP »Krško« (10 times lower than conservative safety analysis level) that is also representative for most NPP's in the world and could be a consequence of »man's factor«. In the paper is also described a final disposal of radioactive wastes, not from the standpoint for specific solutions for site location characteristics, than for base agreed criteria that regulate radioactive waste disposal as a part of natural man's environment. Particularly are presented criteria for radiation protection, protection of environment, law and social acceptance criteria, physical safety and safety in transportation.

#### DAS DEPONIEREN DES RADIOAKTIVEN MÜLLS DER KERNKRAFTWERKE

Neue und fortschrittliche Technologien befreien den Menschen von vielen Problemen und erleichtern ihm das Leben aber sie bringen zugleich auch manche neue Probleme mit sich. Neben der Erzeugung der elektrischen Energie in Kernkraftwerken ist es notwendig den radioaktiven Müll aus diesem Prozess zu beseitigen. Im Artikel schildert man den Prozess der Beseitigung des radioaktiven Mülls aus Kernkraftwerken vom Zeitpunkt seiner Entstehung bis zur entgeltlichen Deponierung. Beschrieben wurden die Quellen des radioaktiven Mülls in einem modernen Kernkraftwerk wobei Beispiele aus dem konkreten und repräsentativen Kernkraftwerk NE KRŠKO (632 MWe PWR) bearbeitet wurden. Man betont das niedrige Niveau der Radioaktivität im Kraftwerk Krško, (etwa zehnmal niedriger als die konservativen Werte aus den Sicherheitsanlagen), was ebenfalls Bedeutung für die meisten Kernkraftwerke in der Welt hat. Dies kann mit dem einwandfreien menschlichen Faktor in Verbindung gebracht werden. Im Artikel wird anschließend das definitive Deponieren des Radioaktiven Mülls bezüglich des Deponierens und der Müllart beschrieben. Spezifische Lösungen werden nicht in solchem Maße beschrieben wie die Hauptkriterien die gegenseitig akzeptiert wurden und die geändert und angewendet werden sollten für das entgeltliche Deponieren des radioaktiven Mülls aus Kernkraftwerken, damit er sich nicht in die natürliche menschliche Umwelt verbreitet. Ins Detail wurden Kriterien des Strahlungsschutzes und des Umweltschutzes beschrieben sowie die rechtlichen und wirtschaftlichen Aspekte des physischen Schutzes und der Sicherheit beim Transportieren des radioaktiven Mülls.

#### БЕРЕЖНОЕ ОТНОШЕНИЕ К РАДИОАКТИВНЫМ ОТХОДАМ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Новая и прогрессивная технология, освобождая человека от множества проблем и облегчая его жизнь, в то же время порождает новые затруднения. Так, при производстве электроэнергии на атомных электростанциях, возникает необходимость бережного отношения к радиоактивным отходам такого процесса. В статье показан процесс бережного отношения радиоактивным отходам на электростанциях с их возникновения и до конечного складирования. Описаны и сточники радиоактивных отходов в современной атомной электростанции, причем разработаны примеры на конкретной и представительной атомной электростанции — АЭС »Крško« (632 МВт ПВР). Подчеркивается низкий уровень радиоактивности на АЭС »Крško« (около десяти раз меньший консервативных значений из анализа надежности), что также свойственно большинству атомных электростанций мира, и может быть связано с качественным »человеческим фактором«. В продолжении статьи описано продолжительное складирование радиоактивных отходов с ударением не только на специфические решения, зависящие от местоположения складирования и вида отходов, а больше на основные критерии, которые совместно приняты и которые необходимо применять при длительном складировании радиоактивных отходов атомных электростанций во избежание их протирания в окружающую среду человека. Подробно представлены критерии защиты природной окружающей среды человека, юридической и общественной приемлимости, физической охраны и надежности при транспорте радиоактивных материалов.

Naslov pisca:

**Jadranko Karuza, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb,**  
**Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

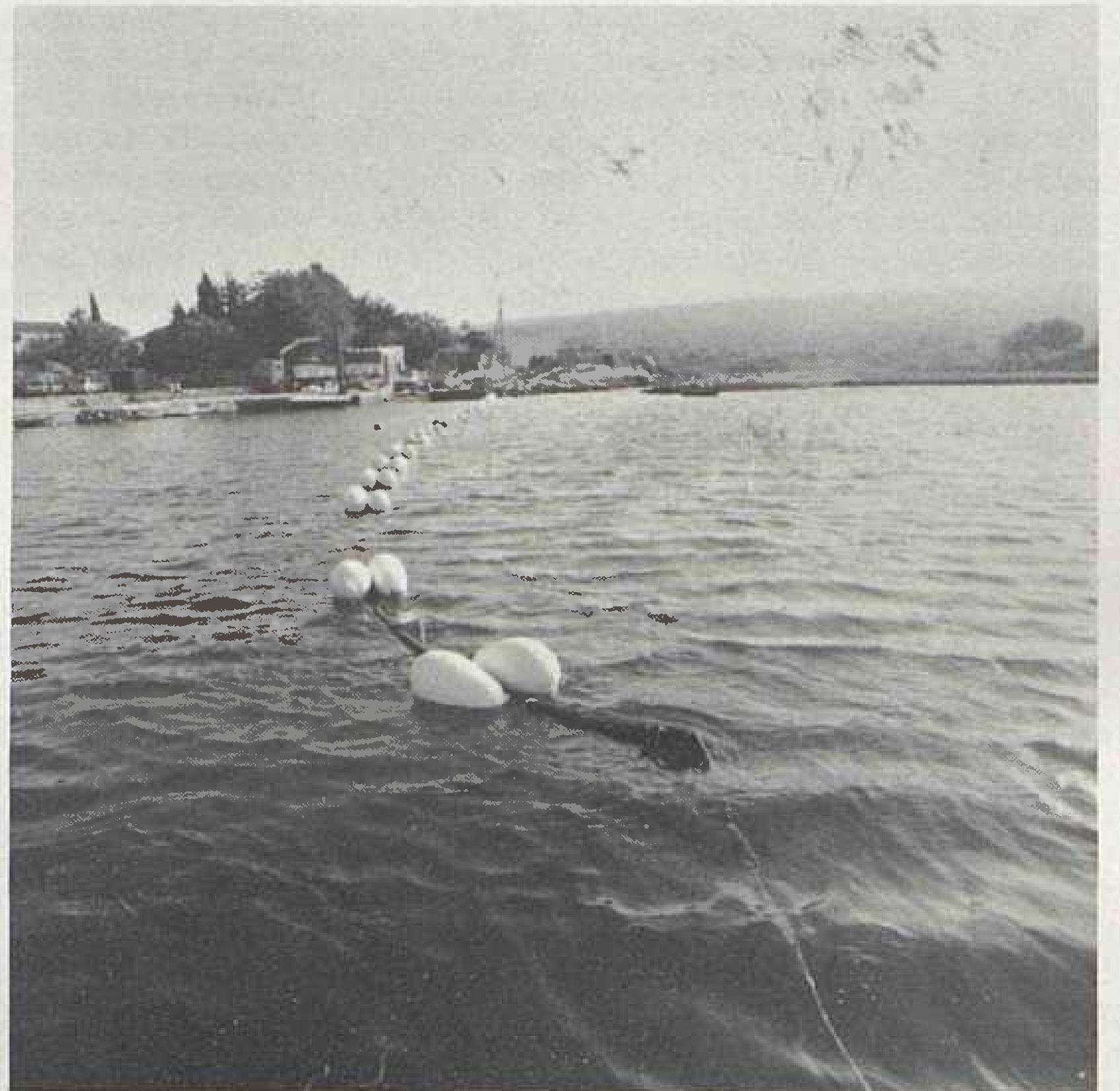
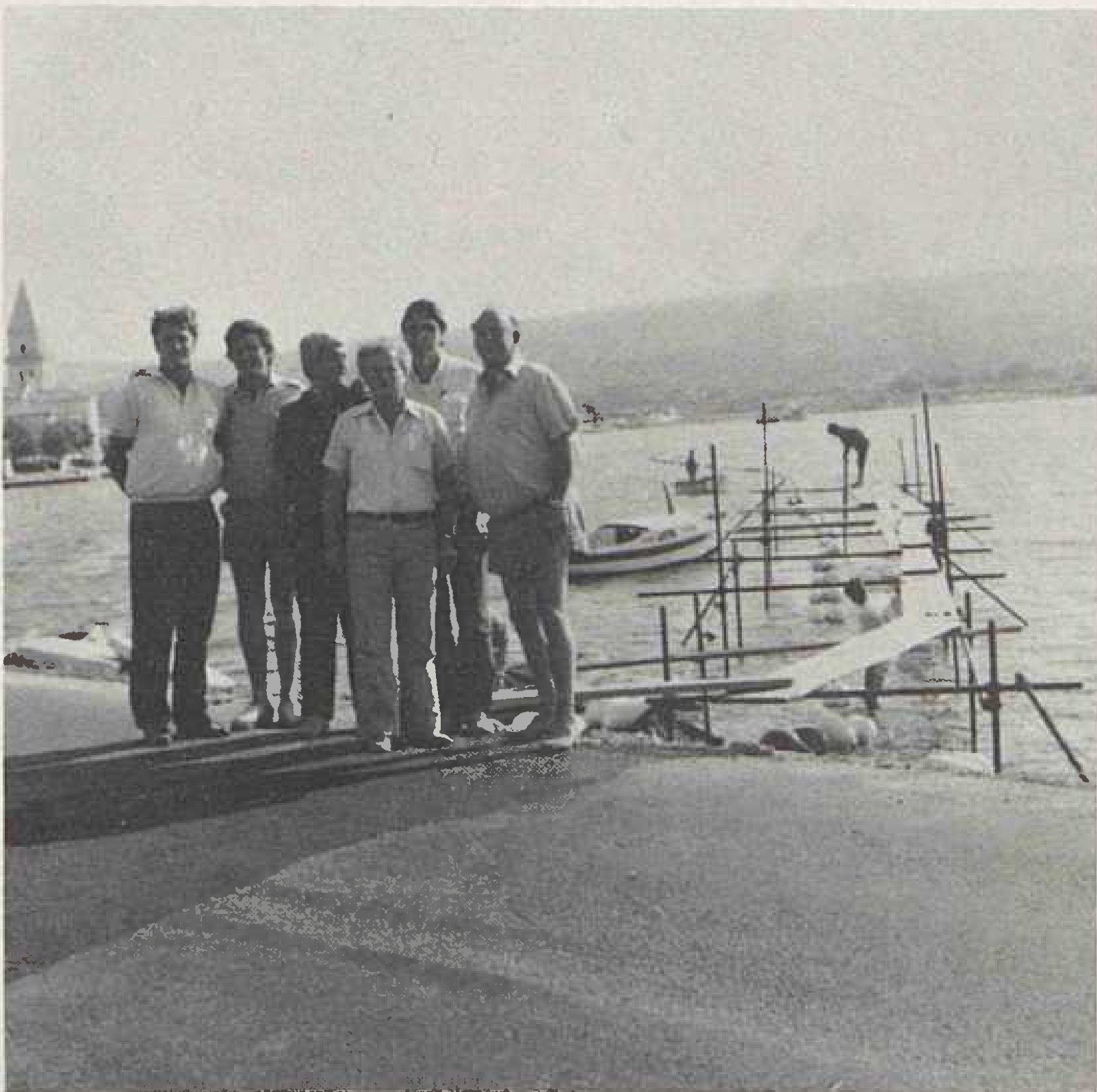
Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-05-30



**elektrolux-rijeka**

**ELEKTROTEHNIČKA RADNA ORGANIZACIJA**  
RIJEKA — ULICA ĐURE STRUGARA bb  
TELEGRAM: ELEKTROLUX — TELEFON: 516-333  
TELEX: 24374 YU ELUX

SVOJE POSLOVNE PARTNERE OBAVJEŠTAVAMO DA SMO SA »ELEKTROPRI-  
VREDOM« RIJEKA SKLOPILI UGOVOR NA MONTAŽI I POLAGANJU PODMOR-  
SKOG KABELA 110 kV NA LOKACIJI OSOR, POVEZIVANJE OTOKA CRES — LO-  
ŠINJ.



U ZAJEDNIČKOM PAKET-ARANŽMANU SUDJELUJU

- **I. K. S.** — SVETUZAREVO KAO PROIZVOĐAČ KABELA I KABELSKOG PRI-  
BORA
- **ELEKTROPROMET** — ZAGREB KAO VELETRGOVINA — ISPORUČILAC
- **ELEKTROLUX** RIJEKA KAO IZVOĐAČ RADOVA NA MONTAŽI I POLAGANJU  
KABELA

RO **ELEKTROLUX**

# VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

## ISKORIŠTENJE VODOTOKA ŠIREG PODRUČJA CETINE

Energetsko iskorištenje Cetine, energetske najbogatije rijeke Hrvatske, privode se kraju gradnjom HE Đale. Iz prvobitne su zamisli preostali neki zahvati na širem području Cetine — uglavnom na području SR Bosne i Hercegovine. To su retencija Čaprazlije, HE Kabilići i HE Vrela kojima bi se ostale vode usmjeravale prema HE Orlovac.

Za izgradnju retencije Čaprazlije konačno su se elektroprivrede SR Hrvatske i SR Bosne i Hercegovine sporazumijele o realizaciji toga projekta.

Za izgradnju na vodama Cetine treba još spomenuti hidroelektranu Tisne stine, za koju je u toku izrada idejnog projekta. Riječ je o hidroelektrani u koritu Cetine, nizvodno od HE Kraljevac, na vodama biološkog minimuma koji se u staro korito ispušta na brani Prančević. Na istu se vodu predviđa i ugradnja agregata na biološki minimum u samoj hidroelektrani Kraljevac.

Agregatnom na biološki minimum u HE Kraljevac poboljšano je iskorištenje voda biološkog minimuma s obzirom na to da su postojeći agregati — stari za biološki minimum. To poboljšanje u sklopu postojećeg objekta valja tretirati kao modernizaciju ili zamjenu i rekonstrukciju.

Tehnički podaci HE Tisne stine: instalirani protok 12 m<sup>3</sup>/s, instalirana snaga 4,27 MW, moguća godišnja proizvodnja 28,4 GWh i neto-pad 41,5 metara.

I. R.

## IZBOR GORIVA U TE PLOMIN 2

Nastavlja se gradnja TE »Plomin 2« pošto su riješena ekološko-energetska pitanja koja su se javila pri projektiranju toga energetskeg postrojenja. Pri gradnji tog najvećeg ener-

getskog objekta u SR Hrvatskoj javljaju se problemi osiguranja pogonskoga goriva za rad te termoelektrane.

TE »Plomin 2« projektiran je tako da troši gorivo raških ugljenokopa. Poteškoće su nastale zatvaranjem jame »Ripende«, pa je odlučeno da se nastavi intenzivnije kopanje ugljena u jami »Tupljak« te da se produže istraživanja nalazišta ugljena Koromačno, također u labinskom bazenu.

Na osnovi investicijskih programa početkom 1992. godine, kad TE »Plomin 2« počinje raditi, proizvodnja u jedinoj preostaloj jami »Tupljak« iznosit će oko 525 000 tona ugljena, što je manje od godišnjih potreba. Naime, za obje termoelektrane, dosadašnju i buduću, trebalo bi godišnje osigurati oko 750 000 tona ugljena. Razliku je potrebno osigurati iz domaćih ili uvoznih izvora.

Ako se ne dokaže eksploatibilnost ugljena iz Koromačna, u obzir dolazi i ugljen iz Ugljevika (Bosna) ili uvozni ugljen kombiniran s dijelom prirodnog plina iz sjevernog Jadrana.

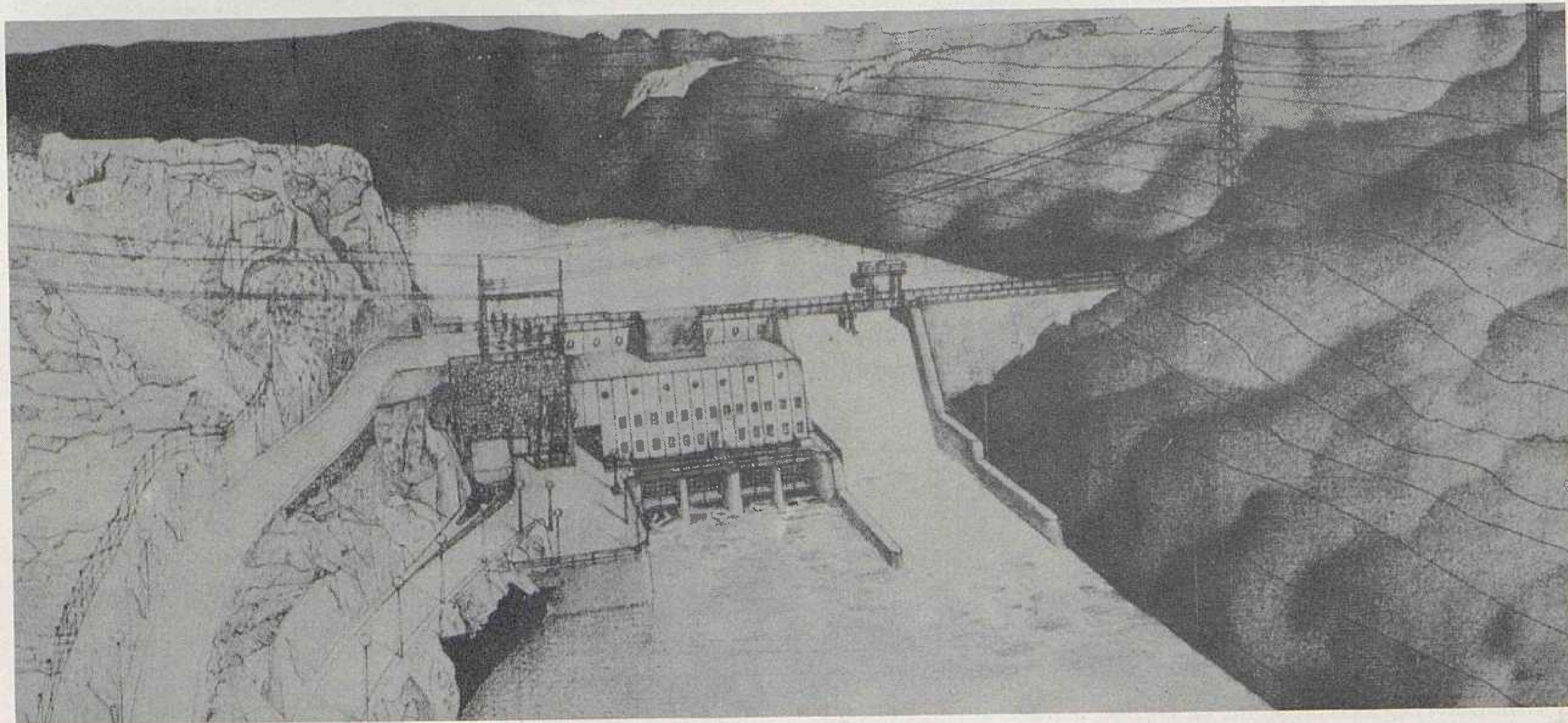
Ni u jednom slučaju upotreba bilo kojega drugog goriva neće utjecati na poskupljenje.

Supstitucija za raški ugljen mora se riješiti do kraja 1988. godine.

## INA nudi prirodni plin

Zanimljiva je varijanta korištenja podmorskog plina u Plominu koji predlaže SOUR INA. Na sastanku održanom početkom lipnja 1988. godine u Rijeci INA-Naftaplin od početka 1993. godine garantira elektroprivredi i potrošačima istarsko-riječkog područja opskrbu od 450 milijuna m<sup>3</sup> prirodnog plina s nalazišta »Ivana« u području sjevernog Jadrana, i to u toku idućih 15 godina. Od te količine INA je spremna elektroprivredi s toga područja ustupiti 200 do 250 milijuna m<sup>3</sup> plina.

Nadalje, INA će nastaviti istraživanja u podmorju sjevernog Jadrana, te povezivanje plinova toga područja s plinovodima u ostalim dijelovima Hrvatske i zemlje. Na taj će način INA osigurati tome području i plominskim termoelektrana-



HE Đale u izgradnji

ma plin i nakon 15 godišnje eksploatacije nalazišta »Ivana«. Osim u TE »Plomin 1«, plin bi se mogao koristiti i u TE »Rijeka 1«.

Predviđeno je da budući plinovod ide kopnenom trasom od Pule do Plomina, a odatle podmorskim cjevovodom na Krk, a zatim prema Urinju. Stručne radne grupe elektroprivrede Hrvatske i SOUR-a INA do kraja 1988. godine treba da se dogovore o svim aspektima i mogućnostima korištenja prirodnog plina iz podmorja sjevernog Jadrana za plominske termoelektrane i TE »Rijeka 1« Urinj.

I. R.

## ULAGANJA U ELEKTROENERGETSKE OBJEKTE

Plan razvoja elektroprivrede Bosne i Hercegovine u 1988. godini predviđa završetak radova na HE »Mostar«, TE Kakanj i gradnju glavnog dijela drinske hidroelektrane »Višegrad«. Hidroelektrana »Mostar« već radi, i to sa tri agregata, ali ostalo je dosta poslova koje treba završiti. To se odnosi na građevinske i obrtničke radove na brani i strojarnici, uređenje nastipa i dr. Potrebno je obaviti i dodatne radove radi potapanja vrela Sudenac iz kojega se grad opskrbljuje pitkom vodom.

Za gradnju navedenih glavnih elektroenergetskih objekata elektroprivreda Bosne i Hercegovine osigurala je oko 308 milijardi dinara. Investicijska će se sredstva utrošiti i za gradnju rudnika ugljena, prijenosne mreže, tunela i prometnica, pratećih objekata za potrebe budućih elektroenergetskih objekata.

Dio investicija u iznosu 120 milijardi dinara utrošit će se za betoniranje strojarnice i brane HE »Višegrad«.

Izgradit će se tunel Fatničko polje — Bileća, dug oko 9 km, važan objekt za budući sustav elektrana na Trebišnjici. Dosada su izbušena samo oko dva kilometra tunela.

I. R.

## SAVJETOVANJE O MIKROELEKTRONICI

U Zagrebu je u svibnju ove godine održano 16. jugoslavenko savjetovanje o mikroelektronici-MIEL 88, u organizaciji MIDEM-a — stručnog društva za mikroelektroniku, električne sastavne dijelove i materijale. Republičkog komiteta za znanost, tehnologiju i informatiku SR Hrvatske, SOCR-a »Rade Končar«, RO RIZ Tvornice poluvodiča i zagrebačkoga Elektrotehničkog fakulteta.

Na savjetovanju MIEL-a pročitano je 98 referata, od čega su 24 napisali inozemni stručnjaci, a organizirana je i izložba domaćih dostignuća s područja mikroelektronike.

Taj skup, na kojemu je sudjelovalo više od 150 sudionika, otvorio je dr. Velimir Srića, predsjednik Republičkog komiteta za znanost, tehnologiju i informatiku, koji je istaknuo da je za izlazak iz ekonomske i moralne krize bitna promjena odnosa prema znanju kao resursu.

I. R.

## ENERGETSKO ISKORIŠTENJE DUNAVA

Za hidroenergetsko iskorištenje Dunava na području SR Hrvatske (u Baranji i Slavoniji) te na području AP Vojvodine zainteresirane su elektroprivrede Hrvatske i Vojvodine.

U vodoprivrednom rješenju za Dunav u navedenim područjima u obzir dolaze dva hidroenergetska i plovidbena siste-

ma — HE Bezdan i NE Novi Sad. Hidroelektrana Bezdan bila bi locirana odmah na mjestu ulaska Dunava na našu zemlju, a glavnina objekata (nasipi i drugo) bila bi smještena na području NE Mađarske. Budući da s NE Mađarskom o tome još nije ništa dogovoreno sistemi hidroelektrane i plovnog puta Bezdan spominju se samo kao mogućnost. Za Hidroelektranu Novi Sad izrađeno je osnovno rješenje u kojemu bi udio SR Hrvatske bio 37 posto.

Tehnički podaci HE Novi Sad : instalirani protok 3 860 m<sup>3</sup>/s, instalirana snaga 160 MW, moguća proizvodnja 1 021 GWh i neto-pad 3,55 m.

Od toga SR Hrvatskoj pripada: 59,2 MW snage i 378,0 KWh energije.

I. R.

## HIDROELEKTRANA KRČIĆ NA KRKI

Razrađeni plan energetske iskoristivosti Krke predviđa i gradnju hidroelektrane Krčić. Prema projektnom rješenju, gradit će se dva postrojenja — Krčić 1 i Krčić 2.

HE Krčić 2 bila bi najuzvodnija hidroelektrana sa tzv. čeonom akumulacijom, koja ne rješava ali smanjuje mogućnost poplava i povećava proizvodnju na svim nizvodnim hidroelektranama na Krki.

Potkraj svibnja 1988. godine završeni su radovi na HE Krčić 1. To je postrojenje manje snage, a ima zadatak održavanja voda biološkog minimuma.

Investitor, RO »Elektroprivreda Dalmacije« Split, odmah predlaže početak gradnje HE Krčić 2, koja bi trebala biti završena 1991. godine. Osnovni podaci HE Krčić 2 jesu: instalirani protok 15 m<sup>3</sup>/s, instalirana snaga 6,11 MW, moguća proizvodnja 20,3 GWh i neto-pad 50 m.

Isporučka glavnog dijela opreme je ugovorena, isporučio su »Rade Končar«, »Litostroj«, Ljubljana i »Metalna« Maribor i dr.

I. R.

## ELEKTROOPREMA ZA IZVOZ

Proizvođači elektroopreme u Hrvatskoj već godinama izvoze opremu i sudjeluju u gradnji elektroenergetskih postrojenja u stranim zemljama. U te su poslove uključene i naše projektne organizacije, prije svega RO »Elektroprojekt« iz Zagreba.

Aranžmani sa stranim partnerima nastavili su se i u 1988. godini. Nedavno je tvornica »Rade Končar« iz Zagreba zaključila dva izvozna posla vrijedna 22,5 milijuna dolara. To je isporuka transformatorskih stanica za elektroprivredu Malezije i Iraka. U posao za Maleziju uključeno je projektiranje i postavljanje pet trafostanica distribucijskog napona 132 kV u Kuala Lumpuru. Posao je vrijedan 10 milijuna dolara, a isporučivat će se metalom oklopljena postrojenja izolirana plinom (sumpornim heksafluoridom), koja danas pripadaju najsuvremenijim tehnološkim rješenjima takvih stanica.

Istodobno je za potrebe elektroprivrede Iraka, odnosno za potrebe glavnoga grada Bagdada ugovorena isporuka opreme (sklopnih blokova s vakuumskim prekidačima), te projektiranje, nadzor montaže i puštanje u rad 23 transformatorske stanice naponskog nivoa 33/11 kV.

Nadalje, tvornica »Rade Končar« potpisala je s predstavnicima elektroindustrije SSSR-a protokol o mogućnostima suradnje u proizvodnji električnih lokomotiva. Riječ je o osmoosovinskim tiristorskim lokomotivama s mikroproce-



sorskim upravljanjima i rekuperativnim sistemom kočenja te o nizu električnih motora i aparata.

U potpisanom su protokolu detaljno definirane daljnje smjernice suradnje tvornice »Rade Končar« s partnerima iz SSSR-a.

Tvornica telekomunikacijskih uređaja »Nikola Tesla« iz Zagreba ugovorila je isporuku međunarodskih telefonskih centrala SSSR-u. Posao je vrijedan 12 milijuna dolara, a

centrale će se isporučiti 1990. i 1991. godine. Očekuje se da će ove godine kolektiv »Nikola Tesla« u SSSR-u realizirati 20 ugovora vrijednih ukupno 35 milijuna dolara.

Dobre rezultate u izvozu elektroopreme ostvaruju i zagrebački kolektivi RIZ, TEP te drugi članovi poslovnog udruženja »Ingra«.

I. R.

## IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

### UDIO HIDROLOGIJE U ZEMLJAMA EVROPSKE ZAJEDNICE

O ukupno netoproizvedenih 1 519 000 GWh (1986) električna energija u zemljama Evropske zajednice 12% ili 175 000 GWh potječe iz hidroelektrana.

Udjeli proizvodnje hidroelektrana u različitim zemljama bili su ovakvi:

Francuska	37%
Italija	25%
Španjolska	15%
SR Njemačka	10%
Portugal	5%
Ostale zemlje	8%

Prema tome, uz veliki broj nuklearnih elektrana, hidroelektrane u Francuskoj imaju još vrlo važnu ulogu.

ÖZE, god. 41(1988), br. 3

Mrk.

### SMANJENJE GUBITAKA PRIJENOSA ELEKTRIČNE ENERGIJE U ŠVICARSKOJ

U posljednjih 30 godina Švicarska je elektroprivreda znatno smanjila gubitke prijenosa električne energije, i to od 11,3% na 6,2%. Duljina švicarske mreže, koja je promatrana, iznosi 90 000 km. Od toga je 9 000 km visokonaponske mreže, a ostatak, po pola čini srednjonaponska i visokonaponska mreža.

R. G. E., god. 1988, br. 4

Mrk.

### PODZEMNE NUKLEARNE ELEKTRANE U SSSR-U

Sovjetski akademik Andrej Saharov predložio je da se u SSSR-u radi sigurnosti zabrani gradnja nuklearnih elektrana na otvorenome, već da se grade pod zemljom. Razlog je prije svega strah od terorizma. On je procijenio da troškovi takve izvedbe nuklearne elektrane ne bi bili više od 20% skuplji od gradnje na otvorenome. No kako bi ta gradnja usporila nuklearno-energetski program SSSR-a, akademik predlaže ubrzanje razvoja elektrana na klasična goriva.

R. G. E., god. 1988, br. 1

Mrk.

### MOGUĆNOST ISKORIŠTENJA ŠVICARSKIH VODNIH SNAGA

U povoljnim političkim uvjetima do 2025. godine u Švicarskoj bi se moglo izgraditi još hidroelektrana koje bi godišnje prosječno davale oko 5 000 GWh. Takav zaključak proistječe iz studije švicarskoga vodoprivrednog saveza. Danas Švicarske hidroelektrane isporučuju godišnje 32 000 GWh ili 60% potrebne električne energije. Međutim, prema predloženom zakonu o zaštiti voda mora se računati da će sve hidroelektrane imati srednji godišnji gubitak od 2 600 do 5 000 GWh. Prema studiji, potrebno je procijeniti koji projekti imaju šanse da se izvedu uzimajući u obzir elektroprivrednu korist, zaštitu okoliša i troškove. Prema mišljenju vodoprivrednog saveza, ipak još postoje razumne mogućnosti gradnje novih hidroelektrana. No one neće služiti samo za povećanje proizvodnje, već će utjecati i na poboljšanje opskrbe električnom energijom

ÖZE, god. 41(1988), br. 1

Mrk.

### VELIKE MOGUĆNOSTI PRIMJENE SUPROVODLJIVOSTI U TEHNICI PRIJENOSA PODATAKA

Znanstvenici univerziteta Cornell u New — Yorku proizveli su suprovodljive filmove koje su primjenjivali u uređajima za prijenos podataka. Pri prvim pokušajima da se izmjeri brzina predaje, mjerni su uređaji otkazali. Tek su na univerzitetu Rochester uspjeli utvrditi da je brzina predaje  $10^{12}$  bit/s (1 T bit/s). To omogućuje istodoban prijenos 15 milijuna telefonskih razgovora. Naprimjer, velika biblioteka Library Congress mogla bi pri takvoj brzini predati cijelu svoju tekstualnu zalihu za dvije minute.

Međutim, otvoreno je pitanje hoće li se u budućnosti moći upotrijebiti takvi telekomunikacijski kabeli. Suprovodljivi filmovi morali bi biti nanoseni na plastične vrpce kilometarskih duljina i nitko ne zna koliko bi bile tehnički pouzdane. Budući da i novi suprovodljivi materijali moraju biti hlađeni do  $-169^{\circ}\text{C}$ , njihova je ekonomičnost nesigurna.

Svakako, praktična je primjena još daleko, no stručnjaci smatraju da dobivena brzina predaje još nije konačna.

ETZ, god. 109(1988), br. 6

Mrk.

## DALEKOVOD NA ZAPADU BERLINA

U siječnju 1988. godine parafiran je u zapadnom Berlinu osnovni ugovor o gradnji dvosistemskog 380 kV-tnog dalekovoda. Dalekovod bi povezivao zapadnjonjemački grad Helmstedt sa Zapadnim Berlinom, preko Magdenburga na području DR Njemačke. Time Zapadni Berlin prestaje biti elektroenergetski otok, a njegovo napajanje postaje mnogo sigurnije. Energija bi se izmjenjivala između obje Njemačke. Predviđa se da će gradnja trajati oko dvije godine, pa bi dalekovod bio pušten u rad 1991. godine.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 87(1988), br. 2

Mrk.

## KONTINUIRANO MJERENJE SUMPORA U UGLJENU

U centralnome razvojnom institutu za izotope i zračenje u Laipzigu (DR Njemačka) otkrivena je metoda kojom se može mjeriti sadržaj sumpora u ugljenu na temelju radioaktivnih izotopa. Ako to uspije, kvaliteta će se moći ustanoviti već na transportnoj vrpci i na taj način usmjeriti odgovarajućem potrošaču.

*Energie*, god. 40(1988), br. 1,2

Mrk.

## PRVO 800 kV-tno SF<sub>6</sub> IZOLIRANO RASKLOPNO POSTROJENJE

Nakon vrlo opsežnoga ispitnog programa, početkom 1988. stavljeno je u pogon najprije rasklopno postrojenje tipa BBC — ELK 4 za maksimalni pogonski napon 800 kV (nazivni 765 kV). Postrojenje je izrađeno za mrežu ESCOM u Južnoj Africi, a proizvela ga je švicarska tvrtka Brown Boveri. Prije izrade tog novog proizvoda serijski proizvedene komponente trajno su ispitivane u pilot-uređaju. Posebno i pažljivo ispitane su kritične pojave karakteristične za vrlo visoke napone kao npr. za rasklopnu moć rastavljača, tranzijentne prenapone, koordinaciju izolacije i štetna elektromagnetska polja. Pitanje elektroenergetskih polja naročito je osjetljivo s obzirom na rad zaštite, mjerenja i upravljanje. Uređaj se, naime, upravlja mikroprocesorom. Pri naponu 800 kV oklopljeno postrojenje ima naročite prednosti pred otvorenim izvedbom s obzirom na sigurnost osoblja, neovisnost o utjecaju okoliša, prije svega zagađenja. Ukupna potrebna površina za dio 800 kV, uključivši pripadne priključke za transformatore i reaktore, iznosi 30 000 m<sup>2</sup>. Odgovarajuća otvorena izvedba pokrila bi površinu od oko 240 000 m<sup>2</sup>, dakle oko osam puta veću. Postrojenje ima 18 polja, odnos transformacije 800/400 kV s transformatorima snage 2 000 MVA.

*B. B. Technik*, god. 74(1987), br. 10

Mrk.

## NUKLEARNA ENERGIJA U JAPANU

Proizvodnja električne energije u 1987. povećala se u usporedbi s prethodnom godinom za 4,1%. Od toga je 31,7% proizvedeno u nuklearnim elektranama. U toku 1987. godine puštena su u rad još tri nuklearna bloka. Faktor opterećenja bio je vrlo povoljan, a iznosio je 79,5%. U Japanu se smatra da je kWh proizveden u nuklearnim elektranama najjeftiniji, ali pritome nisu uzeti u obzir troškovi radioak-

tivnog otpada dugog trajanja i demontaža elektrane nakon prestanka rada.

*R. G. E.*, god. 1988, br. 4

Mrk.

## SOLARNIM SE UREĐAJIMA ŠTEDI ŠEST MILIJUNA LITARA NAFTE

Ministarstvo za razvoj SR Njemačke objavilo je da se upotrebom solarne energije u zemlji uštedi šest milijuna litara nafte godišnje. Površina solarnih kolektora danas iznosi oko 250 000 m<sup>2</sup>. Veliki dio tih uređaja služi za grijanje sportskih i rekreacijskih objekata.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 87(1988), br. 7

Mrk.

## POČETAK RADA NOVE NUKLEARNE ELEKTRANE U BUGARSKOJ

U Bugarskoj je potkraj 1987. pušten u rad novi nuklearni blok snage 1 000 MW (kozlodaj). Njime treba da se olakša teška elektroenergetska situacija u zemlji, u kojoj su česte redukcije električne energije. Elektrana će proizvoditi 10% potrebne električne energije. Završetak elektrane kasni oko godinu dana zbog poboljšanja projekta potaknutog černobilskom katastrofom. Daljnji reaktor u toj elektrani treba da se završi u 1988. godini.

*R. G. E.*, god. 1988, br. 2

Mrk.

## PARKOVI VJETRENJAČA

U više zemalja svijeta počela je široka primjena elektrana na vjetar koje se grade pojedinačno, za određenog potrošača, ili povezano, u skupinama, za napajanje javne mreže. Ako se na nekom pogodnome mjestu sagrade više od tri vjetrenjače, govori se o parku ili farmi vjetrenjača. Na nekoliko mjesta u svijetu uspješno se grade takva postrojenja.

Svakako najprije valja istaknuti Kaliforniju, SAD. Znatnija gradnja počela je od 1981. godine, pa se procjenjuje da je njihova instalirana snaga do kraja 1986. ukupno iznosila oko 1 400 MW, što čini 3 do 4% snage elektrana u Kaliforniji. Razvoj upotrebe vjetrenjača najbolje pokazuje tablica.

Godina	Broj	Snaga (6MW)	Spec. inv. (dolara/kW)	Proizvodnja (GWh)
1981.	144	7	3 133	0,01
1982.	1 145	64	2 175	4,8
1983.	2 493	172	1 900	46,5
1984.	4 687	366	1 860	188,1
1985.	4 989	511	1 700	663,0
1986.	2 000	200-250	1 500	1 250
Ukupno oko	15 500	1 400	—	2 000

Navedeni je znatan razvoj potaknut sljedećim:

- vrlo pogodnim strujanjem vjetra
- vrlo dobrom podudarnošću pogodnog vjetra i energetske potreba, naročito ljeti, kad rade rashladni uređaji
- ekstenzivnim iskorištenjem tla
- jasnom kalifornijskom energetske politikom
- uštedom goriva u elektranama

- poreznim olakšicama koje su, međutim, od 1985. znatno smanjene
- jednostavnom zakonskom i administrativnom procedurom
- američkom smjelošću upuštanja u nove tehnologije.

U Evropi je u iskorištenju vjetrenjača najdalje otišla Danska. Većina njzinih elektrana na vjetar još su privatno vlasništvo, ali u novije vrijeme već dolazi do izražaja elektroprivreda u kojoj će se, prema planu, do 1990. izgraditi vjetrenjače instalirane snage oko 100 MW. Pojedine jedinice imaju snagu 55, 75, 100, 300 i 750 kW. Najveći park po broju jedinica je Taendpibe, sa 30 jedinica od po 75 kW, a po instaliranoj snazi najjači je Masnedo, sa pet jedinica po 750 kW.

U SR Njemačkoj je u kolovozu 1987. proradio je prvi park vjetrenjača ukupne instalirane snage 1 MW (Kaiser-Wilhelm-Koog). Ukupno ima 20 jedinica snage 25, 30 i 55 kW. Upravo je završena gradnja sličnog parka kod Cuxhavena, a radi i manji park gradskog poduzeća Norden, instalirane snage 285 kW. Više se gradova sprema za gradnju sličnih postrojenja. Posebno valja istaknuti planove koji predviđaju jedinice snage 650 kW, kojima će se znatno sniziti specifična cijena. Zasad su u SR Njemačkoj sve elektrane na vjetar ispitne. Ona ne bi mogle raditi bez javne financijske pomoći. Postrojenja na zapadnoj obali i kod Cuxharena koštaju oko 5 000 DM po kW, postrojenje Norden 3 600 DM po kW, a nova će postrojenja stajati oko 3 000 DM po kW. Ekonomično bi bilo da se postigne cijena od bar 2 000 DM po kW.

*Energie*, god. 40(1988), br. 4

Mrk.

## PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U FRANCUSKOJ 1987. GODINE

Ukupna proizvodnja električne energije u Francuskoj u 1987. godini bila je oko 360 TWh (prema 346 TWh u 1986). Struktura te proizvodnje bila je ovakva:

— iz nuklearnih elektrana	252,9 RWh
— iz hidroelektrana	71,6 TWh
— iz termoelektrana	35,2 TWh.

Udjeli su, dakle, približno bili 70%:20%:10%.

Samo u udruženim elektranama EdF-a proizvedeno je 326,3 TWh. Udio nuklearne energije u toj proizvodnji doseže 76%, a onaj iz termoelektrana pada na manje od 4%, uz približno jednako učešće hidroelektrana.

U vezi s hidroelektranama valja primijetiti da je povećana instalirana snaga, ponajprije zahvaljujući crpnim postrojenjima, no nije se adekvatno povećala i proizvodnja. Godina 1987. hidrološki je bila relativno povoljna, s koeficijentom 1,05 u odnosu prema prosječnoj proizvodnji.

Dodajmo da je između francuske elektroprivrede i ugljenokopa potpisan novi sporazum za razdoblje 1988-1993. prema kojemu se garantirane isporuke ugljena za potrebe elektroprivrede smanjuju za oko 25%. To će smanjenje po godinama iznositi: sa  $2,3 \cdot 10^6$  t u 1989. na  $1,8 \cdot 10^6$  t u 1993. Odgovarajuća redukcija proizvodnje termoelektrana bit će znatnija: sa 7,9 TWh u 1989. na 5,9 TWh u 1993.

*Revue Générale de l'Électricité*, br. 3, 1988.

Z. T.

## NOVE KNJIGE

### U. Hauptmanns, M. Hertrich, W. Werner TECHNISCHE RISIKEN, ERMITTLUNG UND BEURTEILUNG

Izdavač: Springer - Verlag, Berlin - Heidelberg - New - York - London - Paris - Tokyo, 1987, 253 stranice, 45 slika, format 24 × 16,5 cm, tvrdi uvez Cijena: 74 DEM

Knjiga se bavi metodama probabilističke analize sigurnosti tehničkih postrojenja i rizika za okolinu vezanih uz njihov rad. Bazira se na izvještaju »Statusbericht Risiko« Društva za sigurnost reaktora iz Koëlna izrađenom za Ministarstvo unutrašnjih poslova SR Njemačke 1984. godine, koji je dopunjen najnovijim istraživanjima i prerađen tako da bude zanimljiv i čitaocima izvan strogo stručnih krugova.

Knjiga je podijeljena u šest poglavlja. U prvome, uvodnom poglavlju opisuje se pojam rizika pomoću njegovih elemenata — štete i vjerojatnosti. U drugom su poglavlju općenito prikazane metode analize rizika tehničkih sistema. One obuhvaćaju istraživanja vezana za pogonske i sigurnosne sisteme postrojenja, proračune posljedica nezgoda te prikazivanje i pouzdanost rezultata analiza rizika. Treće se poglavlje bavi studijama rizika na području nuklearne tehnike.

Za lakovodne reaktore sažeto se daju bitna gledišta iz američke studije rizika WASH, njemačke DRS, faza A i B, britanske Sizewell B te još nekoliko američkih studija nastalih nakon nezgoda u nuklearnoj elektrani TMI-2. U istom su poglavlju prikazana i istraživanja rizika za brze oplodne reaktore, visokotemperaturne reaktore i za nuklearni gorivi ciklus. Tema četvrtog poglavlja su analize rizika od kemijskih postrojenja. Na primjeru britanske studije za kemijski kompleks Canvey Island kod Londona odnosno nizozemske studije za skaladišta otrovnih i zapaljivih kemikalija Rijnmond kod Rotterdama, pokazane su razlike u primijenjenim metodama u usporedbi s prethodnim studijama rizika u nuklearnoj tehnici. U petom se poglavlju daje pregled i kritički osvrt na usporedbe rizika na području proizvodnje električne energije. U zaključnome, šestom poglavlju razmatraju se moguće primjene probabilističkih analiza u procesu odlučivanja te pristup takvim analizama u različitim zemljama, uz naglasak na sigurnosti rada nuklearnih elektrana.

Svojim jednostavnim pristupom problematici rizika ova knjiga, prema uvodnim riječima prof. dr. Klause Toepfere, njemačkog ministra za okolinu, zaštitu prirode i sigurnost reaktora, pruža mogućnost da se i šira javnost uključi u rasprave o razini prihvatljivosti rizika kao sastavnog dijela potrebna tehničkog napretka.

Zoran Kisić, dipl. inž.

## HEAT AND MASS TRANSFER IN REFRIGERATION AND CRYOGENICS

(Prijenos topline i mase u tehnici hlađenja i kriogenoj Tehnici)

Urednici: Bougard, J.; Afgan, N.

Izdavač: Hemisphere Publishing Corporation  
Washington-New York-London  
Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-  
-London-Paris-Tokyo, 1987. god.  
665 stranica, 430 slika, format 24 × 16,5 cm  
tvrdi uvez  
Cijena: 198 DEM

Ta je knjiga zbornik radova s međunarodnog simpozija održanog u Dubrovniku od 01. do 05. rujna 1986. god u organizaciji Međunarodnog centra za prijenos topline i mase (IC-HMT) iz Beograda i jedna je u nizu 26 knjiga radova sa simpozija o širokoj lepezi tehničkih problema rješavanje kojih zahtijeva istraživanje prijenosa topline i mase.

Energetska je kriza istakla važnost utjecaja prijenosa topline i mase na pogonske karakteristike opreme i uređaja koji rade pri niskim temperaturama, tj. u tehnici hlađenja i kriogenoj tehnici. Tehnički napredak na tim područjima zahtijeva brojne i točne eksperimentalne podatke kao provjeru, ali i potvrdu teorijskih istraživanja. Stoga su se i teorijski i eksperimentalni pristup istraživanju problema našli među četrdeset četiri prikazana rada s navedenog simpozija. Radovi su podijeljeni u četiri tematske cjeline: Toplinska izolacija, Prijenos topline i mase u tehnici hlađenja, Termodinamička i termofizikalna svojstva radnih smjesa i Prijenos topline i mase pri vrlo niskim temperaturama.

Osim indeksa pojmova (ključnih riječi), koji čitaocu omogućuje brže nalaženje zanimljivih članaka, prednost knjige je to što se među usko specijalističkim člancima nalaze i oni pregledni, koji omogućuju sagledavanje trenutnih prilika na istraživanjima na određenom području i lakše snalaženje stručnjacima koji se tek počinju baviti tehnikom hlađenja i kriogenom tehnikom.

Zoran Kisić, dipl. inž.

## NUCLEAR SIMULATION

Heller, M. R. Editor

Proceedings of an International Symposium and Workshop, October 1987, Schliersee, West Germany

Izdavač: Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-  
-London-Paris-Tokyo  
tvrdi uvez, 358 stranica, 102 slike, format  
16,5 × 23,5 cm, cijena DEM 88

Knjiga obuhvaća izabrane članke prezentirane na međunarodnom simpoziju o matematičkim modelima za simulaciju nuklearnih procesa održanom u listopadu 1987. godine u Schlierseeu u SR Njemačkoj, pod pokroviteljstvom njemačkih organizacija GRS i SCS te kompanije Control Data. Prezentacije oko 40 autora iz devet zemalja u 22 članka daju izvanredan presjek današnjeg statusa matematičkih modela za analizu procesa u nuklearnim postrojenjima i simulacijskih modela koji se primjenjuju za analizu tih procesa.

Članci u publikaciji podijeljeni su na pet osnovnih područja, i to:

1. računarska oprema,
2. programi i programski alati za simulaciju procesa,
3. simulatori procesa u nuklearnim elektranama,
4. simulatori procesa u reaktorskoj jezgri,
5. simulatori procesa vezanih za radioaktivni otpadni materijal.

Iz svakog je područja napisano po nekoliko članaka koji daju presjek suvremene tehnologije i osvrt na tehnologiju koja će se u narednom deceniju koristiti za rješavanje problema prezentacije, razumijevanja i analize kompleksnih procesa koji se odvijaju u dijelovima nuklearnog postrojenja (elektrane i postrojenja za preradu i odlaganje radioaktivnog otpadnog materijala), a uključeni su i simulatori koji služe za obuku i trening osoblja koje radi u nuklearnim postrojenjima.

Publikacijom su obuhvaćeni sljedeći članci (prenosimo samo naslove):

Simulacija »u jezgri«

Uloga simboličke obrade u super-računarima

ETA<sup>10</sup> sistem super-računara

Matematički problemi u simulaciji nuklearnih reaktora

Analiza tranzijenata na nuklearnim elektranama

Razvoj naprednog termo-hidrauličkog modela za simulaciju nuklearne elektrane

Analiza metodom konačnih elemenata u proračunima iz mehanike fluida

Prognoza ponašanja fluida u analizi reaktorskih tranzijenata spajanjem jedno- i tro-dimenzionalnih modela

ENEA simulator nuklearne elektrane: matematički model, performance i mogućnost korištenja

Status matematičkih modela simulatora nuklearnih elektrana za trening

Koncept i izvedba KWU analizatora nuklearne elektrane

Projektiranje, razvoj i pogon kompaktnog simulatora nuklearne elektrane

Projektiranje i analiza nuklearnih procesa s Apros-om

Uloga simulacije u projektiranju i modifikaciji sistema upravljanja

USNRC analizator nuklearnih elektrana: mogućnosti simulacije u 1990-tim

CASMO-3/SIMULATE-3; praćenje jezgre na Oskarshammu 3

CASMO-3/MBS; proračuni za Ringhals PWR

3-D proračuni cijele jezgre za dugoročno ponašanje PWR-a

Numeričke metode u naprednim simulatorima jezgri lakovodnih reaktora

Evaluacija sistemski izvedenih modela neutronske kinetike

Računarska simulacija dugoročne stabilnosti odlagališta radioaktivnog otpada u naslagama soli

Ponašanje podzemnih prostora kod dinamičkih opterećenja

Publikacija je ponajprije namijenjena onima koji se direktno bave predmetnom problematikom, a nisu mogli prisustvovati tom znanstvenom simpoziju.

Međutim, kako je i iz pregleda naslova vidljivo, publikacija će također dobro doći i svim stručnjacima koji se bave problemima energetike kao pregledni materijal današnjeg stanja tehnike i tehnologije u matematičkom modeliranju i simulaciji procesa u nuklearnoj energetici.

J. Karuza

IZDAVAČI

Zajednica elektroprivrednih  
organizacija Hrvatske  
Institut za elektroprivredu, Zagreb  
SIZ za znanstveni rad Hrvatske

Godište 37 (1988)

Zagreb 1988

Br. 6

## SADRŽAJ

<i>Aksin M.</i> : Za brže iskorištenje hidroenergetskog potencijala (Stručni rad) . . . . .	627
<i>Tonković Z.</i> : Sekcioniranje gradske mreže 110 kV na primjeru šireg zagrebačkog područja (Pregledni rad) . . . . .	631
<i>Putanec I.</i> : Pouzdanost napajanja električnom energijom u nuklearnoj elektrani (Pregledni rad) . . . . .	635
<i>Crnogorac Ž.</i> : Analiza rastalne karakteristike visokoučinskih osigurača (Stručni rad) . . . . .	641
<i>Uglešić I.</i> : Postupak proračuna otpora električnog luka nakon proboja u plinovitim dielektricima (Originalni znanstveni rad) . . . . .	647
<i>Štingl H.</i> — <i>Bradač V.</i> : Osiguranje kvalitete pri provedbi periodičkih pogonskih ispitivanja NE (Pregledni rad) . . . . .	653
<i>Novosel D.</i> : Izbor simulacijskog modela za analizu potfrekventnog rasterećenja EES-a i njegova primjena za podešenje releja prvog stupnja (Originalni znanstveni rad) . . . . .	659
<b>Vijesti iz elektroprivrede</b> . . . . .	667
<b>Iz strane stručne literature</b> . . . . .	671
<b>Oglasi</b> . . . . .	675

## IZDAVAČKI SAVJET

Dr Ivo Hrs, dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Zagreb —  
Josip Antić, dipl. inž., »Elektroprimorje« Rijeka — Anđelko  
Modrčin, dipl. inž., »Elektroprivreda« Rijeka — Anđelko  
Dujmović, dipl. inž., »Elektroslavonija« Osijek — Dragutin  
Stanić, dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Split — mr  
Damir Subašić, dipl. ecc., Republički komitet za energetiku  
— Zdenka Jelić, prof., Institut za elektroprivredu, Zagreb —  
Mladen Zeljko, dipl. inž., Institut za elektroprivredu, Za-  
greb

## UREDNIČKI ODBOR

Glavni urednik: dr Zorko Cvetković, dipl. inž.  
Urednik: Zdenka Jelić, prof.

Urednici rubrika: »Energetski sistemi«, Nikola Bilčar, dipl.  
inž. — »Hidroelektrane«, Krunoslav Begović, dipl. inž. —  
»Termoelektrane i Toplane«, Mladen Nadinić, dipl. inž. —  
Prijenos električne energije, Zdenko Tonković, dipl. inž.,  
Zagreb — »Razvod, distribucija i potrošnja električne ener-  
gije«, Josip Antić i Mladen Ježić, dipl. inž., — »Ekonomika  
elektroprivrednih poduzeća, ekonomskofinancijska i tarif-  
na pitanja, te ekonomika poslovanja«, dr Jure Šimović, dipl.  
oec. i Željko Vodopija, dipl. oec. — Tehnički urednik:  
Branko Mališ — Lektor: Vladimir Strojny, prof. — Metro-  
loška recenzija: Mladen Zeljko, dipl. inž.

Časopis je oslobođen plaćanja poreza na promet rješenjem  
Republičkog sekretarijata za prosvjetu, kulturu i fizičku kul-  
turu SR Hrvatske broj 886/1-1979.

## Uredništvo i uprava:

Zagreb, Ulica Proleterskih brigada 37

Pošt. pretinac 293, telefoni 511-455, 513-822 (328)

Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 6000  
dinara, a za poduzeća i ustanove 24000 dinara (za studente 3000) di-  
nara. Cijena pojedinog broja u prodaji 4000.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

Institut za elektroprivredu (za »Energiju«) broj 30101-603-565

Tisak i klišej: RO »Zrinski« TIZ, Čakovec



# SOUR **MONTING** **RO ENERGETIKA** ZAGREB

**RO ZA IZGRADNJU I MONTAŽU  
OBJEKATA I ENERGETSKIH POSTROJENJA**

41000 ZAGREB, Kesterčanekova 1

*Predstavništva:*

**MONTING RO ENERGETIKA**

**38000 PRIŠTINA**

Dardanja 9/a pt 277

Telefon: 038/42-900

»INGRA-MONTING«

**DÜSSELDORF**

Telefon: 21184788

Telex: 172114560

»MONTING«-ZAGREB

**PRAG**

Telefon: 297223; 292918

Telex: 122065

Telefoni:

Centrala 041/217-700

Direktor 222-499

Komercijalni sektor 214-960

Tehnički sektor 218-798

Financijski sektor 218-479

Telex: 21473 Mont yu

**VRŠI IZGRADNJU I MONTAŽU:**

- termoelektrana, toplana, energana, hidroelektrana, nuklearnih elektrana, te u sklopu istih montira sva pripadajuća postrojenja, kao kotlovska, turbinska, postrojenja za tretman industrijskih voda, mazutna gospodarstva i drugu pripadajuću opremu
- naftna, petrokemijska i procesna postrojenja
- metalurška, rudarska i postrojenja za proizvodnju obojenih metala
- čeličnih konstrukcija, unutrašnjih i vanjskih razvoda svih medija unutar termoelektrana, toplana, nuklearnih elektrana, hidroelektrana, naftnih, procesnih i metalurških postrojenja



**PROIZVODNI POGON U DUGOM SELU — PROIZVODNJA SILOSA I  
ČELIČNIH KONSTRUKCIJA**

- remonte i održavanje termoelektrana, hidroelektrana, nuklearnih elektrana, kotlovskih i turbinskih postrojenja, postrojenja za tretman industrijskih voda, mazutnih gospodarstva s rezervoarima, te remont i održavanja unutrašnjih razvoda
- remonte i održavanja naftnih, petrokemijskih, procesnih i metalurških postrojenja
- predsušionice i sušionice za drvo, različitih tipova i za različite režime sušenja, postrojenja za zaštitu čovjekove okoline
- antikorozivnu zaštitu čeličnih konstrukcija i opreme

**PROIZVODI:**

- čelične konstrukcije, cijevne mostove; stepeništa i galerije, različitih tipova i za različite namjene
- predfabricira cjevovode svih dimenzija i kvaliteta, izrađuje fazonske dijelove za energetska i druga postrojenja
- posude, rezervoare, gazometre raznih tipova, namjena i za različite medije
- projektira u suradnji sa Institutom za drvo — Zagreb, i proizvodi predsušionice i sušionice za drvo, različitih tipova i za različite režime sušenja
- raznu specijalnu ne standardnu energetska i drugu opremu za različite svrhe i namjenu

# ZA BRŽE ISKORIŠTENJE HIDROENERGETSKOG POTENCIJALA

Miroslav Aksin, Sarajevo

UDK 621.221  
STRUČNI RAD

Prikazana je mogućnost brže i efikasnije izgradnje hidroenergetskog potencijala s naglaskom na zajedničku (više partnera) izgradnju elektroenergetskih kapaciteta.

**Ključne riječi:** hidroenergetski potencijal, izgradnja.

Za Zakon o osnovama sistema društvenog planiranja i o Društvenom planu Jugoslavije, koji je donijet u 1985. godini, ocijenjeno je da će on u domenu razvoja elektroprivrede eventualno doći do izražaja tek pri donošenju sljedećeg srednjoročnog plana razvoja za period 1991 – 1995. Naime, ovaj Zakon je za elektroprivredu, kao i za druge velike tehnološki jedinstvene sisteme, propisao donošenje **zajedničkog plana** — Plana Zajednice jugoslovenske elektroprivrede (što je posebno značajno našim uslovima za razvoj proizvodnih kapaciteta) — umjesto dosadašnjih zbirnih planova na nivou te ZJE, utvrđenih po svojim komponentama u pojedinim republikama i pokrajinama. Uslovljeno postojećim stanjem i okolnostima, takav je **zbirni** i Plan razvoja za period 1986 – 1990. godine. U njemu se saglasno strategiji dugoročnog razvoja za elektroprivredu tek napominje (a ne potencira niti zacrtava) intenzivnija izgradnja elektrana na ugljenom bazenu Kosova i hidropotencijalu Drine, te drugim izrazitijim neiskorištenim domaćim potencijalima i načelno usmjerava na zajedničku izgradnju novih elektrana — putem udruživanja potencijala, rada i sredstava. Zajednička izgradnja je, naime, sigurno odgovarajuće rješenje za Zakonom postavljeni **izbor racionalnih** proizvodnih kapaciteta za sukcesivnu izgradnju. Međutim, ona za sada nije baš reprezentativno zastupljena ni kad su posrijedi objekti kontinuiteta tekućeg srednjoročnog plana. Treba se nadati da će u sljedećem planskom periodu biti izvršen odgovarajući zaokret, a da će ujedno biti u međuvremenu razriješeni problemi koji sputavaju razmah ove zajedničke izgradnje — a u korist elektroprivrede u cjelini.

Stvarno, u tehnološki jedinstvenoj elektroprivredi Jugoslavije — no koja je sastavljena od osam ekonomskih entiteta, teško se ostvaruje razvoj proizvodnih kapaciteta na principu najmanjih troškova («least cost development») za opšte jugoslavenski nivo i privredu u cjelini. Dogovaranja za izgradnju od strane elektroprivrednih organizacija koje nemaju povoljne odnosno ekonomske primarne elektroenergetske resurse s organizacijama na čijem području

takvi resursi postoje nisu još dovoljno uhvatila maha i nisu još dovoljno premošćeni republičko-pokrajinski partikularizmi. U javnosti je s tim u vezi izrečena i ocjena da dogovaranja među republikama/pokrajinama o investiranju u nove elektrane jednih na tlu drugih stoje u slijepoj ulici neriješenih temeljnih pitanja uloga i vlasništva.

Dijagnoza za ovakvo stanje je da nisu sazrela i da nisu ni nađena prava rješenja kojima bi se razriješile protivrječnosti parcijalnih interesa, tj. rješenje za njihovo usklađivanje radi optimizacije samog razvoja. Uz to ide i napomena da ta rješenja po svoj prilici ne mogu biti univerzalna i jednoznačna, odnosno da nužno trebaju biti primjerena svakoj konkretnoj problematici, a zajedničko u njima može biti samo odgovarajuće zadovoljenje osnovnih interesa svih strana u dogovaranju, tj. stvarno priznavanje pluralizma interesa i njihovo respektovanje pri usaglašavanju.

Osnovni okvir za razvoj elektroprivrede u Jugoslaviji, već kako je to pozitivnim zakonima regulisano, jeste postavka da je svaka društveno-politička zajednica (republika odnosno pokrajina) u našoj federaciji nadležna i odgovorna za obezbeđenje električne energije potrošačima na svojoj teritoriji, a putem »svoje« udružene elektroprivredne organizacije — koja u tome smislu ima i kao »koncesiju« na potencijale i resurse za proizvodnju električne energije svoga područja (domena). U takvim okvirima može se, a i treba, analizirati stanje da nam hidroenergetski potencijal nije odgovarajuće iskorišten (iako se već zagovara i znatnije oslanjanje na nuklearnu energiju) i da praktično nema **zajedničke izgradnje hidroelektrana** (osim nekolicine nužnih izuzetaka) — a koja jedino može brže logično promijeniti to postojeće stanje.

Uzmimo u razmatranje npr. »Elektroprivredu BiH« u čijem domenu se nalazi još znatan, a po ekonomičnosti pretežan, dio neiskorištenog hidroenergetskog potencijala.

Moglo bi se postaviti pitanje da li ima svoje puno i pravo opravdanje: da je nekako i uhvatila maha zajednička izgradnja termoelektrana i odgovarajuće brže iscrpljivanje neobnovljivih resursa SR BiH, a da je zajednička izgradnja hidroelektrana (a radi se o korištenju obnovljivog potencijala) kao gurnuta u stranu.

Mislim da nije potrebno mnogo dokazivati da je izgradnja hidroelektrana, posebno onih za koje je projektna koncepcija utvrđena saglasno vodoprivrednoj osnovi, zbog samih vanelektroprivrednih efekata koji se manifestuju kao razvojni impulsi za svoj region poželjna sa što skorijom realizacijom. Ovo tim prije što odlaganje izgradnje HE znači i njihovo poskupljenje, jer obeštećenja za ono što potapa uvijek samo postaju obimnija, veća. Izgradnja hidroelektrane inače znači angažovanje znatnih društvenih sredstava, čije usmjeravanje prije svega pozitivno mijenja uslove rada, privređivanja i života u širem regionu ove izgradnje. (Podsjetimo se samo šta je značila i koliko je izgradnja HE na Trebišnjici doprinijela razvoju Trebinja i šire okoline, te slično za izgradnju HE Jablanica i drugih HE na Neretvi itd.) Sve to pak nema ili ne treba i ne mora da ima nekompensovanih štetnih ekoloških uticaja — zagađenja okoline i devastacije prostora (kao sa izgradnjom termoelektrana). S druge strane, može se još istaći i činjenica da nema neke nesrazmjere na štetu HE u poređenju njenih troškova izgradnje sa troškovima izgradnje TE i potrebne izgradnje rudnika za njezino snabdijevanje ugljem — gorivom, što je verifikovano investiciono-tehničkom dokumentacijom, izrađenom bar za »perspektivnije« HE na Drini, Neretvi, Vrbasu itd.

Šta je, dakle, razlog da se ne ide na brže iskorištenje, tih resursa? Za to, u načelu, u jugoslavenskim okvirima ima realnih uslova i sa aspekta obezbeđenja investicija, kao i realnih potreba sa aspekta pravog ekonomskog rješenja za potrebne nove proizvodne kapacitete u elektroenergetskom sistemu.

Kao odgovor nameće se da je prisutno kao neko usetezanje od toga da se svoji najbolji resursi ustupe na korištenje i drugima, a s druge strane kao neka uskogrudost u priznavanju da taj resurs treba na odgovarajući način da se valorizuje za onog koji njime raspolože. Sigurno da tu ima nečeg »rezonskog«, pa uslovno nisu ni nerazumljive prisutne tendencije da se za zajedničku izgradnju ponude samo HE sa slabijim ekonomskim pokazateljima, a sve one bolje, koje bi bile u tom smislu poželjne za potrebe svog područja u narednih 10–15 godina, da se čuvaju za svoj konzum. Međutim, da li je to pravi pristup i zar nema boljeg kojim bi se premostile razlike u interesima?

Težište sadašnjih dogovaranja u vezi sa zajedničkom izgradnjom proizvodnih kapaciteta bilo je na utvrđivanju dohodovnih odnosa, oko obračunske cijene za proizvedeni kWh, sve za određenu elektranu zajedničke izgradnje i na duži rok. Kod onih koji ne raspoložu resursima izgrađivao bi se i stav na liniji obezbeđenja neke »sigurnosti za ulaganja« da korištenje kapaciteta u koji se uložilo treba da bude trajno. Bu-

dući da je baš to trajanje uspostavljenih odnosa kroz zajedničko ulaganje, uz ostala sporna pitanja (amortizacija, cijena el. energije itd.) jedno od ključnih pitanja, čini se da za to treba naći odgovarajuće (kompromisno) rješenje.

Izgleda mi da bi se problematika mogla praktično premostiti preko postavke, da ulaganje iz drugih republika i pokrajina posebno kada se radi o hidroelektranama ne treba trajno da budu vezana za elektranu za čiju izgradnju su prvobitno uložena. Naime, ta ulaganja bi se u svojoj revalorizovanoj vrijednosti (i dalje kao odgovarajuće učešće) trebala prenositi na druge nove elektrane istog »domena« (sistema), uz odgovarajuća dopunska ulaganja kako bi pripadajući kapacitet ostao na istom ili približno istom nivou. Naime, nove elektrane će, posebno uz primjenu principa (iz Zakona) o izboru ekonomski racionalnih kapaciteta za sukcesivnu izgradnju odnosno principa »least cost development«, biti specifično sve skuplje.

Korektnije rečeno i objašnjeno, to bi moglo biti po sljedećem modelu. Zainteresovana strana ulaže u realizaciju resursa A i po toj osnovi se uspostavljaju odnosi za korištenje kapaciteta K (odgovarajući dio) toga istog resursa. Ovakvi uspostavljeni odnosi održavaju se sve dok u sistemu u kojem je realizovan resurs A ne bude realizovan ekonomski manje povoljan resurs (hidroelektrana) B, te potom C itd. Tada se uspostavljaju novi odnosi, i to tako da se utvrdi kapacitet L u novorealizovanom resursu B koji odgovara revalorizovanom ulaganju koje je bilo izvršeno za resurs A. Naravno, kako je »zakup kapaciteta« stalno skuplji, treba ostaviti pravo partneru da povećanim, zapravo dopunskim ulaganjima sa utvrđenog kapaciteta L pređe ponovno na kapacitet K i održi stalan nivo za energiju (a i snagu) koja mu se obezbeđuje. Po toj shemi se dohodovni odnosi u korištenju kapaciteta po osnovi učešća u finansiranju realizacije resursa stalno prebacuju na sukcesivno nove, skuplje objekte. To »prebacivanje« može naravno biti i parcijalno ako je kapacitet resursa B manji od K; u kom slučaju se dohodovni odnosi uspostavljaju respektivno u odnosu na resurse A i B ili B i C itd.

Ovo se može zornije objasniti jendim proizvoljnim primjerom. Sve nadalje u vezi konkretno navedenih objekata su nezvanične (samo ilustrativne) procjene posebno u vezi cijena i investicija. Pretpostavimo, recimo, da se Elektroprivreda B i H odluči za privremeno ustupanje Elektroprivredi Hrvatske 100 MW u HE Buk Bijela — čemu odgovara oko 238 GWh/god., tj. da se odluči za ovakvu kompleksnu zajedničku izgradnju — budući da će ovaj objekat inače zajednički graditi sa Elektroprivredom Crne Gore (u odnosu 74:26), eventualno zbog sadašnjeg nedostatka sredstava odnosno zbog nemogućnosti da za svoj dio sama zatvori konstrukciju finansiranja. Po osnovi ovakvog zajedničkog poduhvata Elektroprivreda Hrvatske bi imala svoj dio u proizvodnji HE Buk Bijela, sa utvrđenom cijenom za pripadajući joj kWh sve dok ne budu ušle u pogon slijedeće nove HE u SR B i H — recimo HE Mrsovo i HE Tegare, kada bi nadalje i do daljnje Elektroprivreda Hrvatske ima-



la svoj udio u proizvodnji navedenih naknadno izgrađenih hidroelektrana.

Da bi se to moglo predstaviti konkretnije i brojkama, oslonit ću se prije svega na ono što je svojevrmeno bilo verifikovano — kao npr. investicije za HE Buk Bijela, u vezi sa njenim uvrštavanjem u tekući srednjoročni plan (kao »objekat kontinuiteta«), a koje su po cijenama za 1985. godinu utvrđene na 79504 mil. dinara — prema obradama za Međunarodnu banku u Tehničko-ekonomskom izvještaju (»Feasibility report«).

Danas je to, s obzirom na visoku inflaciju, već nekih 5–6 puta veći iznos — recimo uslovno za ovaj osvrt: 450 milijardi dinara.

Učešće odnosno ulog Elektroprivrede Hrvatske tako bi po današnjim cijenama trebao biti  $\frac{100}{450} \times$

$\times 450 = 100$  milijardi dinara, sa kojim ulaganjem bi se do daljnjeg obezbijedilo (u prosjeku) 238 GWh/god. Po analogiji sa obračunom iz već pomenutog »Feasibility Reporta« može se utvrditi da se radi o proizvodnji sa prosječnom sadašnjom cijenom od oko 30 din/kWh (bez dopunskih opterećavanja same cijene koštanja). Naime, računa se sa neizmijenjenim odnosom cijene koštanja i investicionog količnika od oko 0,07.

Predstavljajući daljnju inflaciju sa faktorom K, navedeni iznos učešća od 100 milijardi dinara revalorizuje se u vrijeme ulaska u pogon HE Mrsovo i HE Tegare (ovdje radi uprošćenja uslovno računam da je to u istoj godini) na  $K \times 100$  milijardi dinara.

Saglasno iskazanim investicijama za HE Buk Bijela, investicije za HE Mrsovo i HE Tegare procjenjuju se na sadašnjih 85 odnosno 570 milijardi dinara, ili na revaloriziranih ukupno  $kx$  milijardi dinara. U odnosu na ove investicije ranije učešće Elektroprivrede Hrvatske sada je dovoljno za  $\frac{100}{655} = 0,153$  njihovog

ukupnog kapaciteta od prosječno  $14 + 1\,152 = 1\,166$  GWh/god. Da bi se to sa 198 GWh/god. povećalo na ranijih prosječno 238 GWh/god, Elektroprivreda Hrvatske bi trebala povećati svoj ulog (učešće) za daljnjih  $k \times 20$  milijardi dinara  $\left(\frac{100}{100 + 20} = \frac{198}{238}\right)$ .

To konkretno može značiti da bi Elektroprivreda Hrvatske sa dopunskim učešćem od  $k \times 20$  milijardi dinara obezbijedila prosječno godišnje (recimo) 114 GWh u HE Mrsovo (80%) i 124 GWh u HE Tegare (11%). Naravno, cijena kWh bi bila veća: oko 35,3 din/kWh — 41,6 din/kWh za HE Mrsovo i 34,6 din/kWh za HE Tegare. Ova nova cijena bi važila sve dok u sistemu Elektroprivrede BiH ne bi bila izgrađena naredna hidroelektrana sa još skupljom proizvodnjom kada bi ova nova bila uzeta na odgovarajući način u obračun (parcijalno ili u cjelini).

Sa ovim (nazovimo ga) »dinamičnim« pristupom razrješava se »problem« u smislu da više nema ni razloga ni potrebe da se bolji resursi čuvaju za potrebe svoga područja; a ti resursi se, kada se za to pokaže

potreba, stvarno adekvatno valorizuju za onoga ko njima raspolaže, jer na odgovarajući način i u odgovarajuće vrijeme svojim kompletnim bonitetom utiču na cijenu koštanja električne energije u sistemu kojem pripadaju (kao što su ranije uticali i na cijenu u drugom sistemu, tj. od samog početka njihovog pogona u sistemu ZJE u cjelini).

S druge strane i partner u zajedničkoj izgradnji može biti zadovoljan, jer trajno i adekvatno održava vrijednost svoga ulaganja u zajedničkom investiranju, a može na odgovarajući način da osigura trajnije stabilan vanjski kapacitet za potrebe potrošnje svoga područja. Pored toga, sa ovakvim odnosima sporno pitanje korištenja amortizacije postaje irelevantno, tj. ne može nikom smetati da ona ostaje u RO koja direktno koristi izgradnju elektrane. Ovo rješenje je suštinski kao neka zamjena za uspostavljanje nekih zakupnih odnosno na osnovi marginalne cijene proizvodnje električne energije, u sistemima koji su ekonomska cjelina (entiteti).

Takođe sa ovakvim rješenjem otpada i potreba da se kalkulatивно obračunska cijena za isporuku električne energije iz zajednički građenog objekta (za partnera) optereti, te time i uveća, za neku »rentu« odnosno za rezultat rada u izuzetno povoljnim prirodnim uslovima — budući da ti rezultati neće biti trajnije otuđeni. Ovakvo rješenje nadalje je svakako i na liniji uvođenja u praksu izgradnje elektroenergetskog sistema (izborom racionalnih proizvodnih kapaciteta — po ekonomskom redoslijedu) principa (razvoj sa najmanjim troškovima). S druge strane, svi resursi su dostupni svima kad dođe red za njihovu izgradnju, što se može utvrditi na jugoslavenskom nivou, uz pravično određivanje prava na korištenje. Ispada i da sadašnji Ustav odnosno dosadašnja odgovarajuća ustavna rješenja nisu smetnje i da ne bi bilo razloga za dosadašnje sporo i neefikasno ulaganje u nove proizvodne kapacitete! Konačno, nije više ni sporno vrijeme zajedničkog korištenja novih hidroelektrana — ono je »trajno«, no ne po osnovu istih objekata. Na kraju možda treba istaći da sve ovo iznijeto izgleda i vrlo jednostavno, kao razrješnica za dosada sporna pitanja i probleme; no činjenica je da su obično »prave stvari« uvijek i jednostavne (kao npr. i »Kolumbovo jaje«).

Smatram da ovakav prilaz zaslužuje pažnju i dalju razradu, pa se istoga iznosi na šire upoznavanje, razmatranje, kritiku i dorade — ukoliko se pokaže prihvatljivim kao razrješnica problema sa kojim smo već dugo suočeni u Jugoslavenskoj elektroprivredi.

#### FOR FASTER USAGE OF HYDRO POWER POTENTIALS

In the paper is presented a method for faster and more efficient usage of hydro power potentials with stress on the common (several investors) construction of electric power plants.

#### FÜR EINE SCHNELLERE NUTZUNG DER HYDROENERGETISCHEN POTENTIALE

Hier wird die Möglichkeit eines schnelleren und günstigeren Ausbaus des hydroenergetischen Potentials mit der Betonung auf den gemeinsamen (mehrere Partner) Ausbau der elektroenergetischen Kapazität dargestellt.

#### БЫСТРЕЕ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ

Представлена возможность более быстрого и эффективного сооружения гидроэнергетического потенциала с ударением на совместное (несколько партнеров) сооружение электроэнергетических мощностей.

Naslov pisca:

Miroslav Aksin, dipl. inž.  
Elektroprivreda BiH Sarajevo,  
71000 Sarajevo,  
Jugoslavija

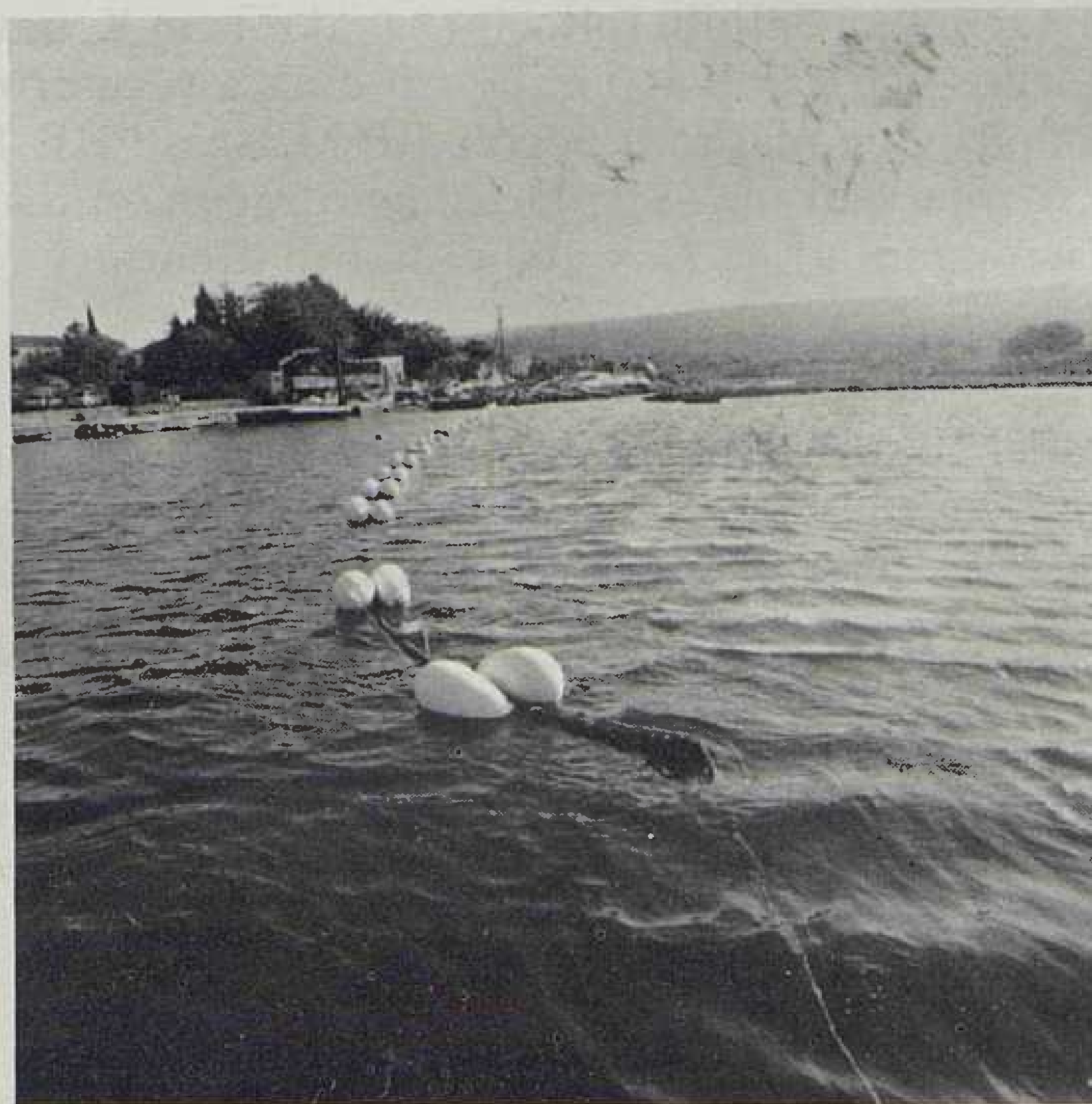
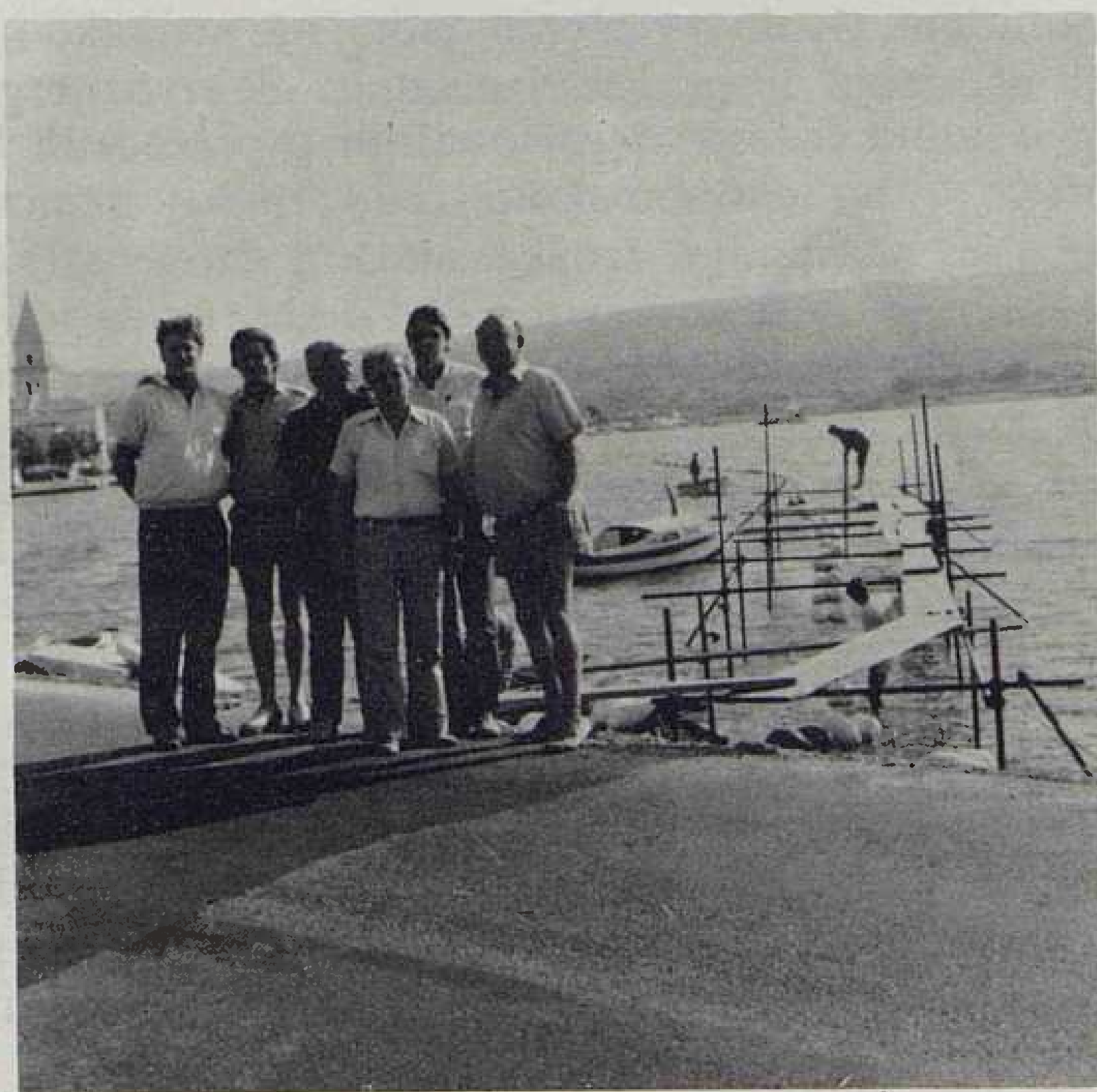
Uredništvo primilo rukopis:  
1988 – 04 – 11



## elektrolux-rijeka

**ELEKTROTEHNIČKA RADNA ORGANIZACIJA**  
RIJEKA — ULICA ĐURE STRUGARA bb  
TELEGRAM: ELEKTROLUX — TELEFON: 516-333  
TELEX: 24374 YU ELUX

SVOJE POSLOVNE PARTNERE OBAVJEŠTAVAMO DA SMO SA »ELEKTROPRI-VREDOM« RIJEKA SKLOPILI UGOVOR NA MONTAŽI I POLAGANJU PODMOR-SKOG KABELA 110 kV NA LOKACIJI OSOR, POVEZIVANJE OTOKA CRES — LO-ŠINJ.



U ZAJEDNIČKOM PAKET-ARANŽMANU SUDJELUJU

- **I. K. S.** — SVETUZAREVO KAO PROIZVOĐAČ KABELA I KABELSKOG PRI-BORA
- **ELEKTROPROMET** — ZAGREB KAO VELETRGOVINA — ISPORUČILAC
- **ELEKTROLUX RIJEKA** KAO IZVOĐAČ RADOVA NA MONTAŽI I POLAGANJU KABELA

RO **ELEKTROLUX**

# SEKCIONIRANJE GRADSKOJE MREŽE 110 kV NA PRIMJERU ŠIREG ZAGREBAČKOG PODRUČJA

Mr. Zdenko Tonković, Zagreb

UDK 621.316.1.005

PREGLEDNI RAD

Obraduje se problem sekcioniranja 110 kV mreže Zagreba. Pokazuju se razlike između uzdužnog i poprečnog sekcioniranja. Napokon, upućuje se na nužno pojačanje mreže u oba slučaja.

**Ključne riječi:** mreža, sekcioniranje, kratki spoj, pouzdanost.

Opterećenje i razvijenost mreže šireg zagrebačkog gradskog područja postupno sve više aktualiziraju pitanje sekcioniranja mreže. Na tu potrebu upućuju:

- narasle struje kratkog spoja, te
- nepouzdanost i neselektivnost zaštite (bilo zbog utjecaja međunapajanja bilo zbog kratkih dionica vodova),

a mogli bi se utjecati i na:

- harmoničniju raspodjelu napajanja iz oba čvorišta superponiranog napona (što je specifičan zagrebački problem).

Inicirajući istraživanja pogonsko-energetske problematike sekcioniranja formulirane su u pristupu dvije osnovne filozofije [1]:

- uzdužno sekcioniranje, u kojem se koriste oba sistema sabirnica u postrojenjima s dvostrukim glavnim sabirnicama, a razdvajanje se provodi otvaranjem prekidača u spojnom polju,
- poprečno sekcioniranje, u kojem nije nužno koristiti oba sistema sabirnica, a razdvajanje se provodi otvaranjem prekidača ili između sekcija sabirnica (ako su sabirnice uzdužno sekcionirane) ili u vodnom polju učvorenih vodova.

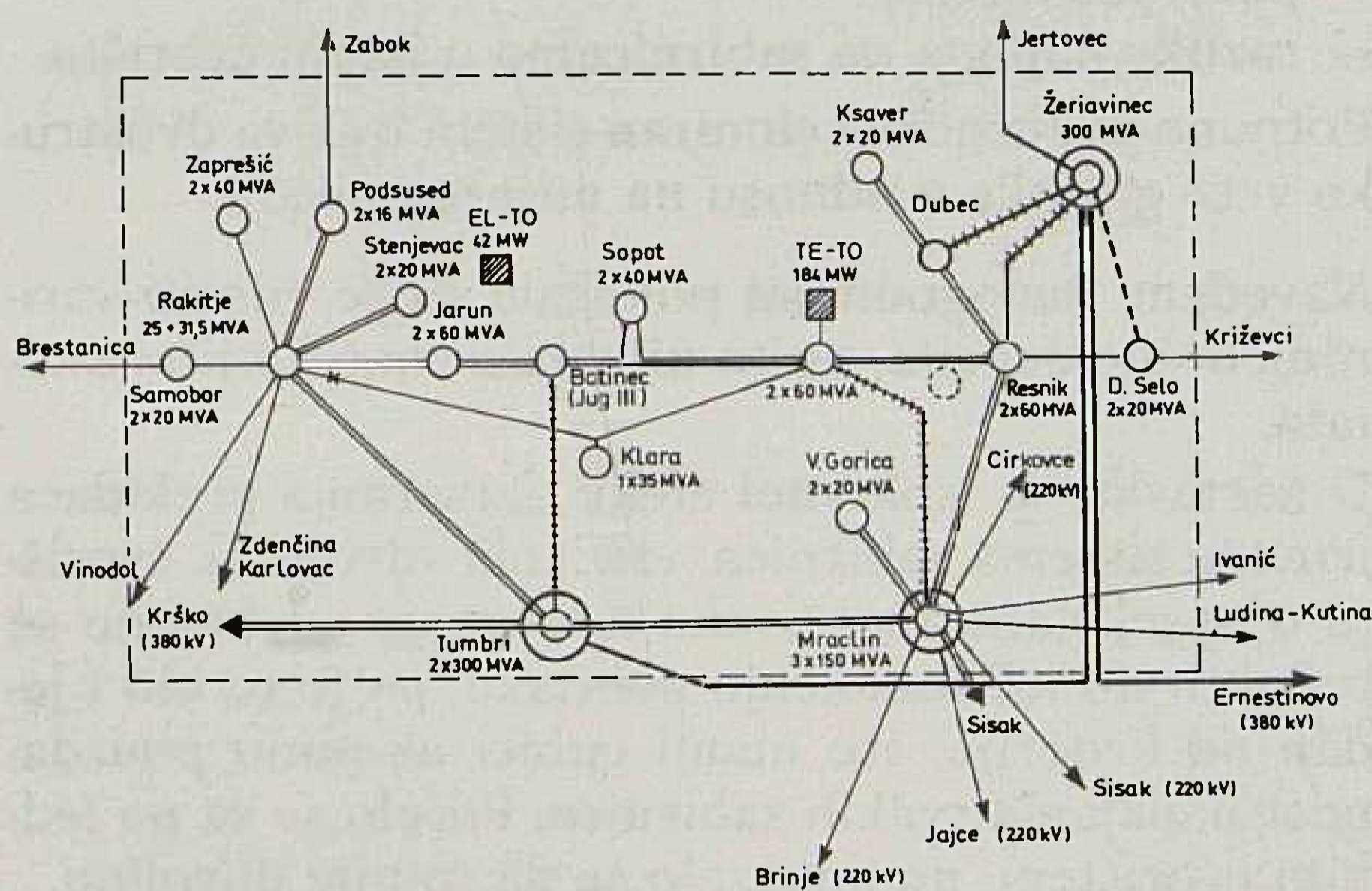
U oba pristupa nastojao se svesti na minimum utjecaj posljedica koje općenito izaziva sekcioniranje ovako koncentrirane mreže: smanjenja pouzdanosti i povećanja gubitaka.

Težište ispitivanja položeno je na iznalaženje mogućnosti uzdužnog sekcioniranja, u kojem sva čvorišta ostaju dijelom svog konzuma u jednoj zatvorenoj petlji, dok je poprečno sekcioniranje lakše zamislivo (i vjerojatno lakše izvedivo) te kao problem trivijalnije.

Ispitivanja su obavljena na modelu mreže 110 kV šireg zagrebačkog područja na računarskom stroju (tzv. segment »Zagreb makro«), slika 1.

Elektroenergetske podloge razrađene su za stanje vršne potrošnje uz različito angažiranje izvora na

području »Elektroprivrede Zagreb«, s prvom etapom nove TS 400/110 kV Zagreb-istok u pogonu (čime se na zagrebačkom području potpuno ostvaruju preduvjeti za otvaranje mreže).

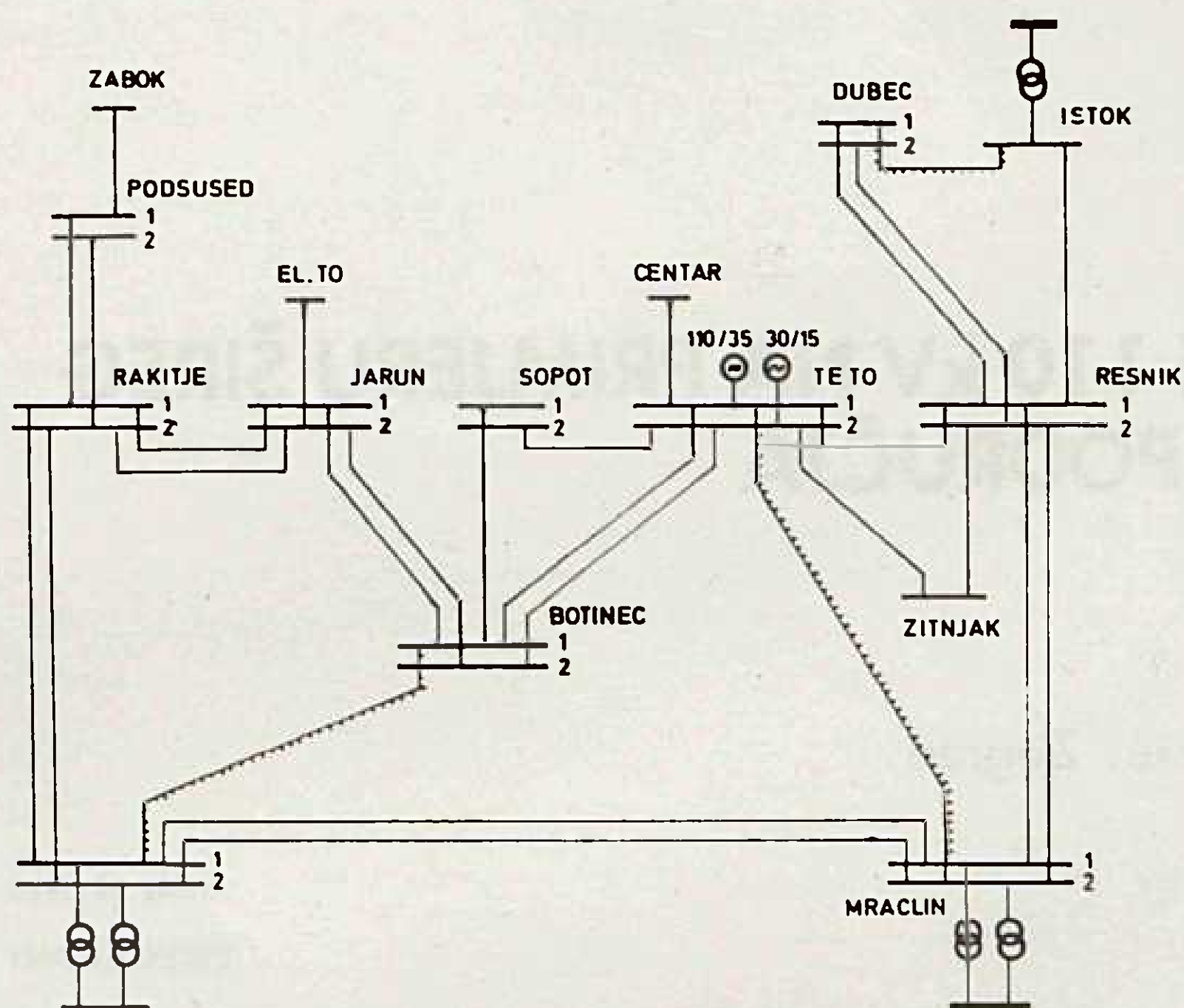


Slika 1.

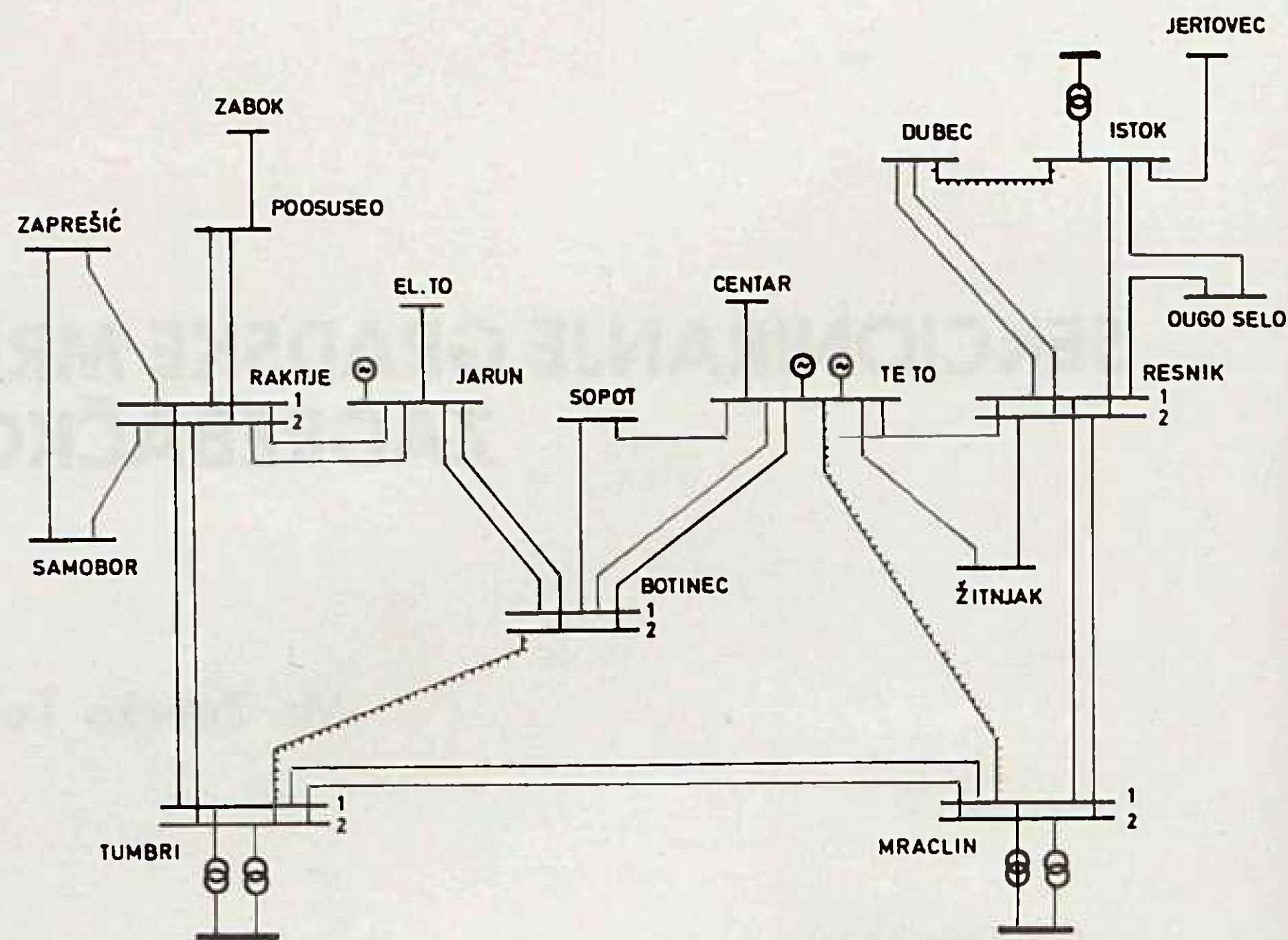
Najprije je na modelu nesekcionirane mreže dobivena osnovna informacija o raspodjeli opterećenja po vodovima i jednom serijom ispitivanja potvrđeni su raniji zaključci o potrebnim pojačavanjima sistema (iz prethodnih studija zagrebačkog područja i Hrvatske u cjelini).

Početna ispitivanja mogućnosti *uzdužnog sekcioniranja* obavljena su pretpostavljajući da u svim čvorištima zagrebačkog područja postoje dvostruke glavne sabirnice 110 kV. Polazeći od pretpostavke da je povoljnija što više sekcionirana mreža, počelo se otvaranjem prekidača u svim čvorištima da bi se zatim došlo do jedne realno prihvatljive topologije (sl. 2).

Tako su u početku formirane dvije paralelne petlje u kojima je uzamčeno svako čvorište preko jednog od pretpostavljena dva sistema sabirnica: kao da su u svakom čvorištu otvorena spojna polja, a vodovi, transformatori i tereti simetrično raspodijeljeni na



Slika 2.



Slika 3.

svaki od sistema sabirnica (osim tamo gdje to nije moguće zbog učvorenja neparnog broja trojki).

Ispitivanja ovakvog ekstrema upozorila su na problem uzdužnog sekcioniranja:

- kruženje energije između susjednih čvorišta,
- nejednoliko opterećenje trojki na vodovima i transformatora u čvorištima napajanja iz superponirane mreže,
- razlike napona na sabirnicama u istom čvorištu.

Potpuno uzdužno sekcioniran sistem izaziva dvostruko veće gubitke u odnosu na nesekcionirani.

Navedene nepogodnosti pokušale su se riješiti variranjem incidencija, no to nije dalo značajnijih rezultata.

U nastavku su ispitivani efekti zatvaranja prekidača između sistema sabirnica: vraćanja »dvojnih« čvorišta u nesekcionirana. Svako zatvaranje adekvatno se reflektiralo na smanjenju gubitaka, pa je to bio i jedan od kriterija: što manji gubici uz punu pouzdanost napajanja svakih sabirnica. Počelo se sa po jednim čvorištem, no pokazalo se da to nije dovoljno.

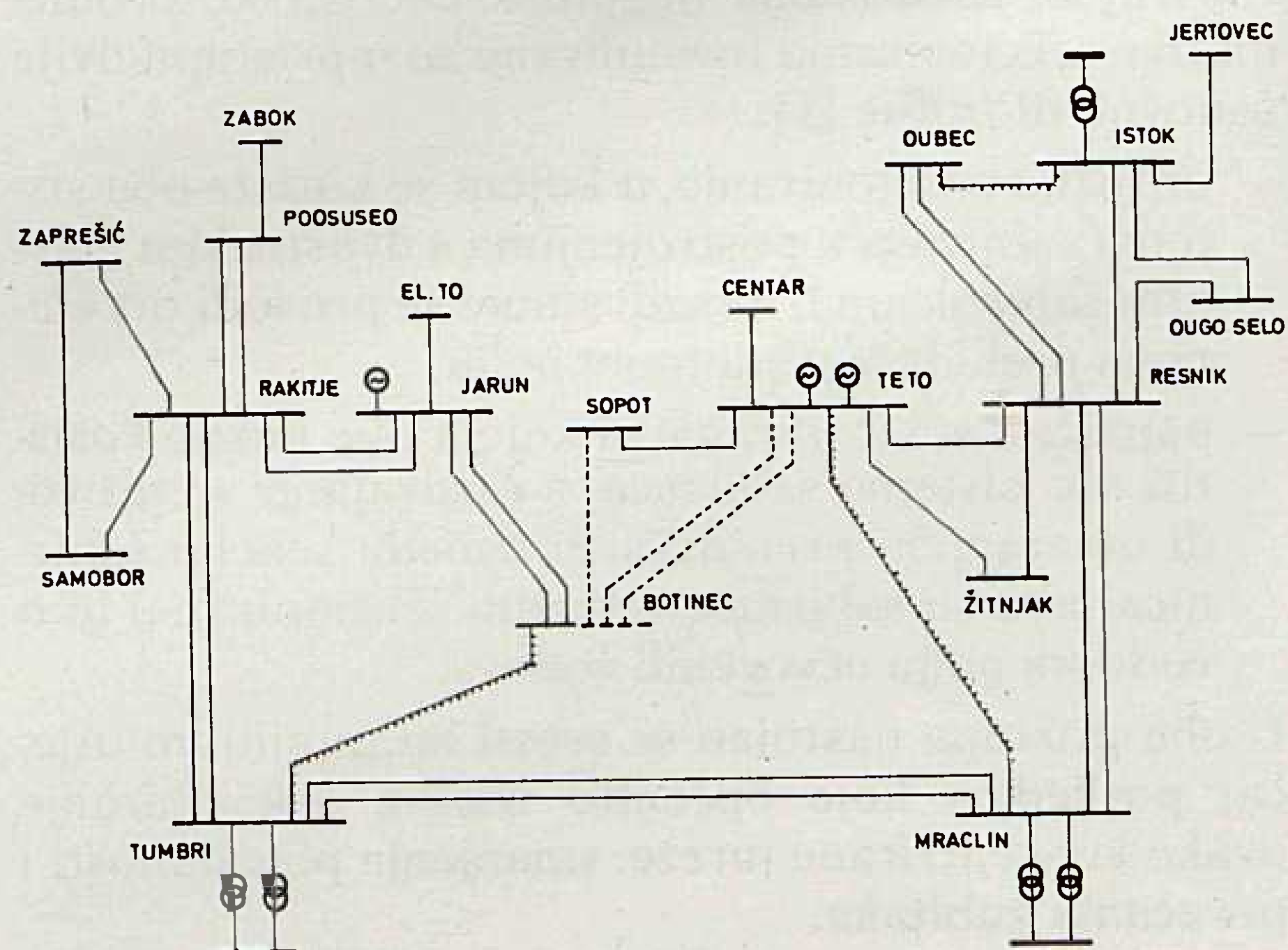
Konačno kompromisno rješenje koje maksimalno zadovoljava sve težnje koje su potaknule sekcioniranje nađeno je u zatvaranju spojnih polja u svim čvorištima injekcije energije — tako da je uzdužno sekcioniranje zagrebačke mreže provedeno Tumbri i Mraclinu, te Rakitju, Botincu i Resniku (slika 3).

Ovo normalno stanje dalje je ispitivano, varirajući angažiranje izvora i kvarove (ispade jedne ili obje trojke).

Pokazuje se da je za siguran pogon potrebno pojačati mrežu: prije svega uvesti u Tumbri »vinodolske« vodove za Rakitje. Naime, u realnom slučaju da se zagrebačko napaja samo iz superponirane mreže ispad »teškog« voda Tumbri — Botinec uzrokuje preopterećenje obiju trojki između sistema sabirnica u Tumbri i Rakitju. Trebalo bi, dakle, ovaj vod osigurati ili od ispadanja ili od posljedica ispada: ili izgradnjom paralelnog voda ili pojačavanjem obiju trojki veze Tumbri-Rakitje. Nešto je lakša situacija ako rade izvori kada prijenos pada malo ispod termičke granice. Treba naglasiti da ovu nužnost ne na-

meće sekcioniranje, nego je to potrebno i u slučaju nesekcioniranog pogona. Eventualna alternativa sa izgradnjom drugog »teškog« voda Tumbri-Botinec (i inače planiranog u kasnijoj perspektivi) tražila bi zatvaranje spojnog polja u Botincu.

Poprečno sekcioniranje realizirano je najlogičnijim otvaranjem: vodnih polja za Sopot i TETO u Botincu. Time se zagrebačka mreža raspada u dva podsistema, zapadni i istočni — povezana sa superponiranom mrežom preko TS 400/110 kV Tumbri odnosno TS 220/110 kV Mraclin i nove TS 400/110 kV Zagreb istok — te vodom 110 kV između njih. Čvorište Sopot može imati dvostrano napajanje ako bi se koristio drugi sistem sabirnica u Botincu. Tako su sva čvorišta u petlji (slika 4).



Slika 4.

U nastavku su opet ispitivani kvarovi (ispadi vodova ili trojki) u različitim elektroenergetskim stajanjima. Provedena ispitivanja pokazuju da će biti potrebna druga transformatorska jedinica u TS Zagreb-istok te potpuno rekonstruiran priključni vod iz tog čvorišta do Resnika (kao »teški«). I u ovakvoj koncepciji sekcioniranja rezultira potreba pojačavanja veze Tumbri-Rakitje.

Može se zaključiti da su predložena pojačavanja mreže nužna bez obzira na sekcioniranje mreže — zapra-

vo da tek potpuno izgrađeni sistem na ovakvom jednom ograničenom teritoriju omogućava razmišljanje o razdvajanju sabirnica.

Dalji rad usmjeren je na ispitivanje konkretnih mogućnosti srednjonaponske mreže u pogledu prebacivanja (podjele) na čvorišta osnovnog napajanja, detaljni uvid u opremljenost i tehničke mogućnosti čvorišta 110 kV, te istraživanje posljedica na struju kratkog spoja i rad distantne relejne zaštite u rezervnom stupnju u odnosu na međunapajanje mjesta kvara. Nastojat će se prikupiti i inozemna iskustva.

Posebnu pažnju trebat će posvetiti vođenju pogona cijepane mreže i koordiniranu suradnju RDC-a i DCD-a, jer svako konkretno uklopno stanje uvjetuje odgovarajuću »sekcioniranu topologiju«.

#### SECTIONING OF 110 kV URBAN NET ON THE EXAMPLE OF BROAD AREA OF ZAGREB CITY

In the article are presented problems of 110 kV net sectioning in the city of Zagreb. There are differences between longitudinal and transversal net sectioning.

#### DAS SEKTIONIEREN DES STADTNETZES 110 KV AUF DIE ANWENDUNG DES BREITEREN ZAGREBER GEBIETES

Hier wird das Problem des Sektionierens des 110 kV Zagreber Netzes behandelt. Man zeigt Unterschiede zwischen dem Sektionieren längs und quer. Man deutet auf die notwendige Verstärkung des Netzes in beiden Fällen.

#### СЕКЦИОНИРОВАНИЕ ГОРОДСКИХ СЕТЕЙ 110 кВ В ПРИМЕРЕ БОЛЕЕ ШИРОКОЙ ЗАГРЕБСКОЙ ЗОНЫ

Разрабатывается вопрос секционирования сети 110 кВ г. Загреб. Показано различие продольного и поперечного секционирования. В результате указывается на необходимость усиления сети в обоих случаях.

#### LITERATURA

- [1] Z. TONKOVIĆ: »Sekcioniranje prijenosne mreže 110 kV na području Zagreb makro« (Elektroenergetska analiza), Institut za elektroprivredu, Zagreb 1987.

Naslov pisca:

**Mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb,**  
**Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988 – 05 – 04

# TPK

INDUSTRIJA TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA,  
PROCESNE OPREME I KOTLOVA s n. sol. o. OOUR-a,  
ZAGREB



Telefon: (041) 216-666

\*

Telegram: TEPEKA — Zagreb

\*

Telex: 21-319 YU TPK ZG

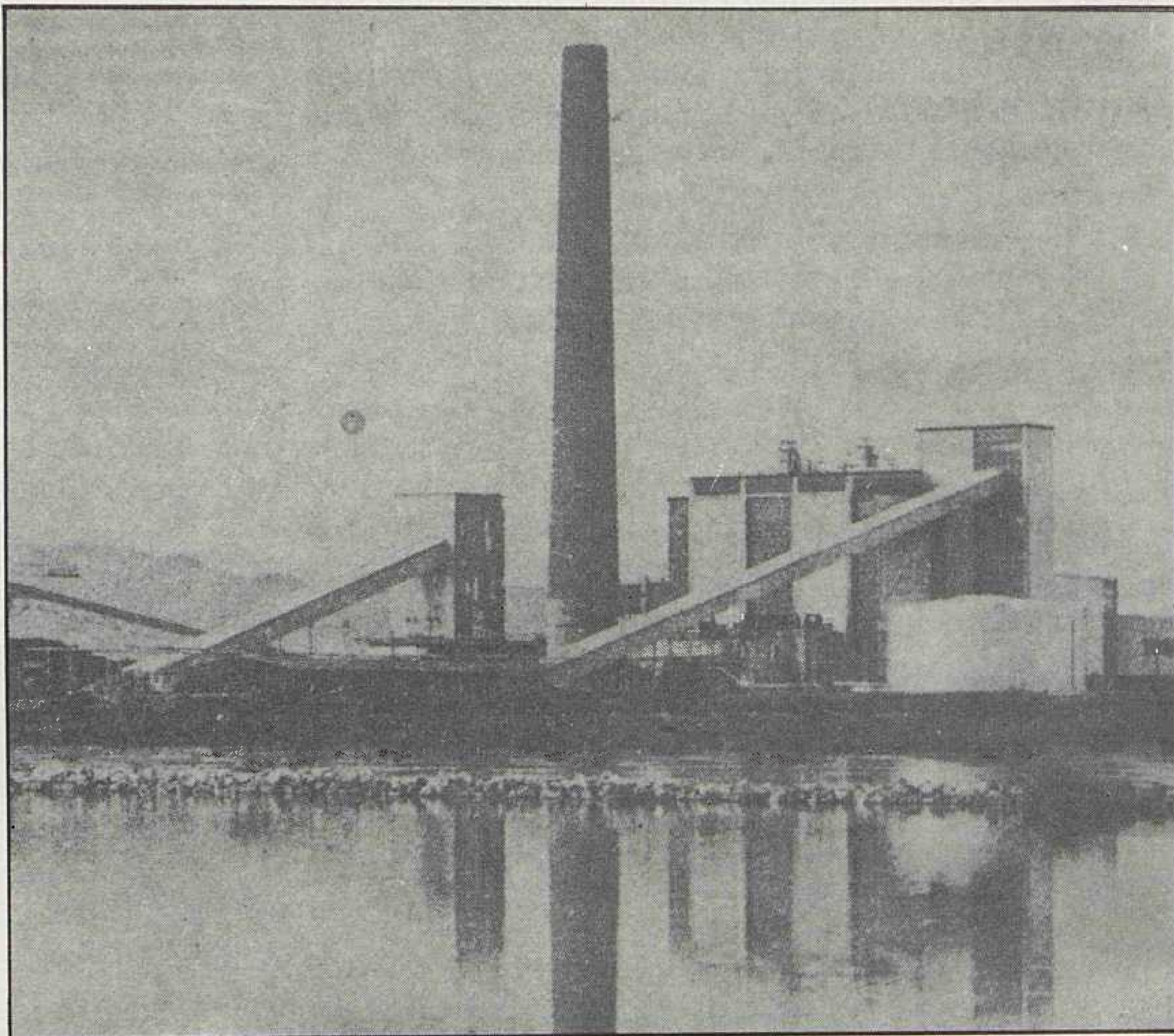
## Projektira

## Proizvodi

## Konstruira

## Montira

## Izvodi



### STACIONARNE KOTLOVE

po vlastitoj dokumentaciji i u suradnji do najvećih učina, tlakova i temperatura pare ili vode: za centralna grijanja • za daljinska grijanja • za tehnološke procese • za pogon parostrojeva • za baznu energetiku

### BRODSKE KOTLOVE

po vlastitoj dokumentaciji i po licenci: glavne: • pomoćne: na naftu, na ispušne plinove, kompozitne itd.

### ELEMENTE KOTLOVA

bubnjeve • cijevne sisteme • zagrijače vode • zagrijače zraka • pregrijače pare • čelične konstrukcije itd.

### OPREMU KOTLOVNICA

uređaje za kemijsku pripremu vode • uređaje za toplinsku pripremu vode • cjevovode • hladnjake pare • spremnike goriva • razne posude pod tlakom • prečistače dimnih plinova • limene dimnjake • uređaje za transport goriva itd.

### UREĐAJE ZA LOŽENJE

nepokretne roštilje • pokretne roštilje • mlinska ložišta • plinska ložišta • pneumatska ložišta • ložišta za drvenu piljevinu i otpatke • ložišta za ulja • ložišta za plin • drobilice i izbacivače šljake itd.

### OPREMU ZA PROCESNU INDUSTRIJU

za petrokemijsku industriju • za farmaceutsku industriju • za prehrambenu industriju • za industriju građevinskog materijala • za metalurgiju itd.

### BRODSKU OPREMU

spremnike • bojlere • hidrofore • rashladnike • zagrijače itd.

### ARMATURE

ventile ravne, kose i kutne: zaporne, zapornoodbojne, odbojne, regulacione, sigurnosne • hvatala nečistoće • glave za napajanje • termodinamička odvajala kondenzata • kondenzne lonce • vodokaze • regulatore vodostaja • ispusne pipe • slavine • prirubnice za navarivanje itd.

### ELEMENTE ENERGETSKIH UREĐAJA

posude pod tlakom • izmjenjivače topline • razne spremnike • podnice itd.

### OPREMU ZA TEHNOLOŠKE PROCESE

za zagrijavanje i toplinske obrade • za transport limova, profila i cijevi • pomoćnu za zavarivanje • za uvaljavanje cijevi itd.

### PRIBORE

za pogonska ispitivanja vode • za utvrđivanje kvalitete radiograma • za toplinska mjerenja itd.

### SERVISIRANJE ENERGETSKIH POSTROJENJA REKONSTRUKCIJE ENERGETSKIH POSTROJENJA LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

defektoskopska • kemijska • metalografska • mehanička itd.

### ATESTACIJU ZAVARIVAČA

### RAZVOJNA ZNANSTVENA ISTRAŽIVANJA

# POUZDANOST NAPAJANJA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM U NUKLEARNOJ ELEKTRANI

Mr. Ivan Putanec, Zagreb

UDK 621.039.56

PREGLEDNI RAD

Analiza pouzdanost napajanja električnom energijom u nuklearnoj elektrani provodi se i radi ocjenjivanja jednopolnih shema vlastite potrošnje nuklearnih elektrana na različitim proizvođača.

Pouzdanost napajanja električnom energijom vrlo je važan aspekt jer gubitak svih izvora izmjeničnih napajanja može izazvati tešku nezgodu — taljenje jezgre reaktora.

**Ključne riječi:** nuklearna elektrana, pouzdanost, napajanje vlastite potrošnje.

## 1. UVOD

Nuklearna elektrana — NE opskrbljuje se električnom energijom za vlastitu potrošnju iz dva vanjska izvora — mreže 400 kV i 110 kV, i iz dva unutarnja izvora: generatora dizel-generatora. Sva četiri izvora napajaju dvije ili tri srednjonaponske sabirnice sigurnosne vlastite potrošnje — SSSVP, koje su na sl. 1. do 3. označene brojevima 7, 8 i 9.

Srednjonaponske sabirnice sigurnosne vlastite potrošnje napajaju sigurnosne sustave nuklearne elektrane za odvođenje zaostatne topline reaktora i za sprečavanje širenja radioaktivnog inventara izvan zaštitne reaktorske posude.

Postavlja se pitanje kolika je pouzdanost napajanja SSSVP, odnosno kolika je vjerojatnost da sve SN-sabirnice SVP ostanu istovremeno bez napona. Takav događaj naziva se station blackout ili, u nas, gubitak svih izvora izmjeničnog napajanja; kraće, ispad — beznapajanje (termin beznapajanje na odgovarajući način označava gubitak svih izvora izmjeničnog napajanja).

Gubitak izmjeničnog napajanja jedan je od značajnih događaja koji može dovesti do ozbiljnog oštećenja, tj. do taljenja jezgre reaktora sa svim negativnim posljedicama. Da se smanji utjecaj beznapajanja, treba u projektu NE posebnu pažnju obratiti na sposobnost održanja integriteta brtvi reaktorskih rashladnih pumpi, na kapacitet aku-baterija i funkcioniranje instrumentacije u nastaloj pogonskoj situaciji.

Zahtjeve u vezi s beznapajanjem za NE s lakovodnim reaktorima definira u SAD nacrt (draft) Regulatory Guide, koji je izdao 1986. g. američki NRC — Nuclear Regulatory Commission pod naslovom Station Blackout. Intencija te preporuke je da se u NE održava visoko pouzdan sustav napajanja izmjeničnim naponom, da se usavrše procedure i izvježba osoblje za što brže obnavljanje sustava izmjeničnog napajanja i

da se NE osposobi da može izdržati beznapajanje određeno vrijeme ovisno o vjerojatnosti beznapajanja i brzini obnavljanja sustava izmjeničnog napajanja.

## 2. DEFINICIJA POUZDANOSTI U OVOM RADU

Budući da je pouzdanost vrlo kompleksan pojam, potrebno ga je ukratko definirati, odnosno precizirati za ovdje razmatranu svrhu. Gledano u širem smislu, pouzdanost kao pojam nije kvantitativna veličina, već kvalitativno obilježje koje se može izraziti određenim brojem kvantitativnih veličina [1].

Može se definirati da je pouzdanost sposobnost objekta — postrojenja da ispunjava određene zadatke u određenim uvjetima. Pripadajuće kvantitativne veličine su vjerojatnost bezotkaznog rada, vjerojatnost otkaza, intenzitet otkaza itd. Sve te kvantitativne veličine su parametri vremenske funkcije koja se u definiciji pouzdanosti ne spominje. U praksi se samo jedan parametar pouzdanosti, vjerojatnost bezotkaznog rada, često uzima kao pouzdanost. Krivulja vjerojatnosti bezotkaznog rada naziva se krivuljom pouzdanosti, a diskretna vrijednost s krivulje kao pouzdanost. Prema matematičkome modelu opće pouzdanosti [2], pouzdanost je definirana kao vjerojatnost da je slučajno stanje u izabranom području prostora i vremena prihvatljivo.

Prema definiciji IEC 271/74 pouzdanost je sposobnost promatranog sustava da obavlja zadanu funkciju određenim uvjetima i u određenom vremenskom razdoblju. S obzirom na određeno vremensko razdoblje pouzdanost je promatranog sistema to veća što je vjerojatnost pojave kvara manja. U razmatranom primjeru pouzdanost napajanja električnom energijom u NE je to veća što je manji broj ispada jedne, odnosno svih SN-sabirnica sigurnosne vlastite potrošnje u promatranom razdoblju. U ovom radu

pouzdanost napajanja NE električnom energijom uspoređujemo (uobičajeno iako neprecizno) samo putem jedne karakteristike, a to je funkcija bezotkaznog rada, odnosno funkcija vremena do kvara, tj. istovremenog ispada SN-sabirnica sigurnosne vlastite potrošnje.

Za razliku od pouzdanosti, često se pogrešno upotrebljava pojam raspoloživosti, koja određuje vjerojatnost da u određenom trenutku t sustav obavlja svoju funkciju.

### 3. UTJECAJ ISPADA — BEZNAPAJANJA NA OZBILJNO OŠTEĆENJE JEZGRE REAKTORA

Beznapanje — istovremeni gubitak svih izmjeničnih izvora napajanja malo je vjerojatan događaj [3], ali zabilježen je u SAD u 1983. g. u NE Fort St. Vrain i u 1984. g. u NE Susquehanna. Srećom nije bilo ozbiljnih posljedica. U Švedskoj je u prosincu 1983. zabilježen djelomični raspad EES-a, ali u nuklearnim elektranama na tom području proradili su i zadovoljavajuće radili svi dizelgeneratori (24 komada).

Ispad — beznapanje ima najveći utjecaj na odvođenje zaostatne topline jezgre. Sigurnosna napojna pumpa npr. u slučaju ispada može biti pogonjena parnom turbinom ili samo za tu svrhu predviđenim dizel-pogonom. Lakovodni reaktori imaju prirodnu sposobnost odvođenja topline u kratkom vremenu, ali sposobnost održavanja kontrole za vrijeme beznapanja veoma ovisi o specifičnostima projekta sigurnosnih sistema, o kvaliteti procedura za nuždu i o sposobnostima operatera.

Nacionalni i nadnacionalni regulatorni organi poklanjaju veliku pažnju nezgodi ispad — beznapanje, pa tako IAEA — International Atomic Energy Agency u izvještaju Sigurnosni aspekti u ovisnosti o beznapanju TEC DOC-332/1985-03 opisuje ispade koji su se dogodili. Dalje se u Izvještaju preporučuje provjeravanje sistema izmjeničnog napajanja i gdje je »praktično« njihovo poboljšanje moguće promjenom procedura ispitivanja, provjerom i uvježbavanjem osoblja u smislu skraćivanja trajanja beznapanja i korištenjem sustava koji su raspoloživi za vrijeme ispada. Pod »praktičnim« poboljšanjem, tj. modifikacijom sustava podrazumijeva se takav odnos trošak/korist u području nuklearne sigurnosti pri kojem su stvarni troškovi modifikacije niži od ekvivalentne vrijednosti smanjenog rizika.

Početkom 1985. g. NRC je izdao izvještaj NUREG-1032-Ocjenjivanje nezgode beznapanje u nuklearnim elektranama, u kojem daje pregled NRC-ovih studija o tom problemu, glavne uzroke i rješavanje sigurnosnih zahtjeva za vrijeme beznapanja.

Prema već spomenutom Reg. Guide Station Blackout za smanjenje procijenjenog rizika od beznapanja i taljenja jezgre zahtijeva se da nuklearna elektrana mora izdržati gubitak izmjeničnog napajanja minimalno 4 ili 8 sati (ovisno o identificiranim faktorima koji znatno utječu na rizik beznapanja) i da pouzdanost startanja dizel-agregata na zahtjev mora biti

0,95 ili bolja (s malom osjetljivošću na zajedničke kvarove-common mode).

S obzirom na to da je vjerojatnost beznapanja to manja što su vanjski (i unutarnji) izvori napajanja pouzdaniji, zanimljivo je, prema spomenutom NUREG-u 1032, vidjeti u tablici 1. podatke o gubicima vanjskih izvora napajanja u SAD od 1968. g. za ukupni broj elektrana — godina 533.

Tablica 1.

Uzroci gubitaka vanjskih izvora	Broj gubitaka	Frekvencija ispada po elektrana-godini	Prosječno trajanje (h)
uzroci u elektrani	30	0,056	0,3
ispad mreže	10	0,019	0,7
jake oluje	6	0,011	2,6
ukupno	46	0,086	0,5

Kako se vidi iz tablice 1, najviše gubitaka vanjskih izvora ima zbog loših procedura, funkcioniranja i grešaka operatera, ali su ti gubici kratkog trajanja i na njihov broj se može utjecati pozitivno. Za nuklearne se elektrane posljednjih godina zahtijeva da u slučaju gubitka vanjskih izvora generator ostaje u pogonu, tj. da NE izdrži prijelaznu pojavu, momentalno smanjenje snage generatora od npr. 100% na 5% i da dalje radi na toj snazi vlastite potrošnje. Kod postojećih elektrana to se malokad postiže; u NE Krško to nije ostvareno. Za NE Prevlaku to se izričito zahtijeva. Smanjenje trajanja ispada vanjskih izvora može se postići izgradnjom plinske ili hidroelektrane u neposrednoj blizini nuklearne elektrane.

Iskustveno i praktički, jedina zamjena vanjskih izvora su unutarnji izvori napajanja — dizel-generatori — DG dva do četiri po reaktoru. Za dizel-generatore najvažnija je pouzdanost startanja. Postoji u američkoj regulativi NRC-ov Regulatory Guide 1. 108-8/1977. Periodičko ispitivanje dizel-generatora u NE, koji detaljno propisuje gustoću ispitivanja ovisno je o broju neuspješnih startova na posljednjih 100 pokretanja i mjere koje valja poduzeti ako je broj neuspješnih pokretanja velik — 7 ili više na 100 pokusa. Spomenuti NUREG-1032 daje prema tablici 2. rezultate pouzdanosti startanja za 45 dizel-generatora promatranih u 194 reaktor-godine, odnosno 450 DG-godine.

Tablica 2.

Vrste startanja zbog	Broj zahtjeva za startanjem	Broj neuspješnih startova	Greška po zahtjevu
ispitivanja	13665	253	0,015
ispad vanjs. izvora	100	5	0,05
svih zahtjeva sigurnosnih sustava	539	14	0,026

U tablici 2. dane su realne, zabilježene veličine koje vrijede za startanje dizel-generatora, a sve ostale ve-



ličine pouzdanosti napajanja povezane su s takvim realnim DG. Stoga je razumljivo i važno da dizel-generatori moraju imati kvalifikaciju uspješnog startanja (postoje vrlo strogi propisi; npr. američki IEEE-387-1984, koji daje proceduru za kvalifikaciju 1E dizelgeneratora s aspekta uspješnog startanja, dozvoljava tri neuspješna starta na 300 pokretanja).

Da bi »klasična« PWR nuklearna elektrana (SAD, Westinghouse) mogla prevladati u toku nekoliko sati ispad — beznapajanje bez obziljnog oštećenja jezgre, mora postojati sigurnosna napojna pumpa pogonjena parnom turbinom (u pogonu potpuno nezavisna od izmjeničnog napajanja), zadovoljavajuće napajanje istosmjernim naponom iz baterija i izmjeničnim naponom iz DC/AC-pretvarača za instrumentaciju i elektromotorne ventile te komprimirani zrak za pneumatske ventile.

Izvan SAD projekti PWR nuklearnih elektrana su modificirani u smislu povećanja sposobnosti da izdrže ispad svih izmjeničnih izvora napajanja.

U Francuskoj je dodan posebni parnom turbinom pogonjeni generator, koji napaja aku-baterije i pumpu za održanje integriteta brtvi reaktorskih rashladnih pumpi, pa se na taj način produžava vrijeme za koje NE može izdržati beznapajanje.

U Velikoj Britaniji za NE Sizewell B projekt je poboljšan uvođenjem dva mala dizel-generatora za punjenje aku-baterija predviđenih za 12 satno pražnjenje, dvije sigurnosne parnom turbinom pogonjene napojne pumpe i s još dvije parnom turbinom pogonjene (charging) pumpe za punjenje.

U SR Njemačkoj, Belgiji i Švicarskoj za PWR NE predviđene su dodatne napojne pumpe dizelski pogonjene i smještene u posebnoj zgradi izvan reaktorske zgrade. Prema spomenutom IAEA-izvještaju, sovjetske PWR elektrane podnose beznapajanje više sati bez dodatne opreme.

U oba dosad spomenuta izvještaja (IAEA/TEC DOC — 332 i NUREG — 1032) ocjenjuje se da je zbog uzroka — beznapajanje vjerojatnost znatnog oštećenja jezgre reaktora reda  $10E-5$  na godinu.

Početkom 1967. godine NRC je izdao nacrt izvještaja NUREG-1150 prema kojem su na primjeru pet NE u SAD (Surry, Zion, Sequoyah PWR, Peach Bottom i Gram Gulf BWR) analizirani glavni uzroci koji mogu dovesti do znatnog oštećenja jezgre, vjerojatnosti takva oštećenja i odnos troška modifikacije prema koristi u pogledu nuklearne sigurnosti. Analize vjerojatnosti taljenja jezgre (PSA — Probabilistic Safety Assessment, prije PRA — Probabilistic Risk Assessment) provedene su uobičajenom metodom pomoću stabla kvara i stabla događaja (grafički prikazi svih mogućih događaja koji dovode do otkaza određenog sustava; u prikazu se daju vjerojatnosti pojedinih događaja i na kraju vjerojatnost otkaza određenog sustava).

Na osnovi takve analize ilustrativno su u tablici 3. prikazani rezultati vjerojatnosti znatnog oštećenja jezgre zbog četiri glavna uzroka.

Tablica 3.

Uzroci taljenja jezgre	Vjerojatnosti taljenja jezgre NE ( $n \times 10E-5$ na godinu)				
	Surry	Zion	Sequoyah	Peach Bottom	Grand Gulf
beznajanje	1,6	0,5	0,8	0,7	2,8
LOCA	0,8	2,7	5,9	0	0
GBRV	0	11,8	3,2	0	0
ATWS	0,2	0	0,1	0,1	0,1
ukupno	2,6	15	10	0,8	2,9

Značenje kratica:

LOCA (loss of coolant accidents) — gubitak hladioca reaktora

GBRV — gubitak bitne rashladne vode

ATWS (anticipated transients without scram) — tranzijentni kvarovi bez brze obustave reaktore.

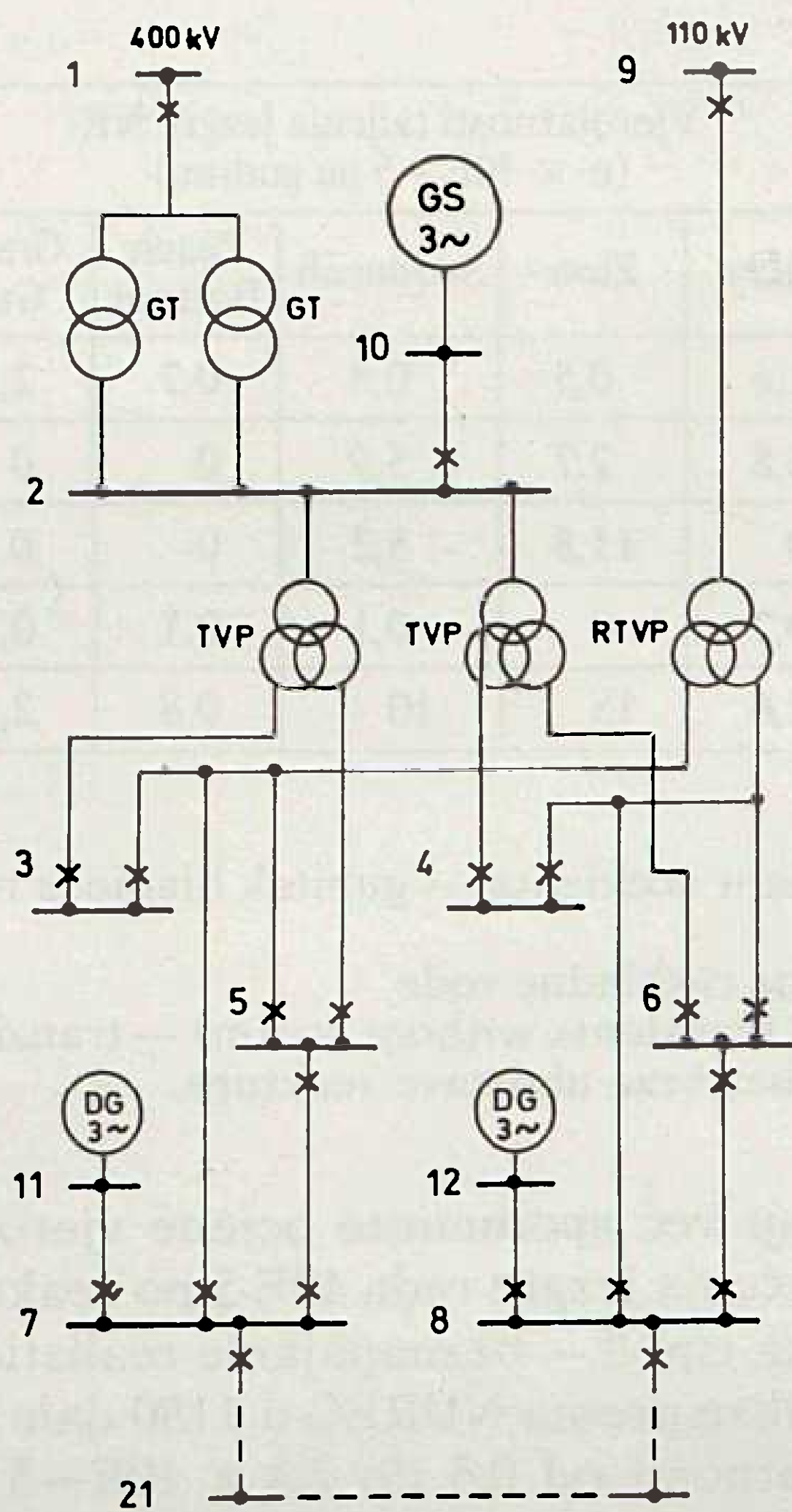
Može se reći da su već spomenute ocjene vjerojatnosti znatnog oštećenja jezgre reda  $10E-5$  po reaktor-godini zbog uzroka ispod — beznapajanje realistične jer su detaljne analize prema NUREG-u 1150 dale odgovarajuće vjerojatnosti od 0,5 do  $2,8 \times 10E-5$  po reaktor-godini. Pritome su udjeli uzroka beznapajanje u ukupnoj vjerojatnosti taljenja jezgre različiti: 3% za NE Zion, 8% za NE Sequoyah, 62% za NE Surry, 86% za NE Peach Bottom i 99% za NE Grand Gulf. To je zbog toga što faktori koji su bitni za vjerojatnost oštećenja jezgre djeluju ovisno o specifičnostima projekta sigurnosnih sistema i o specifičnim kvarovima zajedničkih uzroka. Zato se takve analize moraju provoditi za svaku NE posebno.

Analize odnosa trošak modifikacije prema ekvivalentnoj vrijednosti smanjenog rizika pokazale su da na elektroenergetskom dijelu postrojenja NE praktički nema novih uspješnih modifikacija, i to zbog toga što su takve modifikacije već učinjene na bazi prijašnjih PRA.

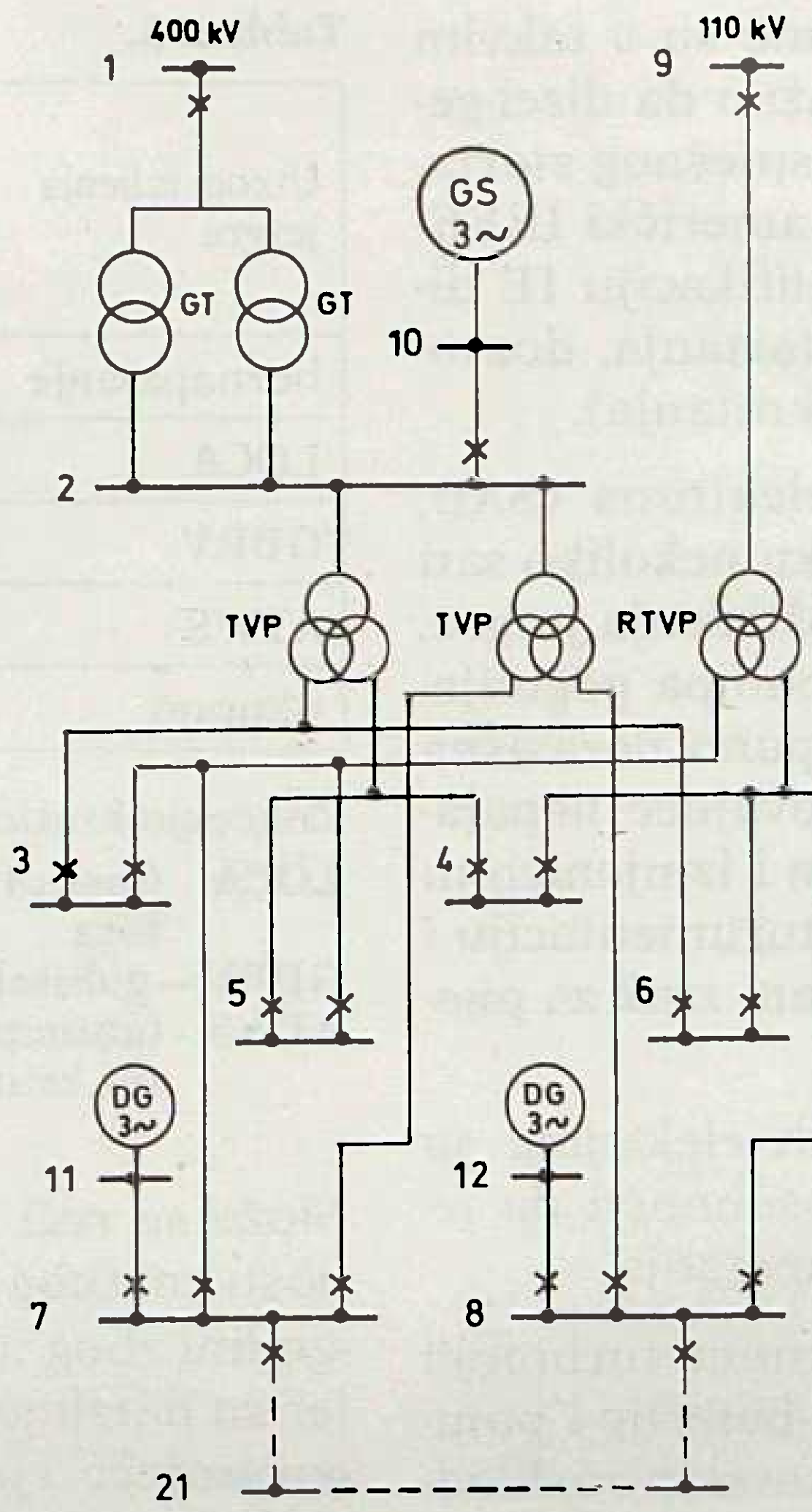
#### 4. OVISNOST VJEROJATNOSTI ISPADA — BEZNAPAJANJA O SHEMI VLASTITE POTROŠNJE NUKLEARNE ELEKTRANE

Budući da istovremeni gubitak izmjeničnih izvora napajanja može znatno pridonijeti vjerojatnosti topljenja jezgre, treba težiti što manjoj vjerojatnosti pojave beznapajanje. U ovom radu razmatrani rezultati vjerojatnosti topljenja jezgre zbog uzroka beznapajanje proizašli su iz PSA analize uglavnom preko stabla događaja i stabla kvara, koja u sebi implicitno sadržava i rješenja sheme vlastite potrošnje NE.

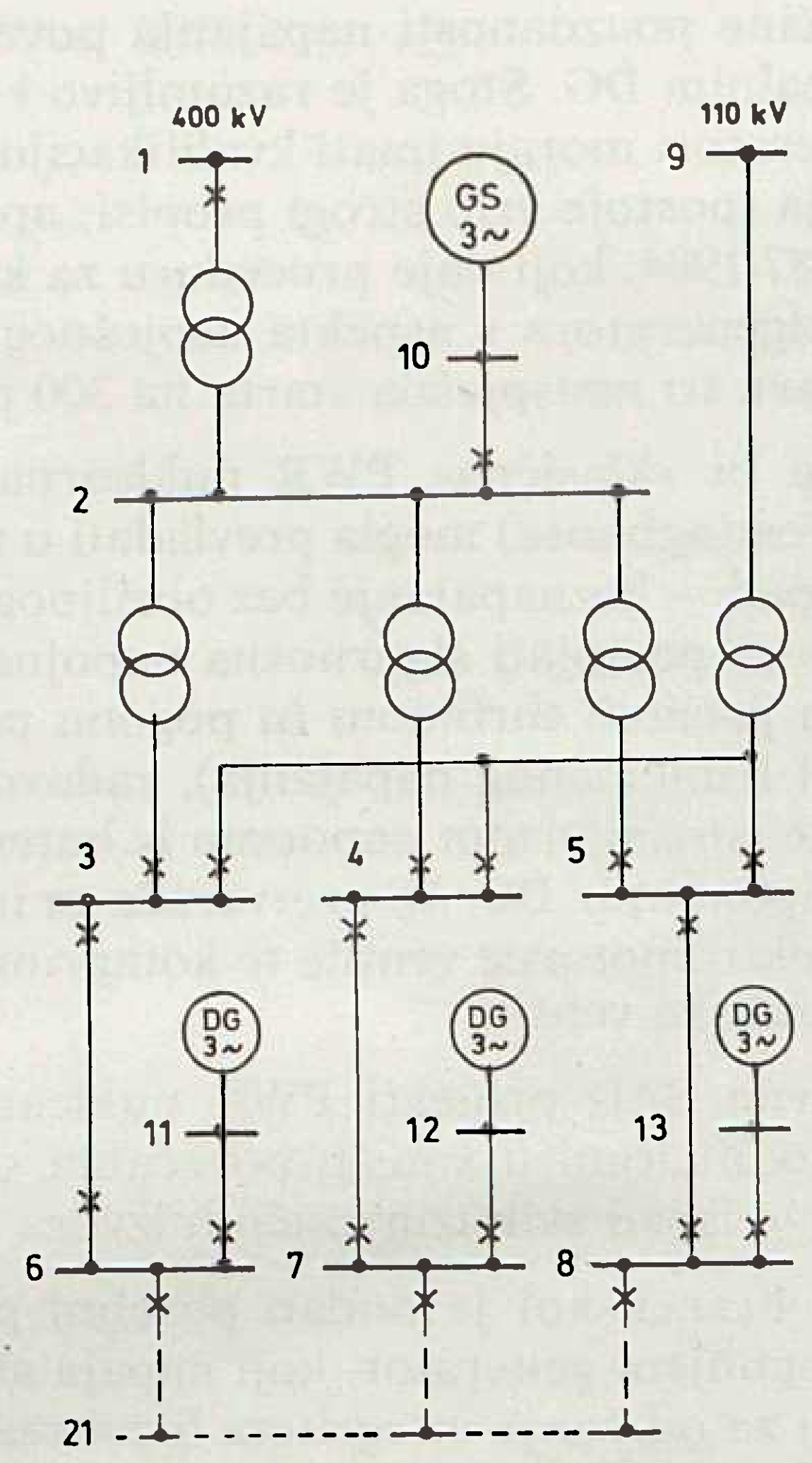
Ocjenjivati vjerojatnost ispada moguće je također proračunom pouzdanosti jednopolnih shema vlastite potrošnje NE [4]. Evidentno je da bolja pouzdanost jednopolne sheme znači manju vjerojatnost beznapajanja, odnosno manji negativni utjecaj na vjerojatnost znatnog oštećenja jezgre. Prednost je ove metode u tome što je dovoljno imati jednopolne sheme, pa se onda kroz taj aspekt mogu ocjenjivati ponuđene nuklearne elektrane.



Slika 1.



Slika 2.



Slika 3.

Na slici 1. prikazana je potencijalna shema A nuklearne elektrane prilagođena za proračun pouzdanosti. Dvije srednjonaponske sabirnice sigurnosne vlastite potrošnje — SSSVP 7 i 8 napajaju se iz:

- srednjonaponskih sabirnica vlastite potrošnje 5 i 6,
- rezervnog transformatora vlastite potrošnje RTVP,
- dizelgeneratora DG.

Za usporedbu razmatrat ćemo shemu B na slici 2, koja također ima dvije SSSVP 7 i 8 napajane izravno iz:

- transformatora vlastite potrošnje TVP,
- rezervnog transformatora vlastite potrošnje RTVP,
- dizelgeneratora.

Elektrana prema shemi C na slici 3. ima tri SSSVP napajane iz:

- SSVP (a one su svaka izravno napajane iz glavnog i rezervnog transformatora VP)
- dizelgeneratora.

Normalno napajanje SSSVP je eventualno preko SSVP od vanjske mreže (sabirnica 1) ili od generatora (sabirnica 10). Rezervno napajanje je iz druge vanjske mreže (sabirnica 9), a sigurnosno napajanje je iz dizel-generatora (sabirnice 11, 12 i 13). Na nestanak normalnog napajanja automatski se uključuje rezervno, a na gubitak rezervnoga automatski se uključuje sigurnosno napajanje.

O pouzdanosti shema zaključujemo na osnovi broja ispada pojedinih sabirnica tijekom životne dobi, odnosno broja beznapajanja, tj. istovremenog ispada svih SSSVP preko čvora — fiktno sabirnice 21 (napajane od svih SSSVP). Kao stvarni broj ispada pojedinih sabirnica uzima se prosječna vrijednost dobivena promatranjem kroz  $N$  životnih dobi —  $\bar{z} = 30$

godina. Rezultati proračuna su pouzdaniji (vjerojatniji) što je broj životnih dobi veći (u ovom proračunu uzeto je  $N = 100$ ,  $\bar{Z} = 3000$  g). Korišteni računarski program baziran je na teoriji grafova za prikazivanje strukture sheme (sl. 1, 2. i 3.) i na metodi Monte Carlo, kojom se određuje vrijeme nastanka i trajanja kvara komponenata. Za sve sheme upotrijebljene su iste vrijednosti intenziteta kvara i vremena popravka, i to za sve komponente: izvore napajanja, sabirnice, transformatore, kabele, prekidače.

Graf se formira preko podataka grana koje počinju i završavaju čvorovima, orijentirane su ako je tok energije samo u jednom smjeru, mogu biti normalno otvorene, a uklapaju se automatski u zanemarivo kratkom vremenu.

Dalje su primijenjene pretpostavke:

- vanjski izvori napajanja (sabirnice 1 i 9) su nezavisni;
- normalno otvorene grane pa i dizelgeneratori uklapaju se potpuno sigurno — vjerojatnost uklapanja 100%-tna;
- na odgovarajućim razmatranim sabirnicama pretpostavlja se podjednaki broj odvoda.

Sve razmatrane sheme priključene su na iste dvije vanjske manje-više nezavisne mreže i imaju ugrađene iste realne dizelgeneratore, pa su spomenute pretpostavke prihvatljive za proračun pouzdanosti.

Izračunate su ove vjerojatnosti gubitaka svih izmjeničnih napajanja — nestanka napona na fiktnoj sabirnici 21:

- shema A vjerojatnost beznapajanja  $13,0 \times 10E-4$  na godinu;
- shema B vjerojatnost beznapajanja  $3,3 \times 10E-4$  na godinu;

shema C vjerojatnost beznapajanja manje od  $0,4 \times 10E-4$  na godinu.

Izračunate vjerojatnosti istovremenoga gubitka svih izmjeničnih napona veće su od vjerojatnosti taljenja jezgre zbog inicijalnog uzroka — beznapajanje, jer svaki istovremeni gubitak svih izmjeničnih napona ne izaziva znatno oštećenje jezgre.

## 5. ZAKLJUČAK

Iz rezultata proračuna vjerojatnosti istovremenoga gubitka svih izmjeničnih izvora napajanja može se zaključiti:

- od sheme A pouzdanija je shema B nuklearne elektrane koja ima napajanje sredjonaponske sigurnosne sabirnice vlastite potrošnje — SSSVP izravno iz tri izvora: transformator vlastite potrošnje (vanjska mreža i generator), rezervni transformator vlastite potrošnje i dizel-generator;
- od razmatranih najpouzdanija je shema C nuklearne elektrane koja ima veći broj SSSVP, pa makar se i svaka od njih napaja izravno samo iz dizelgeneratora i neizravno iz svih ostalih izvora.

Pouzdanost napajanja električnom energijom općenito je bolja u nuklearnoj elektrani s redundancijom sredjonaponskih sigurnosnih sabirnica  $3 \times 100\%$  u odnosu prema elektrani s odgovarajućom redundancijom  $2 \times 100\%$ .

## LITERATURA

- [1] N. INJAC, S. SEVER, Z. VUKOVIĆ: »Pregled metoda za određivanje pouzdanosti«, Elektrotehnika 23. 1980, 5–6.
- [2] A. ŽIŽEK: »Matematički model opće pouzdanosti«, Elektrotehnika 24. 1981, 3.

[3] F. REISCH: »Coping with Station Blackout«, Nuclear Engineering international 10, 1985.

[4] J. JURIC: »Pouzdanost napajanja shema vlastite potrošnje nuklearnih elektrana«, elaborat za Elektroprojekt, Zagreb 1987.

### RELIABILITY OF ELECTRIC POWER SUPPLY IN NPP

Reliability analysis of electric power supply in NPP is made for estimation of internal consumption one line diagrams in NPP delivered from several suppliers.

Reliability of electric power supply is very important for safety due to loss of all AC sources can lead to serious accident — core melt down.

### ZUVERLÄSSIGKEIT DER EL. ENERGIEVERSORGUNG IM KERNKRAFTWERK

Analyse der Zuverlässigkeit der elektrischen Energieversorgung im Kernkraftwerk wird auch wegen der Beurteilung der einpoligen Schemen des eigenen Verbrauchs der Kernkraftwerke verschiedener Hersteller durchgeführt.

Die Zuverlässigkeit der elektrischen Energieversorgung ist ein sehr wichtiger Aspekt da der Verlust aller Quellen des Wechselstroms einen schweren Unfall verursachen kann — nämlich das Schmelzen des Reaktorkernes.

### НАДЕЖНОСТЬ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЕЙ В АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Анализ надежности питания электроэнергией на атомной электростанции проводится также и для оценки однополюсных схем собственного потребления атомных электростанций различных изготовителей.

Надежность питания электроэнергией является весьма важным аспектом, ибо потеря всех источников переменного питания может вызвать тяжелое последствие — расплавление реактора.

Naslov pisca:

**Mr. Ivan Putanec, dipl. inž.**  
**»Elektroprojekt«**  
**41000 Zagreb,**  
**Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-01-26



## „MONTER“

Radna organizacija za projektiranje,  
inženjering poslove, proizvodnju, montažu  
u industriji i postavljanje svih vrsta  
instalacija u građevinarstvu,  
s neograničenom solidarnom odgovornošću  
OOUR-a

41000 Zagreb N. Demonje 4  
Telefon 041/571-866  
Telegram Monter  
Telex 21433 Yu Monter

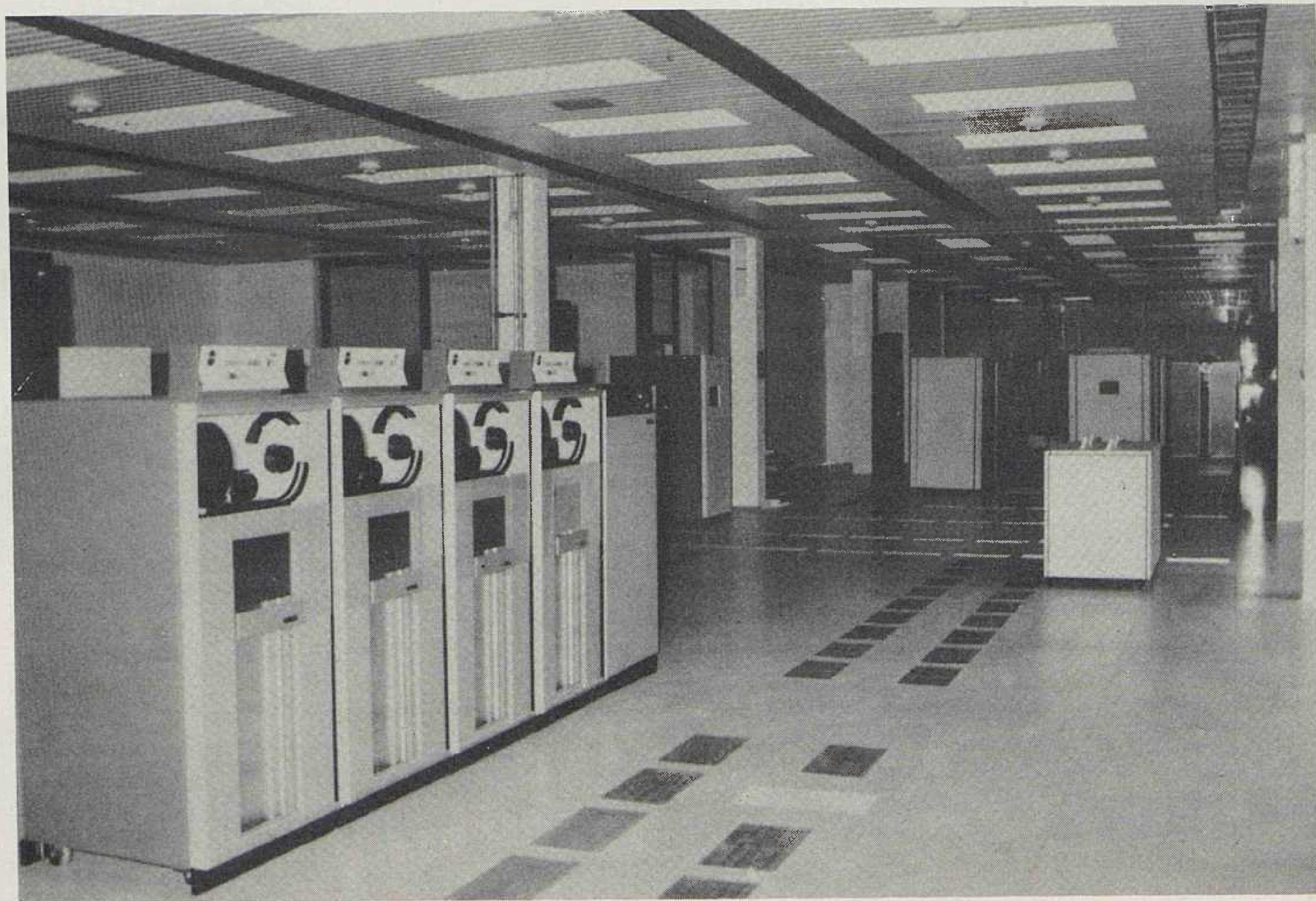
SPONZOR-SUORGANIZATOR  
**UNIVERZIJADE'87**

ZAGREB  
JUGOSLAVIJA



RO »Monter« izvodi sve montažne radove i projektiranja na području hidromontaže, električke, automatike, grijanja i hlađenja, montaže opreme i cijelih procesa u industriji, cjevovode, čelične konstrukcije, rezervoare i slično.

Iz godine u godinu RO »Monter« Zagreb sa 4.500 zaposlenih radnika bilježi sve zapaženije rezultate i danas je jedan od najvećih montažerskih kolektiva u Jugoslaviji, a poznat je i cijenjen u Alžiru, Austriji, Čehoslovačkoj, DDR, Libiji, Mađarskoj, SR Njemačkoj, Poljskoj, Sudanu i SSSR-u — zemljama u kojima već 20 godina s puno uspjeha izvodi sve vrste radova.



CAOP Zagreb — instalaterske radove izvodili radnici Montera

# ANALIZA RASTALNE KARAKTERISTIKE VISOKOUČINSKIH OSIGURAČA

Željko Crnogorac, Bjelovar

UDK 621.316.923

STRUČNI RAD

Za različite tehničke proračune, pogotovo kada upotrebljavamo računalo, dijagrami ovisnosti vremena taljenja osigurača o struji su prilično nepođodni. Brže i točnije bi mogli izračunati traženo vrijeme pregaranja kada bi ono bilo dano u obliku funkcije  $t = f(I)$ . U radu je prikazan način na koji se može dijagramom ili tablično dana ovisnost zamijeniti jednostavnim matematičkim izrazom.

**Ključne riječi:** visokoučinski osigurači, rastalna karakteristika, vrijeme taljenja, struja prorade, matematički prikaz, estimacija.

## 1. UVOD

Transformatori napona 10/0,4 ili 20/0,4 kV, niskonaponske mreže, instalacije u zgradama i tvorničkim objektima te ostala postrojenja i objekti štite se rastalnim osiguračima od preopterećenja, kratkog spoja ili predugog održavanja opasnog napona dodira. Za ove navedene primjene karakteristična su duga vremena prorade pa će se dalje samo ona i obrađivati. Pri određivanju nazivne struje osigurača za zaštitu nekog elementa mreže koriste se dijagrami koji pokazuju ovisnost vremena taljenja ili pregaranja osigurača o struji koja se naziva proradna struja. Proizvođači osigurača daju rastalnu karakteristiku isključivo kao dijagram. Za proračune uz upotrebu računala nepođodno je očitavati vrijednosti vremena prorade jer to iziskuje previše vremena, a i samo određivanje vrijednosti prilično je netočno. Zato je potrebno dijagram zamijeniti matematičkim izrazom. Ova zamjena može se izvesti u dva »koraka«. Prvo se napravi tablica odgovarajućih vrijednosti struje i vremena, a zatim se iz dobivenih vrijednosti pronade krivulja koja aproksimira zadanu karakteristiku. Ovaj postupak naziva se estimacijom [1].

Najjednostavnije bi bilo da se krivulja vremena taljenja osigurača može nadomjestiti s jednim ili više pravaca. Međutim takva aproksimacija je netočna. Iz karaktera rastalne krivulje [2] vidi se da je to oblikom hiperbola za koju je potrebno odrediti parametre.

## 2. POSTUPAK ESTIMACIJE

Postupak estimacije jest pronalaženje funkcionalne veze između dviju promjenjivih veličina. Ovdje je potrebno pronaći vezu između vremena taljenja osigurača (dalje će biti označeno oznakom  $t_r$ ) i struje prorade (oznaka  $I_{pr}$ ). Najčešće aproksimativne krivulje jesu pravac, parabola drugog, trećeg itd. reda, zatim

hiperbola, logistička krivulja i ostale. Osnovni kriterij pri izboru vrste krivulje kojom će se aproksimirati ovisnost jest da odstupanje između početnih podataka i izračunatih bude što manje. Traži se krivulja kod koje je najmanja razlika kvadrata odstupanja, pa je po tome metoda i dobila naziv »metoda najmanjih kvadrata«.

Pri određivanju aproksimativne krivulje (hiperbole) potrebne su najmanje tri točke, a koeficijenti  $p$  i  $const$  se određuju iz sistema od dvije linearne jednadžbe s dvije nepoznanice. Općeniti oblik aproksimativne funkcije glasi:

$$Y * X^p = const \quad (1)$$

gdje su  $p$  i  $const$  konstante.

Ponekad se neka ovisnost ne može dobro aproksimirati u cijelom intervalu. Tada je potrebno pokušati podijeliti interval na više dijelova i za svaki taj dio izračunati odgovarajuću funkciju. Rastalna karakteristika osigurača upravo je takva krivulja pa ju je potrebno aproksimirati s dvije hiperbole za dva podintervala.

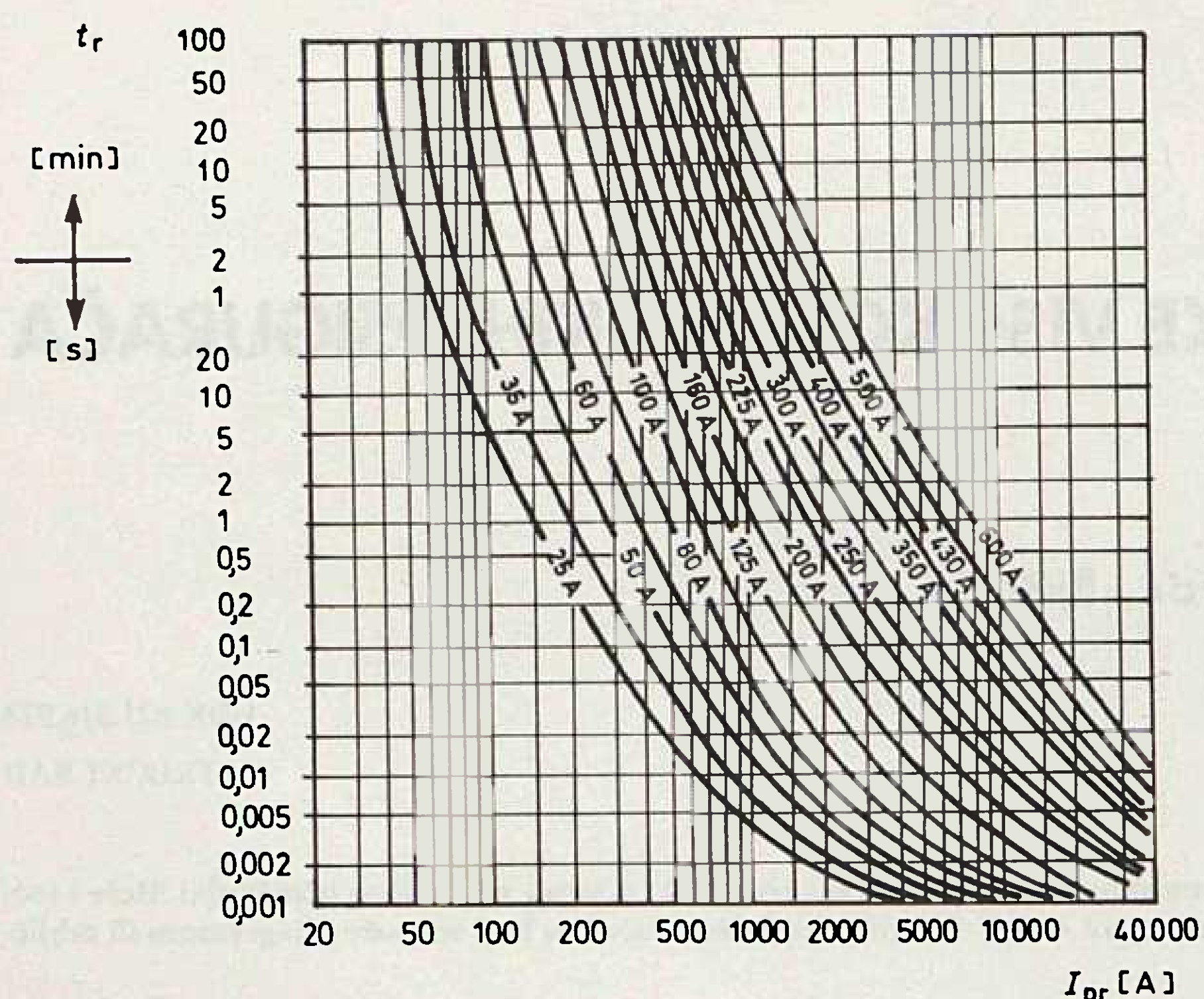
## 3. RASTALNA KARAKTERISTIKA OSIGURAČA

Rastalna karakteristika visokoučinskih niskonaponskih osigurača jednog domaćeg proizvođača prema [3] prikazana je na slici 1.

Prvo pojednostavnjenje ovakvog dijagrama moguće je tako da se umjesto niza krivulja za svaku pojedinačnu nazivnu vrijednost (ukupno 10) uvede samo jedna krivulja. To se postiže tako da se prikaže vrijeme taljenja u ovisnosti o odnosu proradne i nazivne struje osigurača. U mnogim proračunima, a i u tehničkim propisima taj se odnos označava sa  $k$ :

$$k = \frac{I_{pr}}{I_n} \quad (2)$$

gdje je  $I_n$  nazivna struja osigurača.



Slika 1. Rastalna karakteristika visokoučinskih osigurača (podaci proizvođača)

Tablica 1. Proradno vrijeme u ovisnosti o faktoru  $k = I_{pr}/I_n$

1. $k = I_{pr}/I_n$	2. $I_n = 25A$		3. $I_n = 50A$		4. $I_n = 100A$	
	$I_{pr}$	$t_r$	$I_{pr}$	$t_r$	$I_{pr}$	$t_r$
1,75	44	1200	87	1200	175	1200
2	50	300	100	300	200	600
2,25	56	120	112	120	225	150
2,5	62	60	125	50	250	60
3	75	20	150	20	300	25
3,5	87	9	175	7	350	10
4	100	5	200	4	400	7
4,5	112	3	225	3	450	4
5	125	2,0	250	1,5	500	2,5
6	150	1,0	300	0,8	600	1,5

Proradno vrijeme za osigurače nazivne struje 25, 50 i 100 A u ovisnosti o faktoru  $k$  uneseno je u tablicu 1. U tablici 1. vrijednosti su struje u A, a vremena u s. Uspoređujući proradno vrijeme za isti odnos  $I_{pr}/I_n$  a za različite nazivne struje, vidi se da se vrijednosti ipak razlikuju. No bez obzira na te razlike sve će se krivulje nadomjestiti jednom. U tablici 2. su vremena prorade svrstana tako da su unesene najveće, najmanje i srednje vrijednosti kojima odgovara i dijagram sa slike 1. Na taj način je utvrđen interval u kojem se sigurno nalazi podatak o vremenu taljenja.

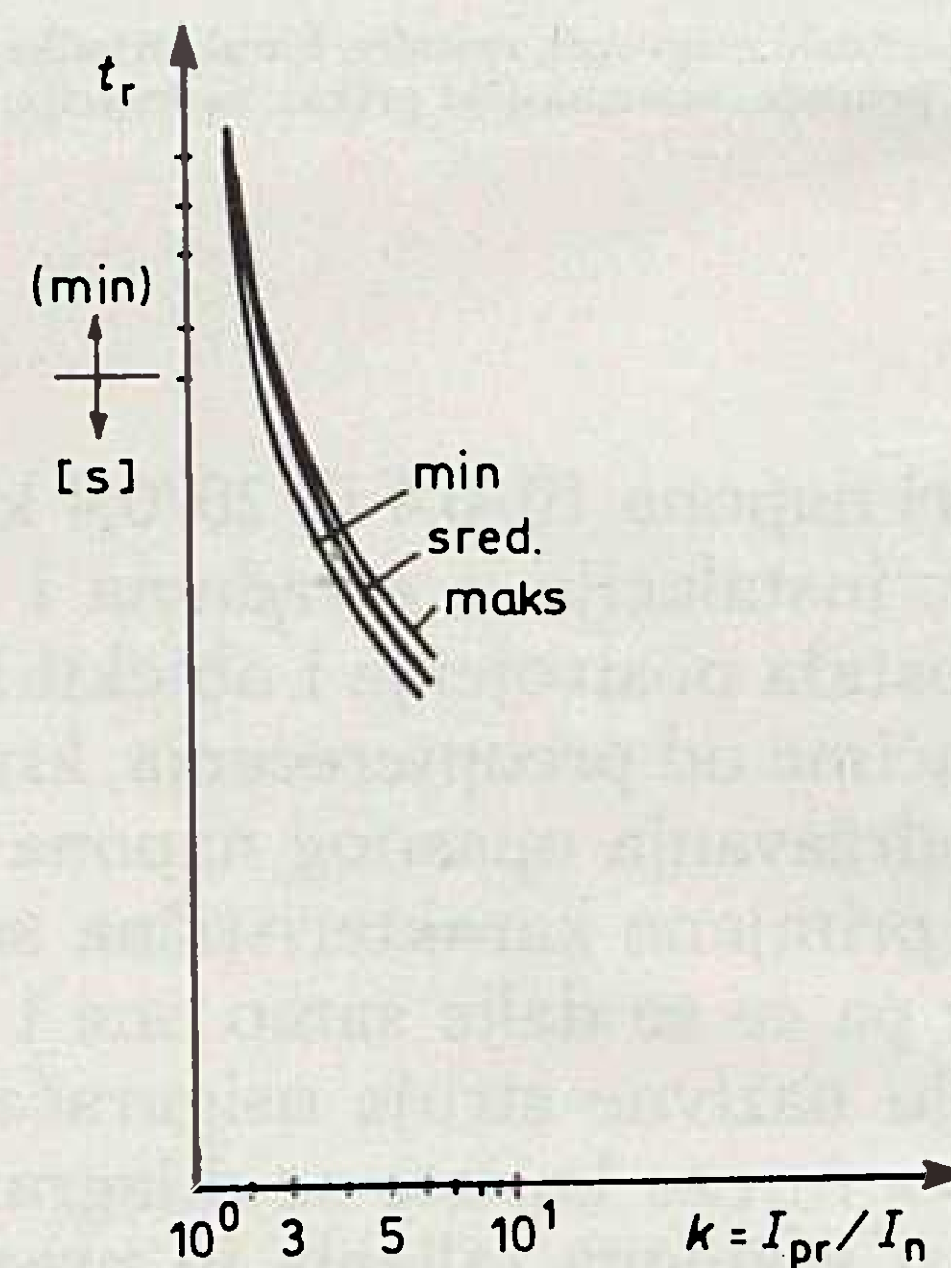
Vrijednosti iz tablice 2. prikazane su na slici 2, i to u istom mjerilu kao i na slici 1.

Dijagrami na slikama 1. i 2. crtani su tako da su obje veličine prikazane u logaritamskom mjerilu. Da bi se dobio stvarni izgled krivulje ovisnosti, potrebno ju je nacrtati u linearnom mjerilu.

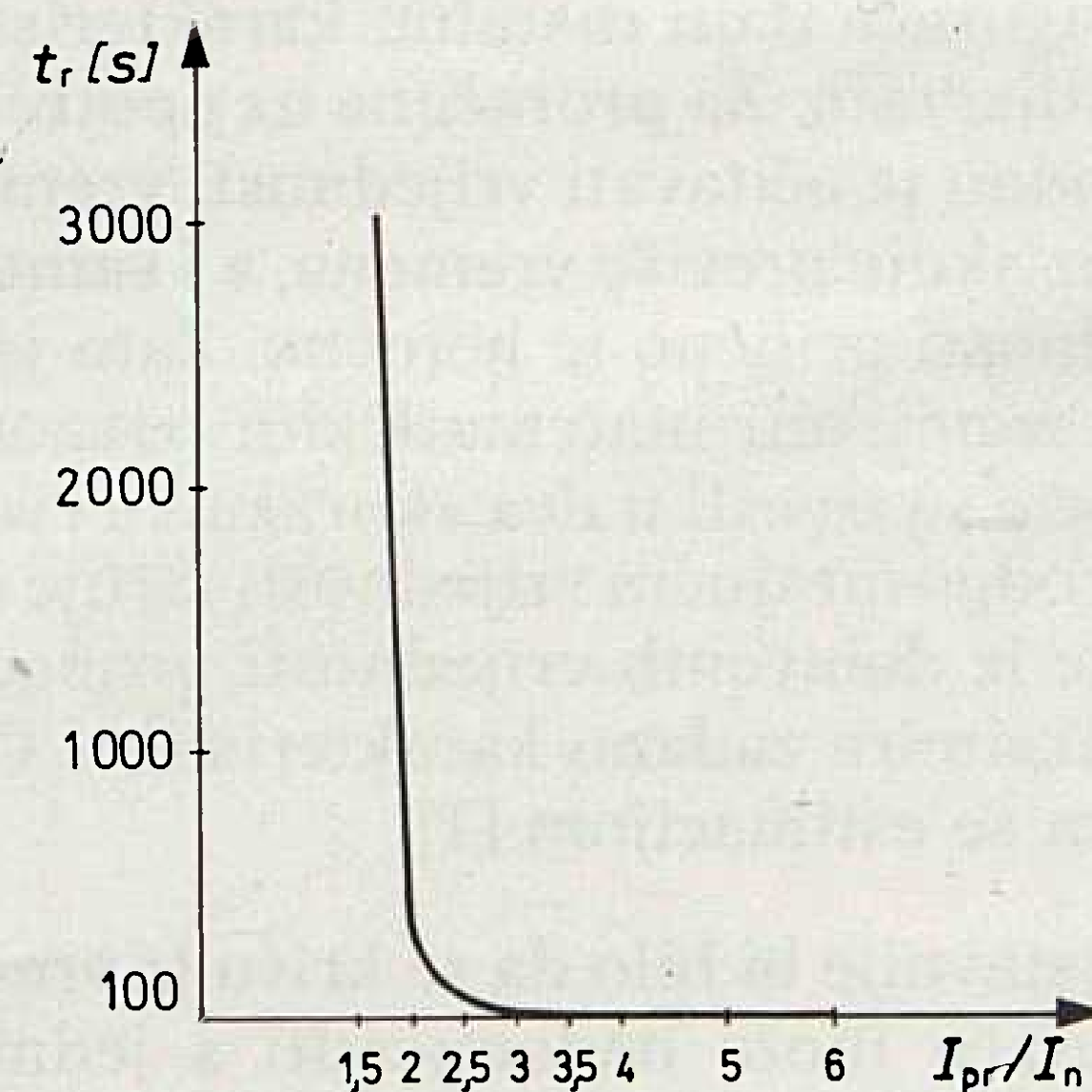
Iz slike 3. jasno se vidi da je ovisnost vremena o struji oblikom hiperbola. Osim toga, vidi se da krivulja vrijednosti  $k$  oko 2,5 – 3 naglo mijenja zakrivljenost.

Tablica 2. Najveće, najmanje i prosječno proradno vrijeme

1. $k = I_{pr}/I_n$	2. $t_r \text{ max}$ (s)	3. $t_r \text{ sr}$ (s)	4. $t_r \text{ min}$ (s)
1,75	1200	1200	1200
2	600	400	300
2,25	150	130	120
2,5	60,0	56,7	50,0
3	25,0	21,7	20,0
3,5	10,0	8,7	7,0
4	7,0	5,3	4,0
5	2,5	2,0	1,5
6	1,5	1,1	0,8



Slika 2.



Slika 3. Rastalna karakteristika u linearnom mjerilu

Upravo zato je potrebno rastalnu karakteristiku točnije nadomjestiti dvjema funkcionalnim ovisnostima za dva intervala a ne samo jednom. Granica intervala je upravo vrijednost argumenta  $k = 3$ .

#### 4. ANALITIČKI PRIKAZ RASTALNE KARAKTERISTIKE

Na osnovi vrijednosti proradnog vremena iz tablice 2. na elektoničkom računaru su izračunati koefici-

jenti funkcije kojom je nadomještena rastalna karakteristika. Za interval od  $k = 1,75$  do  $k = 6$  dobivena je funkcija:

$$tr \times k^{5,598} = 14682 \quad (3)$$

Uspoređivanje stvarnih i izračunatih vrijednosti obavljeno je u tablici 3. U kolonu 2. unesene su vrijednosti iz krivulje koju daju proizvođači (i to srednja vrijednost), u kolonu 3. izračunate vrijednosti i u kolonu 4. razlike tih dviju vrijednosti u %. Vidi se da se razlike u apsolutnom iznosu kreću od 3 do 50%.

Tablica 3. Uspoređivanje vrijednosti za izraz (3)

1.	2.	3.	4.
$k$	Stvar. vrijed.	Izrač. vrijed.	Razlika
	(s)	(s)	(%)
1,75	1200	640	-46,7
2	400	303	-24,2
2,25	130	156	20,0
2,5	56,7	86,9	53,2
3	21,7	31,3	44,2
3,5	8,7	13,2	51,7
4	5,3	6,2	17,0
4,5	3,3	3,2	3,0
5	2,0	1,8	-10,0
6	1,1	0,6	-45,4

Ako se rastalna karakteristika prikaže s dva analitička izraza, dobije se:

— za interval od  $k = 1,75$  do  $k = 3$

$$tr \times k^{7,594} = 73\ 658 \quad (4)$$

— za interval od  $k = 3$  do  $k = 6$

$$tr \times k^{3,909} = 1\ 164 \quad (5)$$

Izrazi (4) i (5) mogu se koristiti i izvan intervala od  $k = 1,75$  do  $k = 6$ . Izraz (4) vrijedi od  $k = 1,6$ , dok je za  $k < 1,6$  rastalno vrijeme, prema podacima proizvođača, beskonačno. Za  $k > 6$  može se izraz (5) koristiti bez ograničenja do  $k = 10$ , ali uz povećanu pogrešku. Stvarne vrijednosti i izračunate prema izrazima (4) i (5) uspoređene su u tablici 4. Razlike se kreću u apsolutnom iznosu od 0 do 23,4%.

U tablicama 3. i 4. razlika je izračunata prema izrazu:

$$r = \frac{ts - ti}{ts} \times 100 \quad (6)$$

gdje je:

- $r$  — razlika u %,
- $ts$  — stvarna vrijednost vremena prorade u s,
- $ti$  — izračunata vrijednost u s.

Normalno je postaviti pitanje da li stvarna rastalna karakteristika nadomještena izrazom (3) ili izrazima (4) ili (5) zadovoljava u praksi i nije li greška suviše velika.

Ako bismo upotrijebili visokoučinski osigurač iste nazivne vrijednosti, ali nekog drugog proizvođača, proradno vrijeme se za bilo koju struju više razlikuje

Tablica 4. Uspoređivanje vrijednosti za funkciju (4) i (5)

1.	2.	3.	4.
$k$	Stvar. vrijed.	Izrač. vrij.	Razlika
	(s)	(s)	(%)
1,75	1200	1051	-12,4
2	400	381	-4,7
2,25	130	155	19,2
2,5	56,7	70,0	23,4
3	21,7	17,5	-19,3
3,5	8,7	8,7	0
4	5,3	5,2	-2,6
4,5	3,3	3,3	0
5	2,0	2,2	8,0
6	1,1	1,1	0

nego ako ga izračunamo iz izraza (4) ili (5)! Zbog toga u praksi treba pri proračunu uzeti dovoljan faktor sigurnosti da bi se izbjegao utjecaj različitih karakteristika kod više proizvođača osigurača.

Ovo je prikazano u tablici 5. Za isti  $k$  su u koloni 2. navedene razlike stvarne i izračunate vrijednosti, a u koloni 3. razlike u proradnom vremenu proizvođača prema [3] i [4].

Srednje kvadratno odstupanje izračunato je prema formuli:

$$S = \Sigma (ts - ts)^2 \quad (7)$$

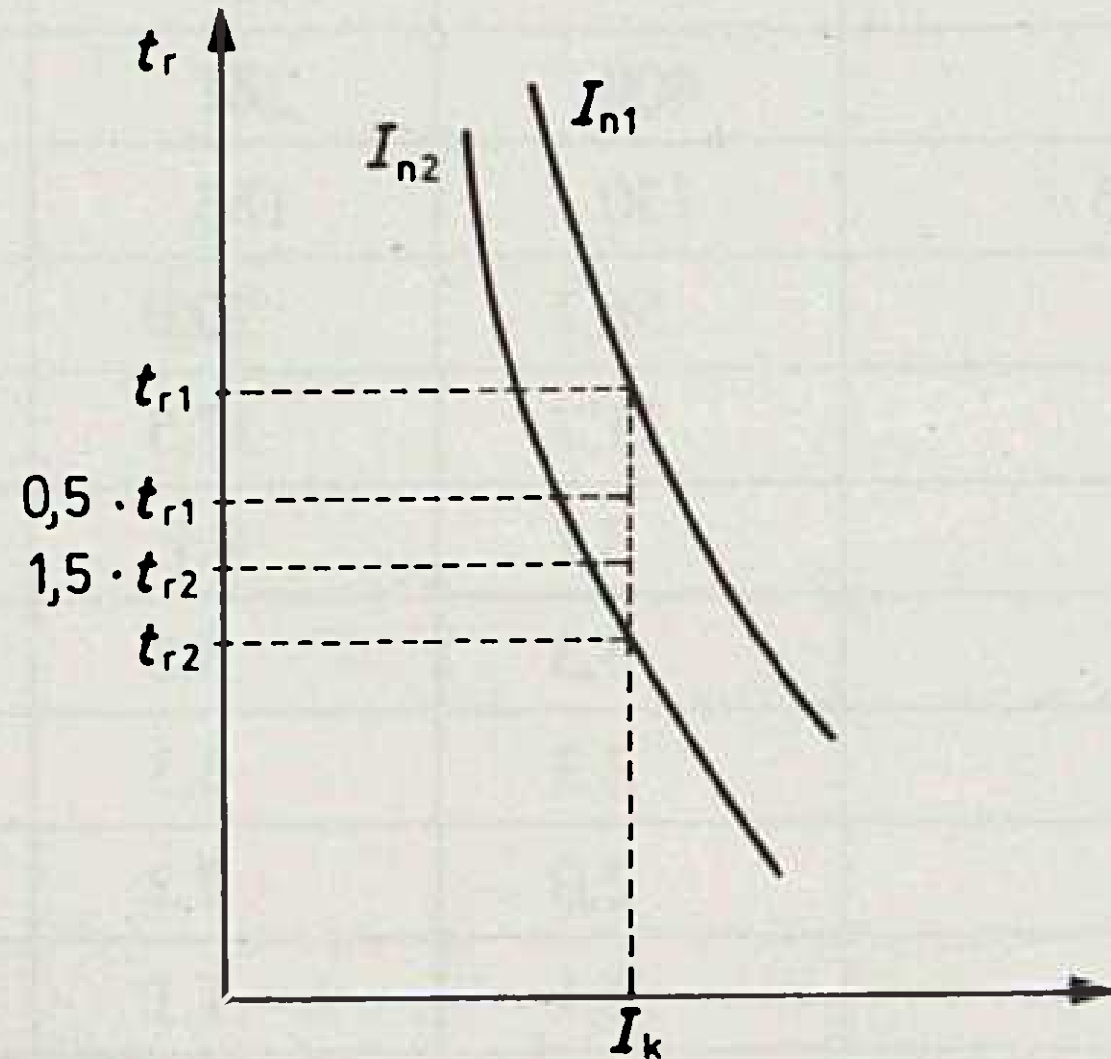
gdje  $S$  srednje kvadratno odstupanje, za razlike u koloni 2. iznosi 1550 a za razlike u koloni 3. čak 27672. Slično vrijedi i za osigurače ostalih proizvođača. Za proizvođača [5] kvadratno odstupanje je 845058. Iz ovog se vidi da nadomjesni izrazi (3), (4) i (5) mogu biti bez daljnjeg korišteni.

Tablica 5. Razlike izračunatih vrijednosti vremena prorade i razlike za dva različita proizvođača

1.	2.	3.
$k$	Razl. između stvarne i rač. vrijed.	Razl. između vrijed. dva proizvođača
	(%)	(%)
1,75	-12,4	-75,0
2	-4,7	-50,0
2,25	-19,2	-38,4
2,5	23,4	-64,7
3	19,3	-63,1
3,5	0	-42,5
4	-2,6	-43,4
4,5	0	-54,5
5	8,0	-50,0
6	0	-27,3

### 5. SELEKTIVNOST

Potrebno je provjeriti da li postoji selektivnost između dva osigurača nazivne struje  $I_{n1}$  i  $I_{n2}$  ako su odabrani prema izrazu (3), što je ilustrirano na slici 4.



Slika 4. Prikaz objašnjenja selektivnosti

Smatra se da selektivnost postoji ako kod struje  $I_k$  vrijeme  $tr1$  smanjimo za 50%, a  $tr2$  povećamo za 50% i osigurač nazivne struje  $I_{n2}$  pregori ranije. Dakle imamo:

$$0,5 \times tr1 > 1,5 \times tr2 \quad (8)$$

ili

$$tr1 > 3 \times tr2 \quad (9)$$

Dokaz selektivnosti:

Vrijedi  $tr1 \times k1^2 = \text{const}$  i  $tr2 \times k2^2 = \text{const}$ . Iz toga izvlačimo  $tr$ .

$$tr1 = \frac{\text{const}}{k1^p} \quad tr2 = \frac{\text{const}}{k2^p}$$

Uvrštavanjem u (9):

$$\frac{\text{const}}{k1^p} > 3 \times \frac{\text{const}}{k2^p}$$

$$k2^p > 3 \times k1^p$$

$$k2 > \sqrt[p]{3} \times k1$$

$$k2 > 1.2 \times k1$$

jer je  $p = 5,598$

uvrštavanjem

$$k1 = \frac{Ik}{In1} \quad i \quad k2 = \frac{Ik}{In2}$$

$$\frac{Ik}{In2} > 1.2 \times \frac{Ik}{In1}$$

Konačno se dobije

$$In1 > 1.2 \times In2 \quad (10)$$

Uvjet (10) je ispunjen za gotovo sve osigurače. Slično se dobije za izraze (4) i (5) da za područje malih struja kratkog spoja do  $k = 3$  treba biti:

$$In1 > 1.15 \times In2$$

a za  $k > 3$  treba biti

$$In1 > 1.32 \times In2$$

U tablicu 6. unesene su razlike nazivne struje osigurača prema prethodnom u nizu i ocjena selektivnosti. Ocjene selektivnosti su sljedeće:

Tablica 6.

$I_n$	Razlika prema prethodnom	Selektivan
25	—	—
35	1.4	CP
50	1.43	CP
63	1.2	MS
80	1.33	MS
100	1.25	MS
125	1.25	MS
160	1.28	MS
200	1.25	MS
225	1.13	NS
260	1.16	MS
300	1.15	NS
350	1.17	MS
400	1.14	NS
500	1.25	MS
600	1.2	MS

- CP selektivan u cijelom području,
- MS selektivan u području malih struja kratkog spoja,
- NS nije selektivan s prethodnim osiguračem.

Rezultat je sličan onom iz [3] — poglavlje SELEKTIVNOST.

### 6. ZAKLJUČAK

Prvo što se može zaključiti jest da bi sami proizvođači trebali davati karakteristike osigurača osim u obliku krivulje i u analitičkom obliku. Tako bi se rastalno vrijeme brže i točnije izračunalo nego da se očitava iz dijagrama.

Osim toga, osigurači različitih proizvođača se razlikuju. Nemaju čak ni iste nazivne vrijednosti. Postoje osigurači nazivne struje 35 A, ali i 36 A, 60 A i 63 A itd. Za istu nazivnu struju i istu struju prorade različito je vrijeme taljenja (vidljivo iz tablice 5.). Pitanje je da li su oni uopće proizvedeni prema istim standardima. Opseg članka inače nije dozvoljavao analizu karakteristika osigurača, osim prema [3].

Zbog važnosti zaštite električnih postrojenja osiguračima, nazivnim vrijednostima i karakteristikama mora se posvećivati mnogo veća pažnja.

### LITERATURA

- [1] S. VUKADINOVIĆ, »Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike«, Beograd, Privredni pregled, 1981.
- [2] H. POŽAR, »Visokonaponska rasklopna postrojenja«, Zagreb, Tehnička knjiga, 1973.



- [3] »Niskonaponski osigurači velike prekidne moći«, Zagreb, »Rade Končar«.
- [4] »Niskonaponski topljivi osigurači velike prekidne moći«, Arandelovac, »Elektroporcelan«.
- [5] »Topljivi umeci NV gl«, Izlake, »Elektroelement«.
- [6] D. KAISER, »Elektrotehnički priručnik«, Zagreb, Tehnička knjiga, 1971.
- [7] E. MIHALEK, »Osigurači u mreži niskog napona — efekti zaštite i zadovoljenje uvjeta nulovanja«, Zagreb, Institut za elektroprivredu, 1986.

#### ANALYSE DER SCHMELZCHARAKTERISTIK DER HOCHSPANNUNGSSICHERUNGEN

Für verschiedene technische Berechnungen, besonders dann wenn wir einen Rechner verwenden sind die Diagramme der Abhängigkeit der Schmelzzeit der Sicherungen von Strom ziemlich ungünstig. Wir konnten schneller und genauer die gesuchte Zeit der Durchbrennung wenn sie in der Form einer Funktion dargestellt wäre  $t = f(I)$ . In der Arbeit wird die Art auf welche man durch ein Diagramm oder tabellarisch mit einfachen mathematischen Ausdrücken ersetzen konnte, dargestellt.

#### АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСПЛАВЛЕНИЯ МОЩНЫХ ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ

Для различных технических расчетов, а тем более при применении вычислительных машин, графики зависимости времени расплавления предохранителя от силы тока, весьма непригодны. Скорее и точнее можно было бы подсчитать искомое время перегорания, если бы оно было выражено в виде функции  $t = f(I)$ . В работе показан способ замены графически или табелярно данной зависимости простым математическим выражением.

#### ANALYSIS OF MELTING CHARACTERISTICS OF HIGH EFFICIENT FUSES

For different technical calculations, especially on computer, diagrams of fuse melting time to current are rather unreliable. Faster and more accurate calculation melting time can be made if there is a mathematical function  $t = f(I)$ . In the article is presented a method for calculation of the function on the base of diagrams or tabular data.

Naslov pisca:

**Željko Crnogorac, dipl. inž.**  
**»Elektra« Bjelovar,**  
**43000 Bjelovar**  
**P. Biškupa 5,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-07-05

**ELEKTROPRIVREDA ZAGREB**

**OOUR Elektroprenos**

---

**ZAGREB**

---

Obavlja u okviru svoje osnovne djelatnosti:  
prijenos električne energije, izrađuje studije,  
razvoj i projektiranje, izgradnju i nadzor izgradnje  
elektroprijenosnih postrojenja i telekomunikacio-  
nih uređaja, te svojim vozilom marke

**Kaelble**

i prikolicom

**Scheuerle**

prevozi teški teret do 120 tona.

---

**OOUR ELEKTROPRENOS - ZAGREB**  
Proleterskih brigada 37 - Tel.: 513-822 i 511-455

# POSTUPAK PRORAČUNA OTPORA ELEKTRIČNOG LUKA NAKON PROBOJA U PLINOVITIM DIELEKTRICIMA

Dr. Ivo Uglešić, Zagreb

UDK 537.226; 621.315.6

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Razreden je postupak za proračun otpora električnog luka, koji se zasniva na metodi putnih valova i na Toeplerovu zakonu. Razvijeni algoritam provjeren je eksperimentalnim rezultatima. Postupak je prikladan u proračunima elektromagnetskih prijelaznih pojava.

**Ključne riječi:** otpor električnog luka, proboj, prenapon.

## 1. UVOD

Nastanak proboja vezan je za fizikalni proces prema kojem postoje različiti stadiji izbijanja, koji traju određeno vrijeme.

Proboj može izazvati atmosferski prenapon. Da bi došlo do proboja, najprije se između elektroda iskrišta mora formirati takvo električno polje uz koje se uopće može razviti ionizacija molekula plina. Za početak ionizacije potrebno je da se u tom dovoljno jakom polju pojavi početni elektron dovoljne energije. Početni elektron uzrokuje nastanak lavine, poslije čega proces napreduje na način koji zavisi od homogenosti polja i vrsti plina, a završava iskričavim pražnjenjem ili električnim lukom.

Otpor električnog luka nakon proboja naglo pada u vrlo kratkom vremenu. Ovo vrijeme zavisi od udaljenosti elektroda, početnog napona među elektrodama, kao i o vrsti plinovitog dielektrika. Vrijeme trajanja otpora električnog luka ne može se zanemariti kada se promatraju brže prijelazne pojave, poput onih uzrokovanih probojem u plinu SF<sub>6</sub>, ili kod proizvodjenja napona vrlo velike strmine čela od nekoliko desetaka nanosekundi, uz pomoć generatora udarnog napona. U takvim slučajevima električni luk se ne može nadomjestiti idealnim prekidačem kod kojeg se stvara čelo naponskog vala pravokutnog oblika.

Ako se elektrode između kojih dolazi do proboja nalaze u mreži sastavljenoj od koncentriranih i distribuiranih parametara, onda se prijelazni procesi u takvoj mreži mogu računati jednom metodom za proračun prijelaznih pojava u koju je uključen zakon promjene otpora električnog luka, poput Toeplerova ili Rompe-Weizelova.

## 2. NASTANAK ELEKTRIČNOG LUKA

Pri proboju između elektroda iskrišta mogu se razlikovati dvije glavne faze izbijanja. U prvoj fazi dolazi

do slabog izbijanja, pri čemu je električna vodljivost između elektroda zanemarivo mala. U drugoj fazi formira se dobro vodljiva plazma između elektroda, a električni otpor pada s vrijednosti od nekoliko megaoma na nekoliko oma u vremenu između 5 i 20 nanosekundi. Za promatranje pojave promjene otpora električnog luka interesantna je ova druga faza, koju opisuje Toeplerov zakon. Prema ovom empirijskom zakonu, trenutna je vrijednost otpora električnog luka obrnuto razmjerna naboju koji je prostrujio do toga vremena. Otpor luka je

$$R_L(t) = \frac{K_T l_d}{Q_t} = \frac{K_T l_d}{\int_0^t i dt}, \quad (1)$$

pri čemu je:

- $Q_t$  — naboj koji je prostrujio do vremena  $t$ ,
- $l_d$  — duljina električnog luka,
- $K_T$  — Toeplerova konstanta.

Toeplerova konstanta je neovisna o tlaku i iznosi:

$$R_t = (0.75 - 2) \cdot 10^{-4} \text{ Vs/cm za zrak [1],}$$
$$K_t = (0.4 - 0.8) \cdot 10^{-4} \text{ Vs/cm za SF}_6 \text{ [2].}$$

Strmina čela vala koji nastaje nakon proboja bit će to veća što je viši narinuti napon na elektrode ili što je veća dielektrična čvrstoća plina.

Ako se vrijeme proboja definira kao vrijeme potrebno da napon između elektroda padne s vrijednosti 90% na vrijednost 10% napona prije proboja, onda se prema [3] vrijeme proboja može odrediti za homogeno polje iz izraza

$$t_p = 13,3 \frac{K_T}{E_p}. \quad (2)$$

Sa  $E_p$  označena je probojna jakost električnog polja.

## 3. NUMERIČKI PRORAČUN

Postupak za proračun promjenjivog otpora električnog luka razvijen je uz pomoć metode putnih valova

prema Maieru [4], [5], te korištenjem Toeplerovog zakona danog jednadžbom (1).

### 3.1. Metoda putnih valova

Za idealni električni vod elementarne duljine  $dx$  vrijede jednadžbe voda:

$$-\frac{\partial u(x,t)}{\partial x} = L_1 \frac{\partial i(x,t)}{\partial t} \quad (3)$$

$$-\frac{\partial i(x,t)}{\partial x} = C_1 \frac{\partial u(x,t)}{\partial t} \quad (4)$$

Opće rješenje prema d' Alembertu glasi:

$$u(x,t) = f(x-vt) + g(x+vt) \quad (5)$$

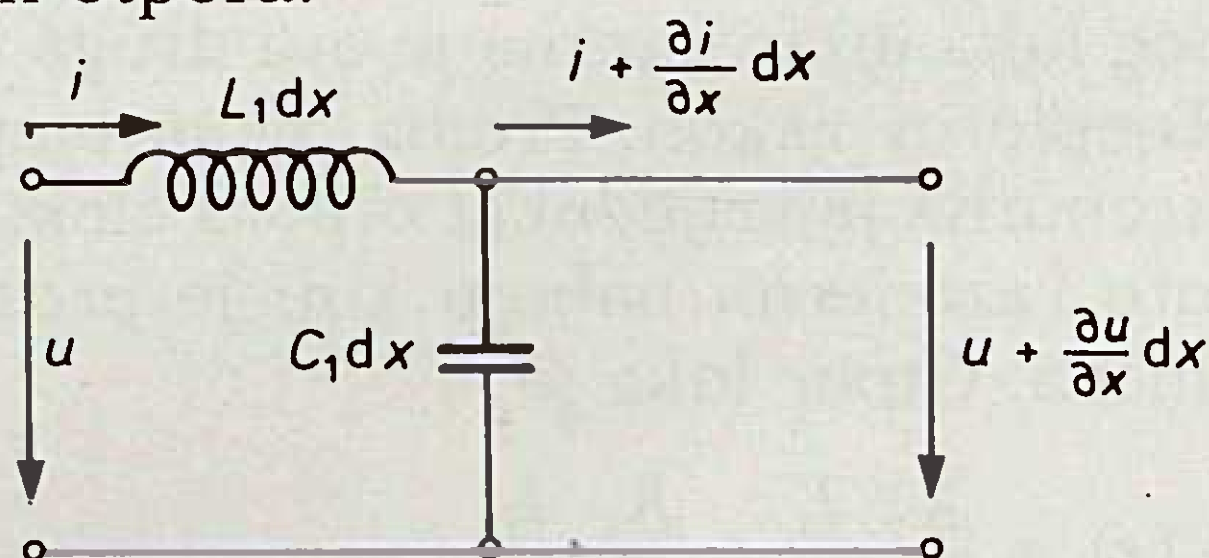
$$i(x,t) = \frac{1}{Z} [f(x-vt) - g(x+vt)], \quad (6)$$

U izrazima (5) i (6) je

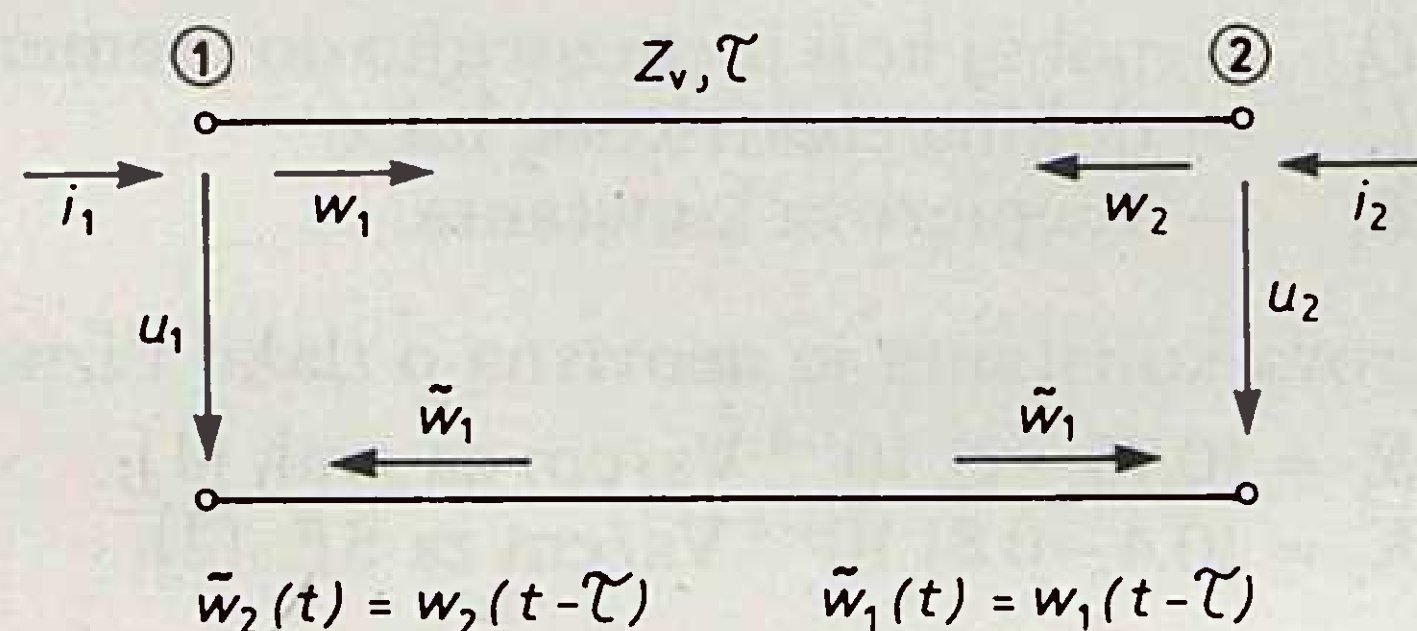
$$Z = \sqrt{L_1/C_1} \text{ valni otpor,}$$

$$v = 1/\sqrt{L_1 C_1} \text{ brzina širenja vala.}$$

Funkcije  $f(x-vt)$  i  $g(x+vt)$  predstavljaju valove koji se šire električnim vodom brzinom  $v$ . Val  $f(x-vt)$  putuje u smjeru pozitivne osi  $x$ , a val  $g(x+vt)$  u smjeru negativne osi  $x$ . Vrijednosti ovih valova dobivaju se iz uvjeta koji vladaju na točkama diskontinuiteta valnih otpora.



Slika 1. Nadomjesna shema idealnog električnog voda duljine  $dx$



Slika 2. Valovi na početku i na kraju električnog voda

Prema slici 2. val  $w_1$  u čvorišnju 1 predstavlja val koji je prije bio označen sa  $f(x-vt)$ . U čvorištu 1 u trenutku  $t$  formira se val  $w_1$ . Val  $w_2$  naišao je iz suprotnog čvorišta 2, a nastao je prije vala  $w_1$  za vrijeme prolaza vala idealnim vodom  $\tau$ . Na analogan način označeni su valovi u čvorištu 2. Za napone i struju u čvorištu 1 može se napisati:

$$u_1 = w_1 + \tilde{w}_2 \quad (7)$$

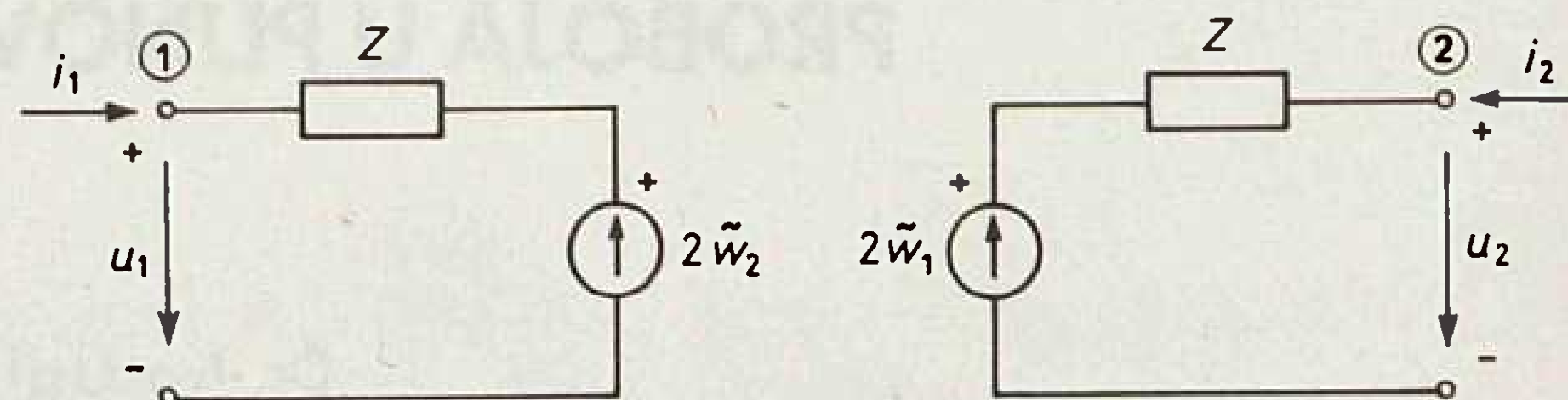
$$i_1 = \frac{1}{Z} (w_1 - \tilde{w}_2) \quad (8)$$

Jednadžbe (7), (8) vrijede za trenutak  $t$ . Val  $w_1$  nastao je prije vremena  $\tau$ , pa je u trenutku  $t$  već poznat.

Eliminiranjem vala  $w_1$  iz jednadžbi (7) i (8) dobiva se izraz

$$u_1 - Z i_1 = 2 \tilde{w}_2. \quad (9)$$

Prema jednadžbi (9) dolazi se do ekvivalentne sheme prema kojoj je na čvorište 1 priključen naponski izvor iznosa  $2 \tilde{w}_1$  i unutarnjeg otpora  $Z$ . Slično se prilike mogu prikazati u čvorištu 2, pa se idealni vod može nadomjestiti ekvivalentnom shemom sa slike 3.

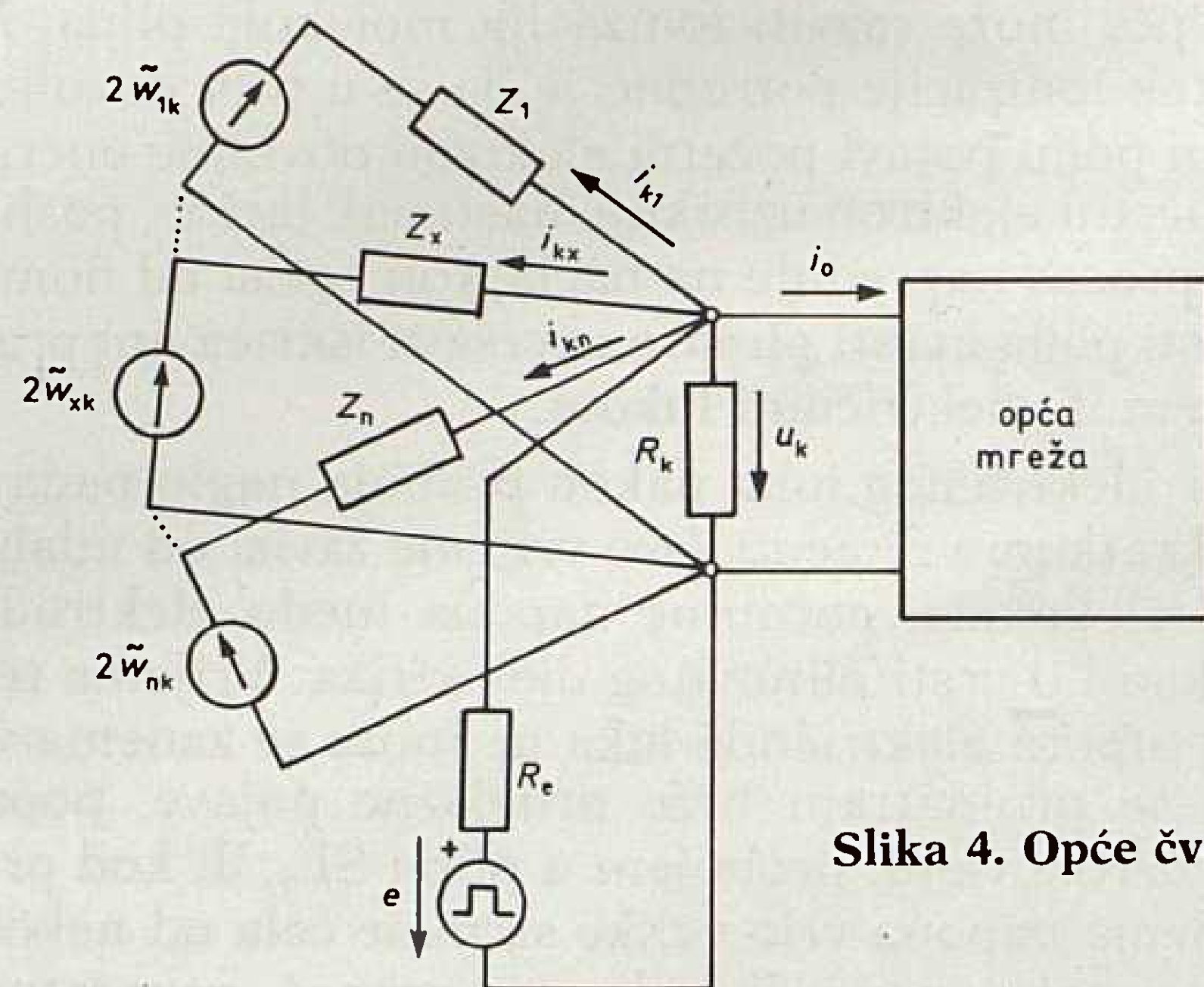


Slika 3. Idealni električni vod u metodi putnih valova

Pošto se u čvorištu 1 odredi struja i napon za trenutak  $t$ , može se odrediti novi val  $w_1$ , koji u tom trenutku nastaje u ovom čvorištu prema:

$$W_1 = \frac{1}{2} Z (u_1 + Z i_1). \quad (10)$$

Promatrajmo nadalje jedno opće čvorište. Pod tim se razumijeva čvorište u koje mogu biti priključeni svi elementi koji se pojavljuju u proračunima. Opće čvorište prikazano je slikom 4. Na čvorište je priključen naponski izvor unutarnjeg otpora  $R_e$ , te otpor prema zemlji  $R_k$ , a iz čvorišta izlazi  $n$  vodova. S desne strane priključen je model opće mreže, koja se tako zove jer se drugačije tretira od dijela s lijeve strane čvorišta.



Slika 4. Opće čvorište

Za sve vodove s lijeve strane općeg čvorišta može se napisati:

$$U_k - Z_x i_{kx} = 2 \tilde{W}_{xk} \text{ za } x = 1, 2, \dots, n. \quad (11)$$

Iz uvjeta da je suma struja u čvorištu  $k$  jednaka nuli, izvodi se izraz za napon općeg čvorišta

$$U_k = \frac{\frac{e}{R_e} + \sum_{x=1}^n \frac{2 \tilde{W}_{xk}}{Z_x}}{\frac{1}{R_e} + \frac{1}{R_k} + \sum_{x=1}^n \frac{1}{Z_x} + i_o} \quad (12)$$

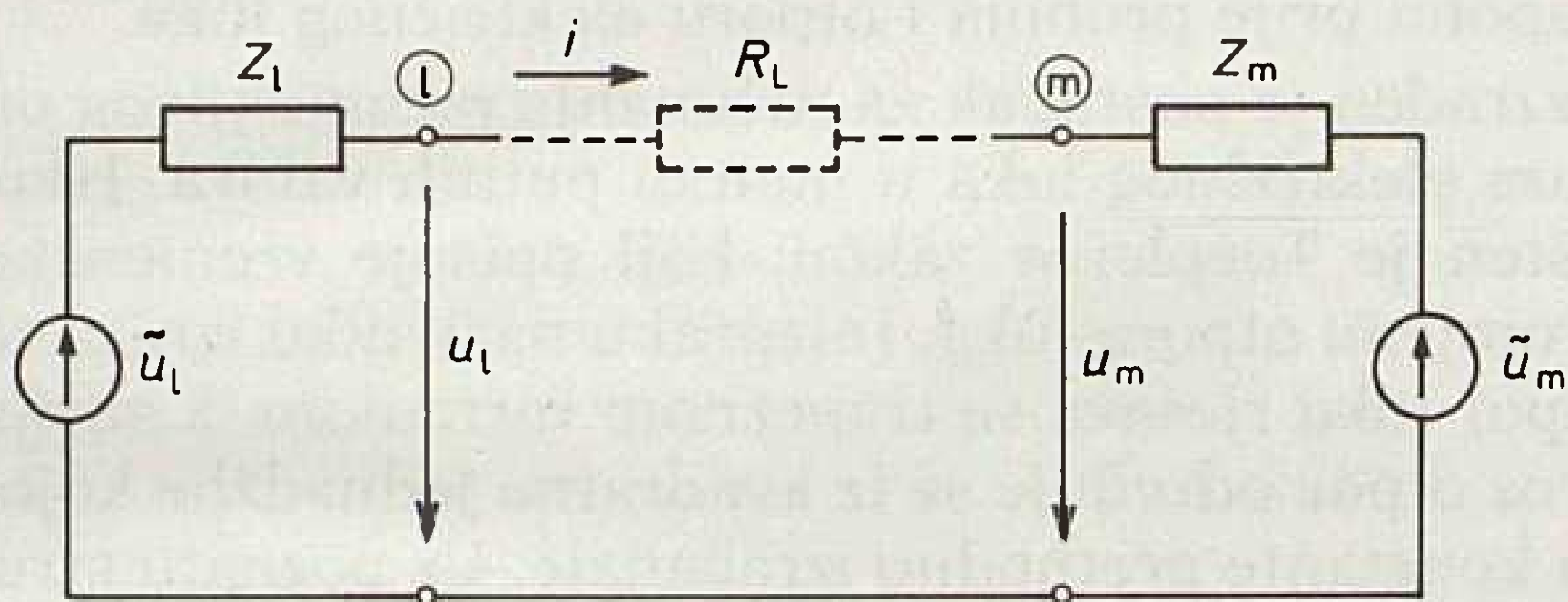
Kada ne postoji opća mreža, onda je u izrazu (12)  $i_o = 0$ .

Valovi koji nastaju u općem čvorištu i dalje odlaze vodovima računaju se iz napona i valova koji dolaze u opće čvorište, a koji su nastali ranije, pa su već poznati:

$$W_{kx} = U_k - \bar{W}_{kx} \quad (13)$$

### 3.2. Otpor električnog luka kao element mreže

Ovdje će biti opisan algoritam koji je razvijen za proračun s promjenjivim otporom električnog luka u metodi putnih valova.



Slika 5. Promjenjivi otpor električnog luka između čvorišta

Prema slici 5. može se napisati jednačina:

$$\bar{u}_l(t) - \bar{u}_m(t) = i(t)(Z + Z_m) + R_L(t) \cdot i(t) \quad (14)$$

Primjenom trapeznog pravila rješava se integral u nazivniku jednačine za  $R_L(t)$ .

$$R_L(t) = \frac{K_T \cdot I}{\text{int}(t - \Delta t) + 0,5 \Delta t [i(t - \Delta t) + i(t)]} \quad (15)$$

Sa  $\text{int}(t - \Delta t)$  označena je vrijednost integrala u nazivniku izraza (15) do trenutka  $(t - \Delta t)$ .

Nakon uvrštavanja izraza (15) u izraz (14) slijedi kvadratna jednačina po  $i(t)$  oblika:

$$a \cdot i^2(t) + b \cdot i(t) + c = 0 \quad (16)$$

Konstante  $a$ ,  $b$ ,  $c$  sadrže nepoznate veličine, koje su već izračunate. Ove se konstante računaju na sljedeći način:

$$a = 0,5 \cdot Z \cdot \Delta t \quad (17)$$

$$b = Z \cdot \text{int}(t - \Delta t) + 0,5 Z \Delta t i(t - \Delta t) + K_T I - 0,5 \Delta t [\bar{u}_l(t) - \bar{u}_m(t)]_{\text{otvoreno}} \quad (18)$$

$$c = -[\bar{u}_l(t) - \bar{u}_m(t)]_{\text{otvoreno}} \cdot [\text{int}(t - \Delta t) + 0,5 i(t - \Delta t) \Delta t] \quad (19)$$

pri čemu je

$Z = Z_l + Z_m$  — valni otpor,

$\text{int}(t - \Delta t)$  — vrijednost integrala u nazivniku izraza (15),

$\Delta t$  — korak integracije,

$i(t - \Delta t)$  — vrijednost struje u trenutku  $(t - \Delta t)$ ,

$\bar{u}_l(t)$  — napon čvorišta  $l$  uz otvoreni kontakt,

$\bar{u}_m(t)$  — napon čvorišta  $m$  uz otvoreni kontakt.

Rješavanjem jednačine (15) dobije se struja u trenutku  $t$ . Zatim se za svaki trenutak  $t$  računaju redom:

$$u_l(t) = \bar{u}_l(t) - Z_l \cdot i(t) \quad (20)$$

$R_L(t)$  prema (15)

$$U_m(t) = U_l(t) - R_L(t) \cdot i(t), \quad (21)$$

$$\text{int}(t) = \text{int}(t - \Delta t) + 0,5 \Delta t [i(t - \Delta t) + i(t)]. \quad (22)$$

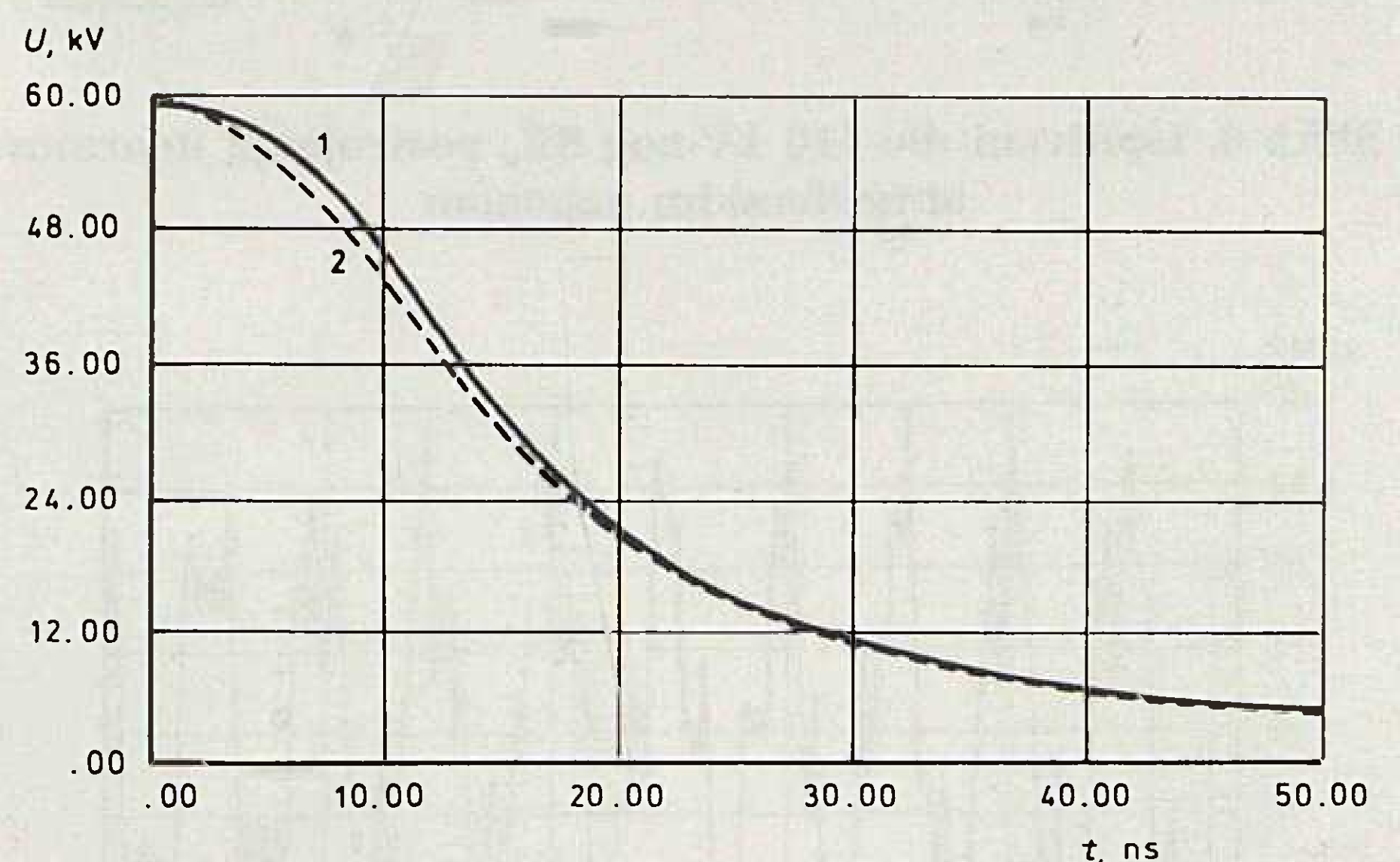
Pri proračunu s promjenjivim otporom električnog luka treba zadati neku početnu vrijednost otpora. Iznos te vrijednosti ne utječe na rezultat proračuna ako je ona vrlo velika (nekoliko megaoma).

## 4. PRIMJERI

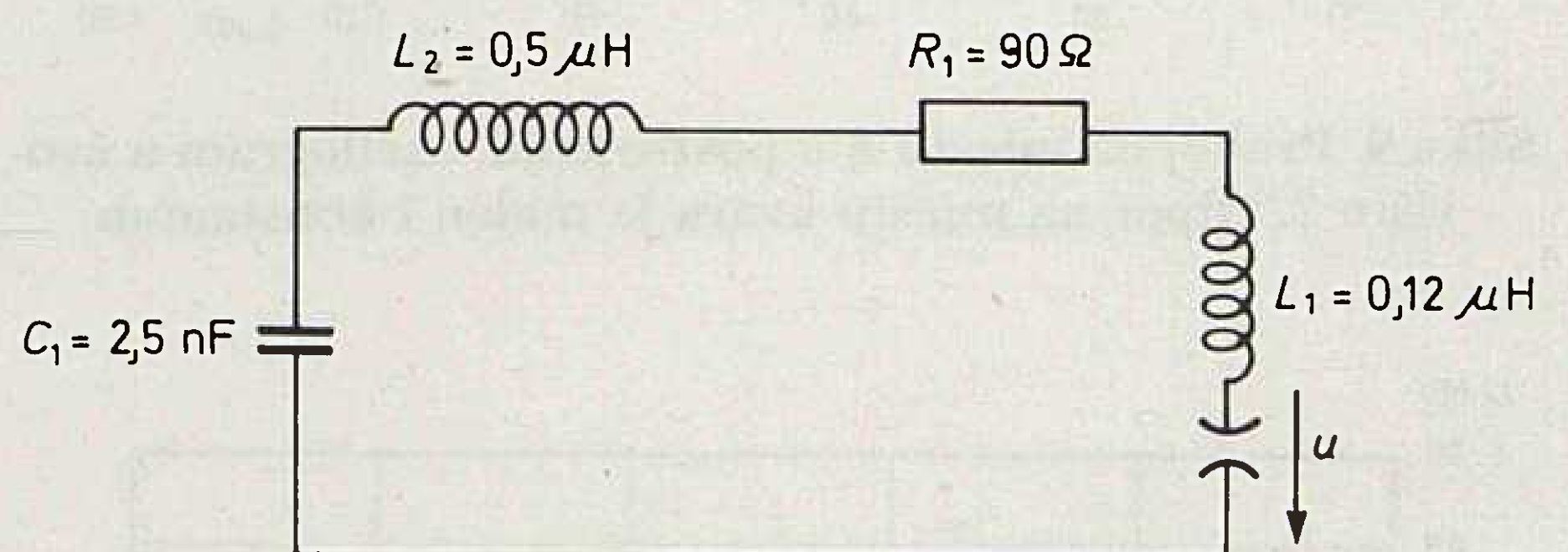
### 4.1. Usporedba s eksperimentalnim rezultatima

Ovdje će se pokazati provjera razvijenog algoritma izvršena u [6].

Izmjereni oscilogram napona iskrišta nakon proboja prikazan je krivuljom 1 (slika 6). Radi se o pločastom iskrištu, čije su elektrode međusobno udaljene 2 cm. Probojni napon iznosi 60 kV. Nadomjesna shema prikazana je slikom 7.



Slika 6. Oscilogram napona iskrišta nakon proboja: 1 — napon određen mjerenjem, 2 — napon računat metodom putnih valova



Slika 7. Modeliranje električnog kruga s pločastim iskrištem

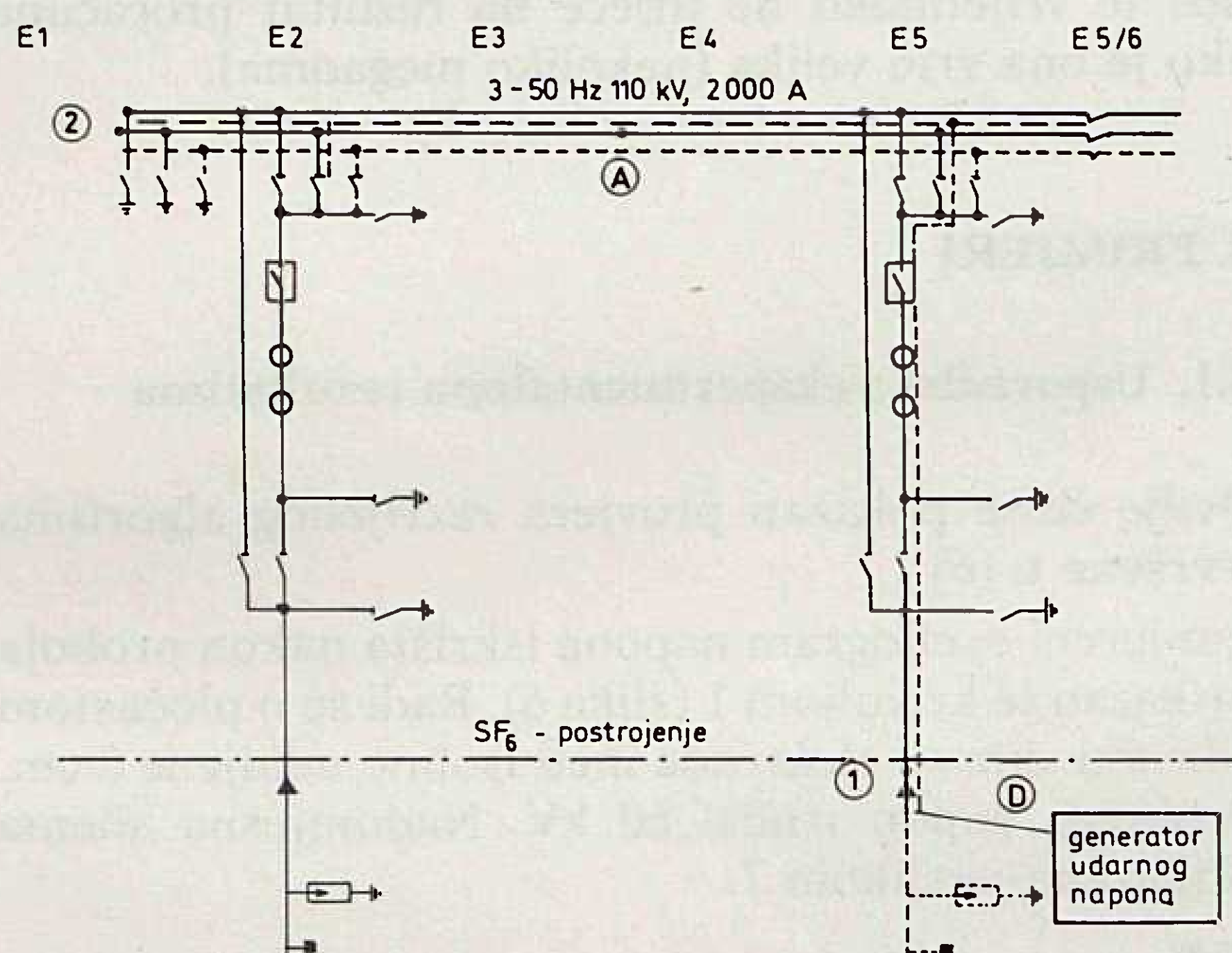
Uz vrijednost Toeplerove konstante  $K_T = 0,75 \cdot 10^{-4}$  Vs/cm postignuto je najbolje podudaranje s izmjerenim vrijednostima (krivulja 2, slika 6). Računato je s korakom  $\Delta t = 1$  ns.

### 4.2. Proboj u SF<sub>6</sub> postrojenju

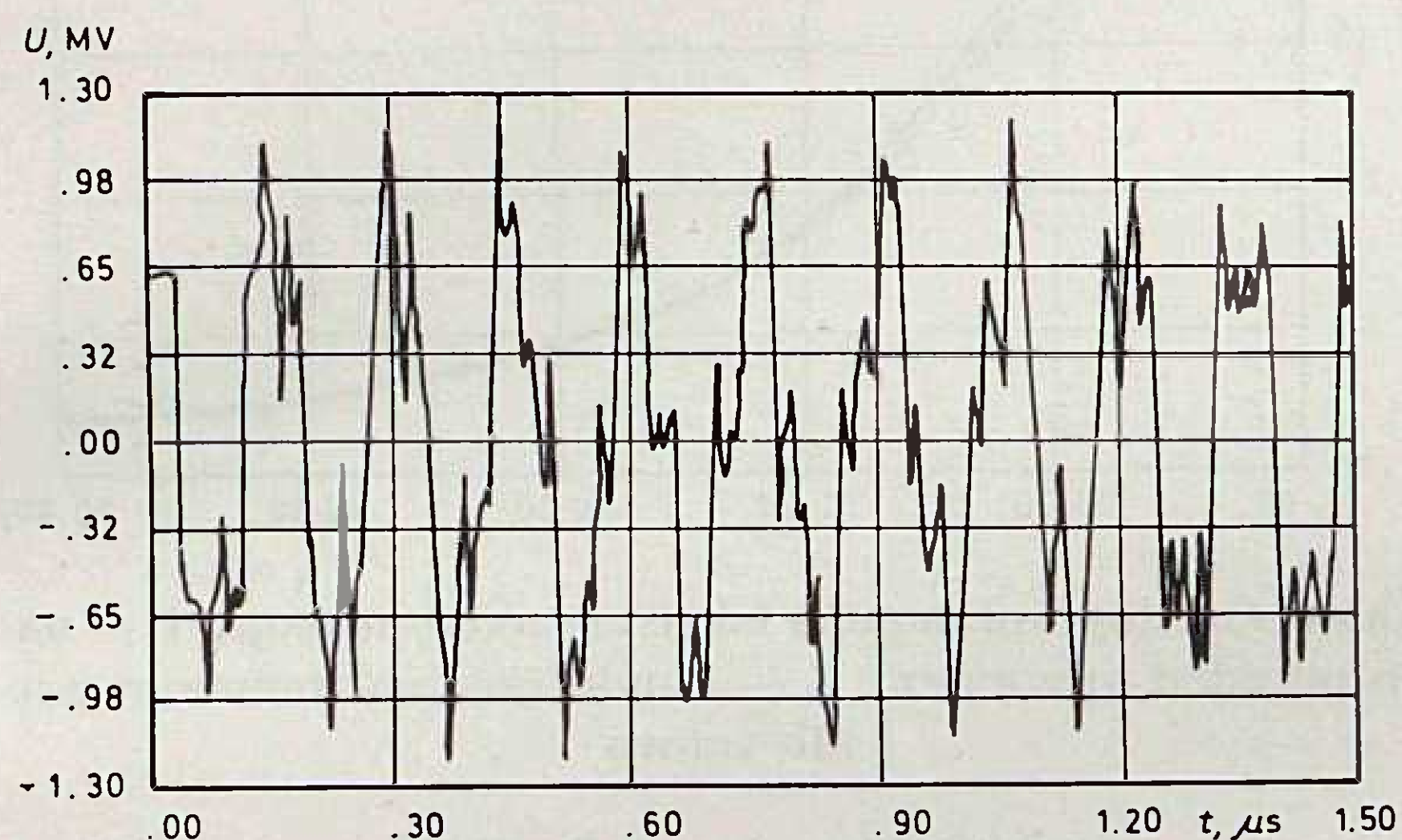
Nakon proboja u plinu SF<sub>6</sub> nastaju prenaponi vrlo strma čela. Pri uklapanju i isklapanju rastavljača do-

lazi do povratnih preskoka, pa se javljaju nepoželjni prenaponi, koji mogu ugroziti izolaciju SF<sub>6</sub> postrojenja [7], [8]. Isto tako do proboja i pojave vrlo strmih prenapona može doći pri ispitivanju izvedenih SF<sub>6</sub> postrojenja na terenu [9].

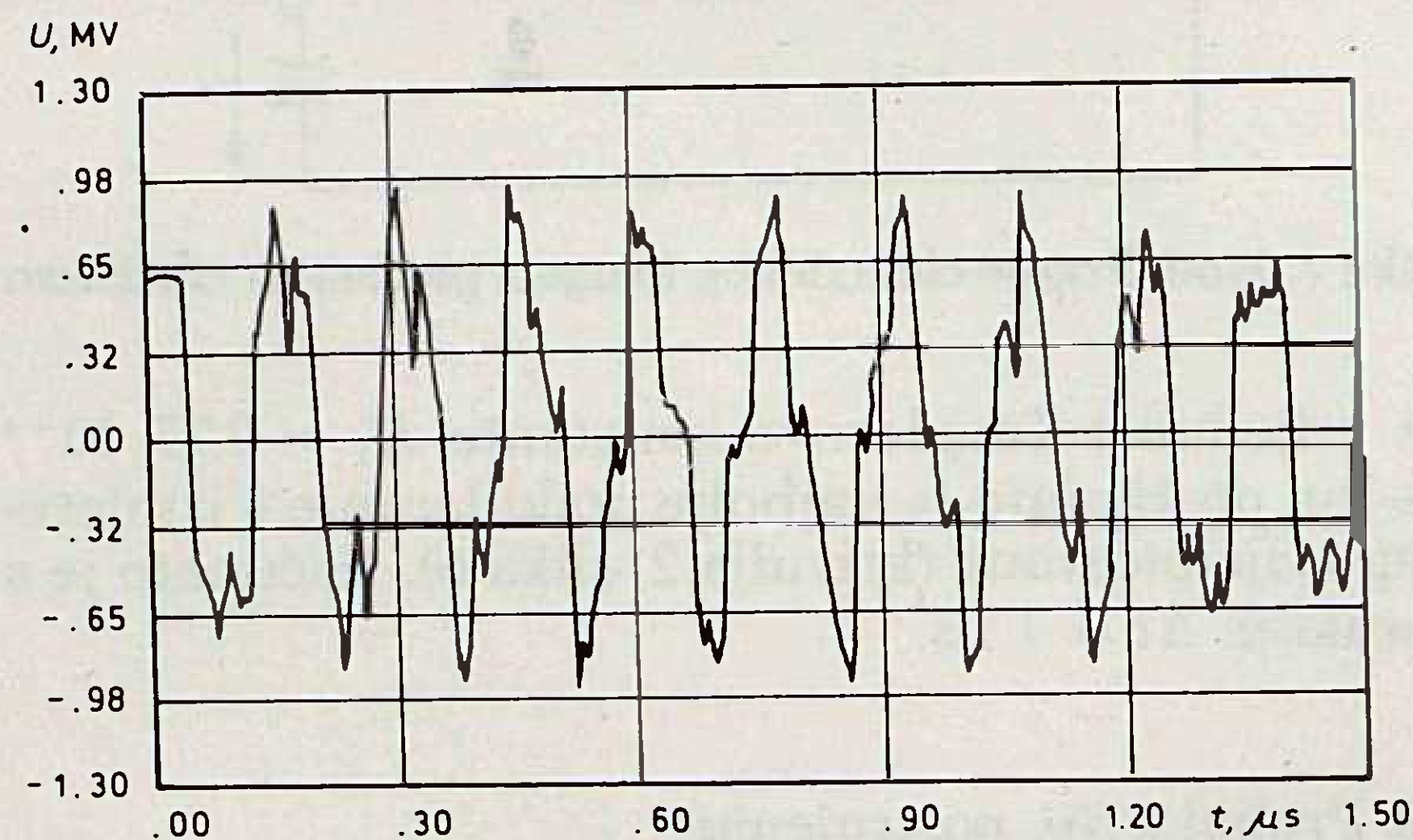
Do proboja u postrojenju dolazi u čvorištu A (slika 8), a oscilogrami napona u čvorištu 2 prikazani su na



Slika 8. Ispitivani dio 110 kV-nog SF<sub>6</sub> postrojenja udarnim atmosferskim naponom



Slika 9. Proboj na mjestu A u postrojenju, oscilogram u čvorištu 2. Otpor na mjestu kvara je malen i konstantan



Slika 10. Proboj na mjestu A u postrojenju, oscilogram u čvorištu 2. Otpor na mjestu kvara mijenja se u skladu Toeplerovim zakonom

slikama 9. i 10, i to za slučaj da je otpor na mjestu kvara malen i konstantan (slika 9), te za slučaj kada se otpor mijenja prema Toeplerovu zakonu (slika 10). Maksimalan napon u prvom je slučaju 1 289 kV, a u drugom 940 kV, pa je razlika 349 kV.

## 5. ZAKLJUČAK

Pri probju u plinovitom dielektriku napon na mjestu probja vrlo brzo pada na nulu. Ako se radi o proučavanju vrlo brzih prijelaznih pojava, tada je potrebno poznavati oblik napona, čija strmina ovisi o naponu prije probja i otporu električnog luka.

Razrađen je postupak za računanje promjenjivog otpora električnog luka u metodi putnih valova. Iskorišten je Toeplerov zakon, koji opisuje vremensku promjenu otpora luka. Integral u nazivniku izraza za otpor luka rješava se trapeznom formulom, a struja kroz otpor određuje se iz kvadratne jednadžbe kojoj su konstante prethodno izračunate. Uz poznatu struju može se odrediti otpor električnog luka i napona na mjestu probja u svakom trenutku.

Proračun srazvijenim algoritmom ilustriran je primjerima. Prvi primjer uspoređuje rezultat dobiven algoritmom s jednim eksperimentalnim primjerom iz literature. Rezultati dobiveni proračunom i mjerenjem vrlo se dobro poklapaju.

U drugom primjeru računati su prenaponi koji se pojavljuju nakon probja u jednom SF<sub>6</sub> postrojenju za vrijeme ispitivanja. Jednom je otpor luka modeliran kao prekidač vrlo malog konstantnog otpora, a drugi put kao promjenjivi otpor, računat prema Toeplerovu zakonu. Iz velike razlike iznosa maksimalnih prenapona izračunatih u ta dva slučaja može se uočiti važnost utjecaja otpora električnog luka na rezultat proračuna.

## LITERATURA

- [1] LESCH G., »Lehrbuch der Hochspannungstechnik«, Springer Verlag, Berlin, 1959.
- [2] RAGALLER K., »Surges in High-Voltage Networks«, Plenum Press, New York and London, 1980.
- [3] FUJIMOTO N., DICK E. P., BOGGS S. A., FORD G. L., »Transient Ground Potential Rise in Gas Insulated Substations — Experimental Studies«, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS — 101, 3603 — 3609, 1982.
- [4] MAIER H., »Berechnung zum Schutzbereich von Ableitern mit dem Wanderwellenverfahren«, ETZ-A Bd. 91, 547-553, 1970.
- [5] MAIER H., »Wanderwellenverfahren zur Berechnung elektromagnetischer Ausgleichvorgaenge in Drehstrom-Hochspannungsnetzen unter Beruecksichtigung frequenzabhaengeriger Leitungskennndaten«, Habilitacija, TU Stuttgart, 1979.
- [6] UGLEŠIĆ I., »Specifičnosti rasklopnih postrojenja izoliranih sumpornim heksafluoridom s obzirom na utjecaje izazvane atmosferskim prenaponima«, disertacija, ETF, Zagreb, 1988.

- [7] BOGGS S. A., CHU F. Y., FUJIMOTO N., KRENICKY A., PLESSL A., SCHLICHT D., »Disconnect Switch Induced Transients and Troped Charge in Gas Insulated Substation«, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol PAS – 101, 3593-3602, 1982.
- [8] HANADA C. N., ASANO M., BORGONOVO G., ELLI E., GARBERO L., EBERSOHL G., VOISIN G., »Fast Transients Overvoltages in Porto Primavera 420 kV SF<sub>6</sub> Insulated Substation«, CIGRE 33-14, Paris, 1984.
- [9] UGLEŠIĆ I., »Proračun računalom ispitivanja udarnim atmosferskim prenaponom SF<sub>6</sub> postrojenja na terenu«, VII. međunarodni simpozij »Projektiranje i proizvodnja podržani računalom«, Zagreb, 1985.

#### METHODE DER WIDERSTANDSBERECHNUNG DES ELEKTRISCHEN BOGENS NACH DEM EINDRINGEN IN DIE GASDIELEKTRIKA

Hier bearbeitet man die Methode für die Berechnung des Widerstandes des elektrischen Bogens der auf der Methode der Wellen und dem Toeplerschen Gesetz beruhen. Der entwickelte Allogarithmus ist mit experimentellen Resultaten bestätigt worden. Diese Methode eignet sich bei Berechnungen der elektromagnetischen Übergangserscheinungen.

#### СПОСОБ РАСЧЕТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ ПОСЛЕ ПРОБОЯ В ГАЗОВЫХ ДИЭЛЕКТРИКАХ

Разработан способ расчета сопротивления электрической дуги, основанный на методе дорожных волн и законе Теоплера. Разработанный алгоритм проверен экспериментальными результатами. Способ показан в расчетах электроэнергетических переходных явлений.

#### METHOD FOR CALCULATION OF ELECTRIC ARC RESISTANCE AFTER DISCHARGE IN GASEOUS DIELECTRICS

In the article is elaborated a method electric arc calculation that is based on traveling waves and Toepler law. Developed algorithm is tested on experimental results. The method is applicable for calculation of electro-magnetic transients.

Naslov autora:

**Dr. Ivo Uglešić, dipl. ing.**  
**Zavod za visoki napon i**  
**energetiku**  
**Elektrotehnički fakultet**  
**Unska 3**  
**41000 Zagreb**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-07-12

# »JUGOTURBINA«

**INDUSTRIJA METALNIH PROIZVODA, OPREME I POSTROJENJA SOUR o. sub. o.  
47000 KARLOVAC, VIII divizije 10, Jugoslavija Tel. (047) 31-533; Telex: 23736**

## PROIZVODNI PROGRAM:

- ENERGETSKA OPREMA I POSTROJENJA: parne turbine za pogonjenje generatora u nuklearnim i klasičnim termoelektranama i toplanama, te za pogonjenje ostalih radnih strojeva; turbokompresori, dizel agregati i kompletna energetska postrojenja.
- BRODSKA OPREMA: glavni i pomoćni dizel motori, parne turbine, pumpe i automatika
- PUMPE I PUMPNA POSTROJENJA
- POSTROJENJA ZA PROČIŠĆAVANJE KOMUNALNIH I INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA
- KLIZNI LEŽAJEVI
- ELEKTRONIKA, AUTOMATIKA I BIROTEHNIKA
- PROJEKTIRANJE I IZGRADNJA INDUSTRIJSKIH I DRUGIH GRAĐEVINSKIH OBJEKATA
- GRAĐEVINSKI OKOV, ČAVLI I DRUGI ŽIČANI PROIZVODI
- PROIZVODI OD TERMOPLASTIČNIH MASA

## »JUGOTURBINA«

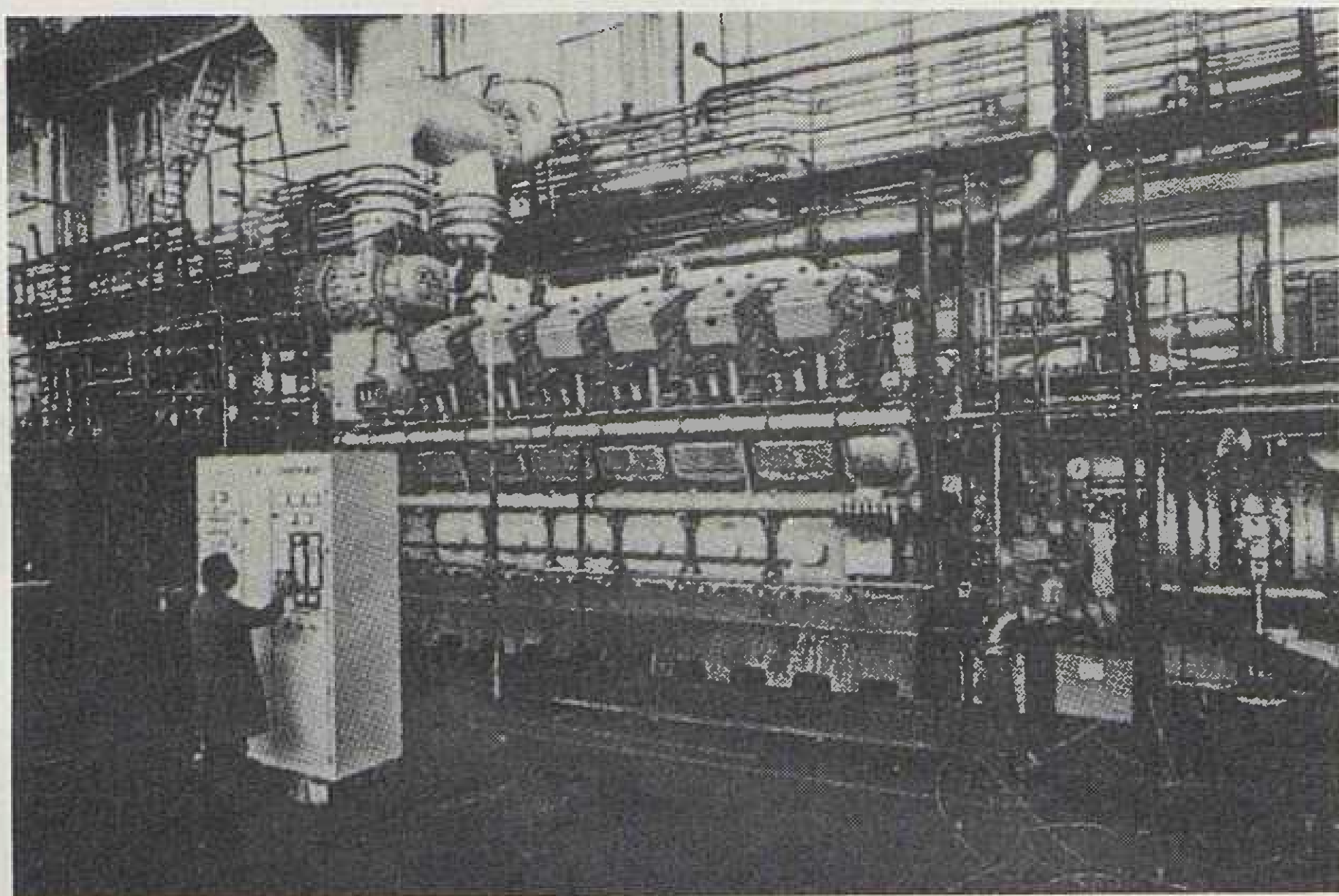
— TRGOVINA I INŽENJERING n. sol. o.  
47000 KARLOVAC, Trg Braće M. i J. Benić 2,  
Jugoslavija Tel. (047) 26-022; Telex 23745

## DJELATNOSTI:

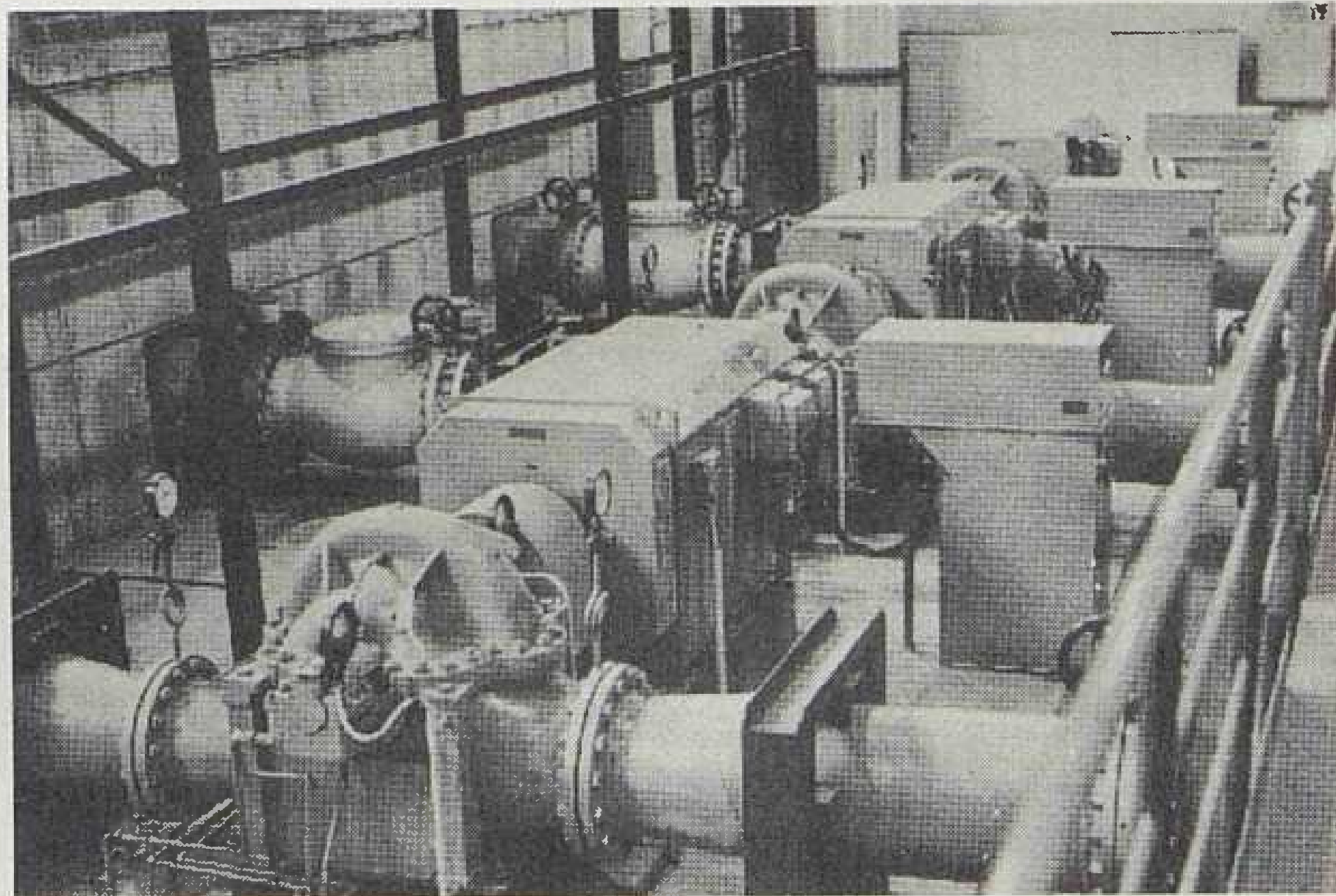
- INŽENJERING (Konzalting, projektiranje, isporuka opreme i izgradnja objekata) za ENERGETSKA, HIDRO I INDUSTRIJSKA POSTROJENJA
- IZVOZ – UVOZ, ZASTUPSTVO, TRGOVINA NA VELIKO I MALO

## REFERENCE NA SVIM KONTINENTIMA:

500 turboagregata  
1.400 dizel motora  
65.000 pumpnih agregata



Dizel motor 12 ZV 40 od 6220 KW za havarijsku stanicu u NE  
— SSSR



Pumpna stanica u TO Ljubljana

## PUMPE ZA ENERGETSKA POSTROJENJA (TERMoeLEKTRANE-TOPLANE)

Proširenje postojećeg programa napojnih, kondenzatnih i rashladnih pumpi zadovoljit će uvjete termoelektrana i toplana, snage do 1200 MW. Nekoliko stotina instaliranih pumpi od kojih neke besprijekorno rade već više od 20 godina u najvećim energetskim postrojenjima u zemlji (Zagreb, NE Krško, Ljubljana, Zenica, Obrenovac, Plomin, Lučani, Brestalnica, Kakanj, Skopje, Zrenjanin, Banja Luka, Kosovo itd) i 70 pumpi koje rade u termoelektranama u Kampuru, Kandli i Barauni — Indija, Rhodos i Linoperamata u Grčkoj kao i saradnja sa vodećim svjetskim firmama, garantiraju uspjeh u razvoju i proizvodnji pumpi za energetiku.



# OSIGURANJE KVALITETE PRI PROVEDBI PERIODIČKIH POGONSKIH ISPITIVANJA NE

Hrvoje Štingl — Vladimir Bradač, Zagreb

UDK 621.039.5.005

PREGLEDNI RAD

Prikazuju se mjere osiguranja kvalitete koje se provode u toku pripreme i provedbe periodičkih pogonskih ispitivanja stanja cijevnih sistema i komponenata NE Krško. Periodička pogonska ispitivanja (in-service inspection — ISI) cjevovoda i komponenata, bitnih po sigurnost rada nuklearne elektrane, provode se prilikom svake redovne obustave radi izmjene goriva s namjerom da se utvrdi stanje odnosno potvrde mogućnosti za nastavak sigurnog i pouzdanog rada nuklearne elektrane. Osiguranje kvalitete pridonosi da se ISI obavlja kvalitetno i da se ta kvaliteta dokumentira i verificira.

**Ključne riječi:** nuklearna elektrana, pogonska ispitivanja, osiguranje kvalitete, sigurnost.

## 1. UVOD

Osiguranje kvalitete (QA) jest skup planiranih i sistematskih akcija radi postizanja zadovoljavajuće pouzdanosti da će aktivnosti na koje se primjenjuje sistem osiguranja kvalitete biti obavljene kvalitetno i u skladu s primjenjivim propisima.

Periodičko pogonsko ispitivanje (In-service inspection — ISI) predstavlja aktivnosti kontrole kvalitete materijala, komponenti i sistema. Cilj je ovog ispitivanja održavanje visoke sigurnosti i raspoloživosti NE sistematskim periodičkim praćenjem metodama ispitivanja bez razaranja nastoje se otkriti, locirati i analizirati u pogonu nastali diskontinuiteti i pogreške.

Osiguranje kvalitete ISI čini, dakle, skup organiziranih akcija koje će pružiti uvjerenje da će ISI, kao vrlo značajna aktivnost za sigurnost i raspoloživost NE, biti obavljena kompletno i kvalitetno.

## 2. ZAHTJEVI ZA PROVEDBU POGONSKIH ISPITIVANJA (ISI)

Periodička ispitivanja stanja cjevovoda i opreme nuklearne elektrane aktivnosti su ponajviše preventivnog karaktera. Osnovna svrha je utvrđivanje stanja i usporedba s početnom situacijom kako bi se uočila eventualna odstupanja i na vrijeme poduzele korektivne akcije i na taj način održao željeni nivo sigurnosti i raspoloživosti elektrane. Naravno, ovo je vrlo uopćen prikaz jedne specifične aktivnosti koja je kod nas prihvaćena regulativom i prilično detaljno regulirana kako u pitanju objekata ispitivanja i opsega, tako i u pogledu metoda koje se primjenjuju i kriterija prihvaćanja.

Razvoj nuklearne energetike u svijetu nametnuo je potrebu da se, zbog njihove specifičnosti pretvorbe

energije, velika pažnja posveti sigurnosti okoline od eventualne nesreće s oslobađanjem radioaktivnih tvari. Zbog toga su nuklearne elektrane opremljene nizom sigurnosnih sistema kojima je zadatak sprečavanje takvih nesreća odnosno ublažavanje njihovih posljedica. Zahtjevi za sigurnost su detaljno propisani regulativom vodećih zemalja na području nuklearne tehnologije. Jednom postignutu sigurnost projektnim rješenjima, posebno nadziranom proizvodnjom, ugradnjom i detaljnom provjerom prije puštanja u pogon potrebno je održavati i u toku dugog niza godina eksploatacije. Upravo na tom području važnu ulogu imaju periodička pogonska ispitivanja — »in-service« inspekcije.

Naša zasad jedina nuklearna elektrana — NE Krško izgrađena je prema američkoj regulativi. Dokument koji opisuje i propisuje sigurnosne mjere (Konačni sigurnosni izvještaj — FSAR) također se bazira na odgovarajućoj regulativi SAD odnosno zahtjevima NRC — Nuklearne regulatorne komisije u SAD. Tako se i zahtjevi za ISI navedeni u FSAR-u oslanjaju na zahtjeve koji se primjenjuju u SAD a to su zahtjevi propisani u ASME »Boiler and Pressure Vessel Code« Sekcija XI »Pravila za pogonsko ispitivanje komponenata u nuklearnim elektranama« [1]. Ova pravila propisuju specifična područja ispitivanja i sisteme na kojima se ispitivanja provode, i to kroz cijeli životni vijek elektrane. Posebno se utvrđuju:

- opći zahtjevi (opseg ispitivanja, izbor komponenata opreme obuhvaćene ispitivanjem, kvalifikacija osoblja za provedbu ispitivanja i evaluaciju rezultata)
- zahtjevi za komponente klase 1 (metode ispitivanja i popravaka opreme klase 1 te njihovih nosača i oslonaca, kriteriji za isključivanje iz opsega ispitivanja)
- zahtjevi za komponente klase 2
- zahtjevi za komponente klase 3

- zahtjevi za pumpe
- zahtjevi za ventile.

Osim zahtjeva ASME propisa za provedbu ispitivanja u NE Krško se primjenjuju i preporuke Nuklearne regulatorne komisije SAD (US-NRC) koje dopunjuju zahtjeve ASME Sekcije XI.

### 3. PROVEDBA ISI

Program ispitivanja, utvrđen u skladu s propisima, počinje se primjenjivati još prije puštanja elektrane u pogon. To su takozvana pretpogonska ispitivanja (pre-service inspection) kojima se utvrđuje početno stanje odnosno dobivaju podaci koji će u budućim ispitivanjima pomoći pri evaluaciji rezultata. Pretpogonsko ispitivanje provodi se na komponentama koje će u skladu sa zahtjevima propisa biti kasnije periodički ispitivane u toku cijelog životnog vijeka elektrane. Nužno je da se metode i postupci ispitivanja korišteni za pretpogonska ispitivanja koriste i kasnije pri provedbi pogonskih ispitivanja radi lakše mogućnosti usporedbe odnosno evaluacije rezultata.

Na NE Krško primjenjuje se program ispitivanja »B« prema ASME B & PVC Sekcija XI. Taj program dijeli životni vijek elektrane u četiri intervala od po 10 godina i predviđa u svakom intervalu 100%-tno ispitivanje cjelokupnog opsega ispitanog u pretpogonskom ispitivanju.

Budući da se ISI obavlja, u pravilu, tokom redovnih obustava elektrane radi izmjene goriva, vremensko trajanje aktivnosti je ograničeno, pa je stoga neobično važna dobra priprema i organizacije provedbe ispitivanja. Pritom naglasak treba biti na:

- dobroj uvježbanosti i obuci osoblja koje provodi ispitivanja
- provjeri i baždarenju opreme na posebnim modelima prije početka ispitivanja
- prikupljanju svih podataka koji mogu pomoći kod evaluacije rezultata ispitivanja
- dobroj povezanosti i suradnji s osobljem nuklearne elektrane
- provedbi mjera osiguranja kvalitete ISI.

Metode ispitivanja koje se koriste prilikom provedbe pogonskih ispitivanja pripadaju grupi bezrazornih metoda. Za svaku metodu razrađeni su detaljni postupci u skladu s primjenjivanom regulativom. Koriste se sljedeće metode:

- vizualni pregled kojim se provjerava stanje dijela komponente ili ispitivane površine, kao što je habanje, korozija, erozija, mehanička oštećenja, propuštanje, stanje spojeva, zračnosti i sl. Vizualni pregled može se obavljati direktno ili uz pomoć posebnih optičkih sistema pa i zatvorenih televizijskih sistema
- površinska ispitivanja kojima se utvrđuje prisutnost pukotina ili sličnih diskontinuiteta na površini ili neposredno ispod površine ispitanog predmeta. Površinska ispitivanja mogu biti provedena pomoću magnetskih čestica, tekućih penetranta ili u posebnim slučajevima metodom vrtložnih struja

- volumetrijska ispitivanja kojima se otkriva prisutnost diskontinuiteta u volumenu materijala koji se ispituje. Ova ispitivanja se provode metodom ultrazvuka ili radiografskom metodom u posebnim slučajevima
- ispitivanje vrtložnim strujama koje pripada površinsko-volumetrijskoj metodi, a koriste se, naprimjer, za ispitivanje stanja cijevi generatora pare.

Posljednji, ali najvažniji korak u provedbi ispitivanja jest interpretacija i evaluacija rezultata ispitivanja. Interpretacija rezultata predstavlja utvrđivanje uzroka nastajanja indikacije, tj. što je ono što nam je određena metoda pokazala kao anomaliju — indikaciju. Evaluacija rezultata slijedi interpretaciju, naravno samo za one indikacije koje su interpretirane kao odstupanja od kriterija prihvatljivosti, a cilj joj je da utvrdi utjecaj indikacije na korisnost ispitanog predmeta, tj. utvrdi da li je predmet prihvatljiv kakav jest ili ga treba popraviti ili odbaciti.

Provedba ISI je veoma odgovoran zadatak koji zahtijeva ozbiljnu pripremu i savjesnu provedbu zbog svojeg značaja za sigurnost i raspoloživost nuklearne elektrane. Kratkoća vremena za provedbu i otežani uvjeti, posebno s obzirom na zaštitu od radioaktivnosti, zahtijevaju maksimalnu organiziranost i uvježbanost osoblja koje provodi pogonska ispitivanja.

### 4. OSIGURANJE KVALITETE (QA) U PRIPREMI I PROVEDBI ISI

#### 4.1. Izrada specifičnog QA postupka za ISI

Osiguranje kvalitete (QA) Instituta za elketroprirodu (IE) je za potrebe ISI aktivnosti na NE Krško (NEK) razvilo specifični postupak osiguranja kvalitete »Kontrola provedbe pogonskih ispitivanja stanja opreme (ISI) u NE Krško«, kao nadopunu Priručnika osiguranja kvalitete IE [2]. Tako su, pored općih QA zahtjeva i postupaka u QA Priručniku IE koji definiraju QA aktivnosti unutar IE, definirani i specifični zahtjevi vezani za ISI aktivnosti na NEK.

Postupak između ostalog definira:

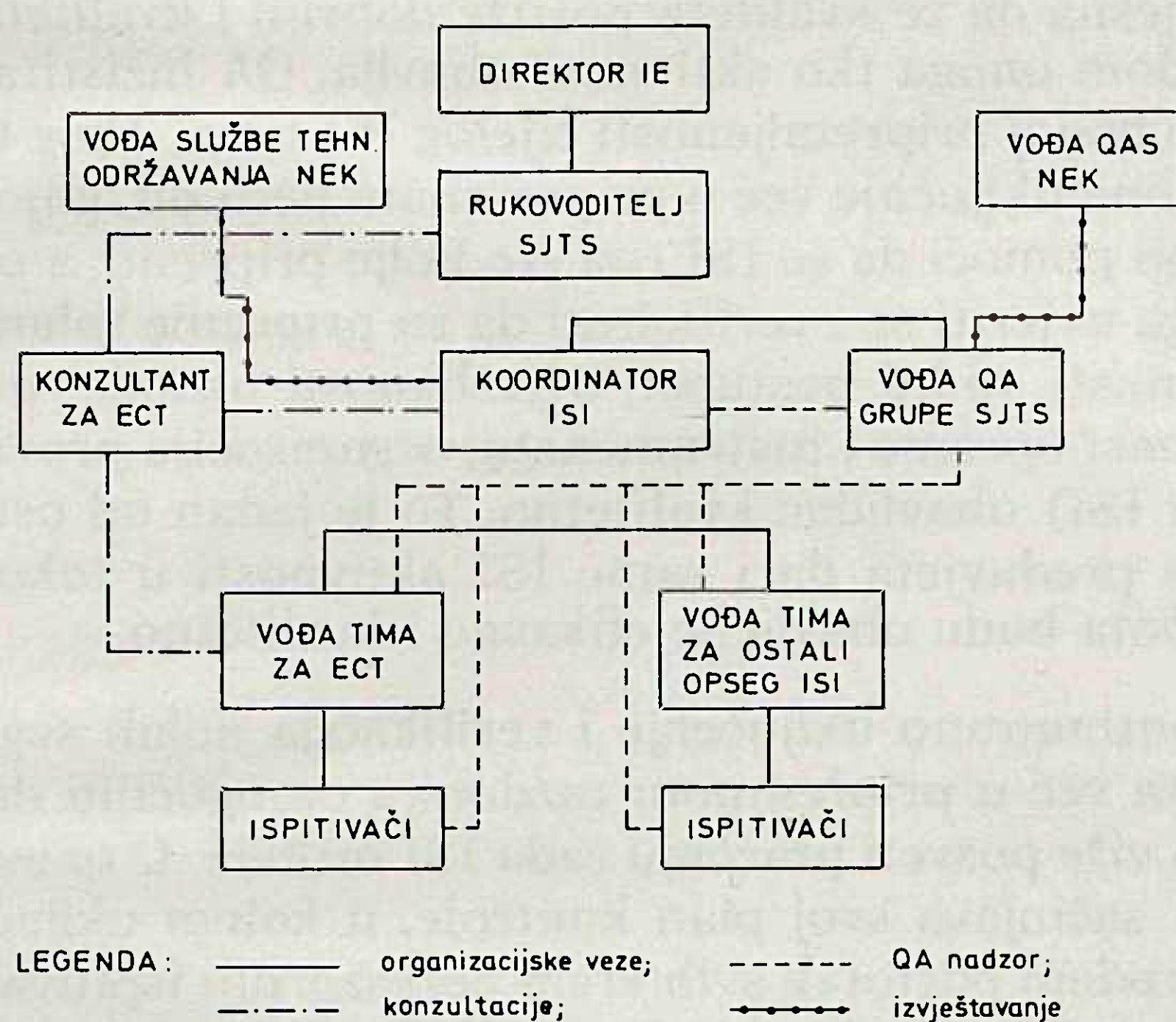
- organizacijsku strukturu za provedbu i osiguranje kvalitete ISI aktivnosti
- specifične zahtjeve za kontrolu dokumentacije, što uključuje i pripremu i odobrenje radnih postupaka za sva ispitivanja bez razaranja
- zahtjeve za baždarenje i kalibraciju opreme
- zahtjeve za kvalifikaciju osoblja
- sve potrebne radne postupke za provedbu ISI aktivnosti
- način pripreme izvještaja za pojedine aktivnosti
- opseg QA nadzora
- način QA nadzora nad provedbom ISI i način dokumentiranja tog nadzora
- način pripreme i kontrolu izrade završnog izvještaja
- zapise koji se generiraju tokom provedbe QA na ISI.

## 4.2. Organizacija u ISI aktivnostima

Organizacijska shema ISI tima i osiguranja kvalitete na ISI prikazana je na slici 1.

Priprema i provedbom ISI aktivnosti rukovodi koordinator ISI. On je zadužen za suradnju s ostalim organizacijama i organizacijskim jedinicama u pripremi i provedbi ISI. On je, nadalje, odgovoran za redovno izvještavanje NEK tokom provedbe ISI aktivnosti, te za pripremu i pregled završnog izvještaja o ISI.

Koordinatoru ISI u radu pomažu vođa tima za ECT generatora pare i vođa tima za ostala ISI ispitivanja (vizualna, penetrantska, magnetskim česticama i ultrazvučna). Oni su odgovorni za pripremu i provedbu svog dijela aktivnosti na ISI, te nadzor nad radom članova svoga tima.



Slika 1. Organizacija osiguranja kvalitete ISI

Konzultant za ECT savjetuje u provedbi te aktivnosti koordinatora ISI i vođu tima za ECT. On prati evaluaciju rezultata i pregledava i potvrđuje sve indikacije ustanovljene na cijevima generatora pare.

QA obavlja nadzor nad pripremom i provedbom ISI. Na eventualno uočene nedostatke upozorava vođe timova i Koordinate ISI. U slučaju veće neusklađenosti obavještava rukovoditelja SJ i poduzima odgovarajuće korektivne akcije.

Na shemi je vidljiva neovisnost QA od izvođača ISI aktivnosti, te njegovo direktno izvještavanje rukovoditelja SJ, čime je ostvaren jedan od osnovnih preduvjeta za efikasno obavljanje QA funkcije.

## 4.3. Priprema za ISI

ISI aktivnosti obuhvaćaju razne vrste bezrazornih ispitivanja. Ta ispitivanja svrstavaju se u tzv. specijalne procese i iziskuju visok stupanj specijalističkog znanja, pogotovo za ono osoblje koje obavlja evaluaciju rezultata. Zbog toga se sve osoblje posebno školuje i svake godine dodatno uvježbava kako bi održalo stručnost i uvježbanost. Kako ISI aktivnosti obično stoje na tzv. kritičnom putu, dobra uvježbanost i

izučenost ljudi i dobra organizacija posla osnovni su preduvjet da se ISI aktivnosti kvalitetno i na vrijeme obave.

Polazeći od činjenice da se kvaliteta ostvaruje kod onoga tko obavlja posao, te uvažavajući navedeno da se ta kvaliteta može ostvariti samo uz dobro uvježbano i školovano osoblje i dobru organizaciju, u IE se velika pažnja posvećuje priprema za ISI. Pritome se posebno vodi briga o:

- pripremi plana ISI u skladu s 10-godišnjim programom ispitivanja za NEK
- pregledu postojećih, te po potrebi promjeni, dopuni ili pripremi novih radnih postupaka
- školovanju, obučavanju i uvježbavanju osoblja za provedbu ISI
- organizaciji za predstojeće ispitivanje
- pregledu, kalibriranju i provjeri svih instrumenata i opreme
- utvrđivanju zdravstvene i fizičke sposobnosti ISI osoblja.

QA se, svjesna izuzetne važnosti dobro provedenih priprema, uključuje već u toj fazi aktivnosti na ISI. Time se QA priprema za praćenje provedbe ISI aktivnosti, a istodobno verificira pojedine faze priprema ISI grupe i stječe uvjerenje o pripremljenosti za kvalitetno obavljanje ISI aktivnosti u NEK.

Pregledom plana aktivnosti na ISI i radnih postupaka QA se upućuje u opseg i način provedbe ISI aktivnosti, te sačinjava svoj plan kontrole, na temelju kojeg će kontrolirati ISI aktivnosti. Pri izradi plana kontrole QA brine o pokrivanju minimalnog predviđenog opsega pojedinih načina ispitivanja, te, koliko je moguće, jednolikom pokrivanju svog ispitnog osoblja.

Pored svoje pripreme, QA kontinuirano prati i verificira pojedine faze u pripremi grupe za ISI. Kontinuiranim praćenjem priprema QA stječe vrlo dobar uvid u stvaranje preduvjeta za kvalitetan rad, te zbog toga i ne predviđa inicijalnu provjeru (audit), koji joj ne može pružiti dodatne informacije u pogledu kvalitete. Verifikacijom pojedinih segmenata (obučavanje i kvalifikacija osoblja, kalibracija i provjera instrumenata i opreme, pregled radnih postupaka, priprema programa ispitivanja i organizacije ispitivanja) u fazi pripreme izbjegava se mogućnost da neispunjenje tih uvjeta dovede u pitanje kvalitetu i rok dovršenja ispitivanja.

## 4.4. Kontrola provedbe ISI aktivnosti

Kontinuirano uključivanje QA u pripreme za ISI čini nepotrebnim da se neke provjere obavljaju u toku provođenja ISI aktivnosti, npr. provjere kvalificiranosti osoblja, adekvatnosti radnih postupaka, kalibracije opreme i sl., osim u slučaju promjena odnosno potrebe rekalkibracije ili periodičkog baždarenja u skladu s odgovarajućim postupkom. Na taj način QA ima više vremena da se posveti kontroli provođenja same aktivnosti u skladu s pripremljenim planom kontrole.

U provedbi kontrole QA posebno obraća pažnju na sljedeće:

- da li se rad provodi u skladu s odobrenim važećim postupkom, te da li se poštuju svi specifični zahtjevi iz postupka
- da li rad provodi kvalificirana osoba koristeći odgovarajuću baždarenu i kalibriranu opremu
- da li se ispitivanje provodi na odgovarajućoj planom predviđenoj komponenti ili dijelu komponente, i to u punom predviđenom opsegu
- da li se koriste ispravna postupcima predviđena pomoćna sredstva (npr. baždarni blokovi, vezivno sredstvo za UT i sl.)
- da li ispitivač ispravno, uredno i kompletno popunjava postupcima definirane izvještaje.

QA provodi kontrolu svake vrste ispitivanja minimalno u opsegu predviđenom planom, a ako uoči probleme na nekom području, povećava opseg kontrole. Izvještaje o ispitivanjima s obzirom na urednost i kompletnost pregledava QA u 100%-tnom opsegu.

O uočenim nedostacima obavještava QA vođe timova i koordinatora ISI. U slučaju nedostatka koji se smatraju neusklađenostima, te potrebe za pokretanje korektivne akcije postupa QA u skladu s postupcima predviđenim u QA priručniku IE.

Sve svoje kontrole dokumentira QA na obrascu predviđenom postupkom. Popunjeni obrasci predstavljaju QA zapise i čuvaju se u arhivi QA u skladu sa zahtjevima QA priručnika IE.

#### 4.5. Suradnja s QAS NE Krško

Suradnja s QAS NEK započinje još u pripremnj fazi dostavljanjem QA priručnika, QA i radnih postupaka te ostale dokumentacije prema zahtjevu QAS NEK.

U toku izvođenja aktivnosti QA svakodnevno prisustvuje zajedničkom sastanku QA svih sudionika u remontu, na kojem izvještava QAS NEK o stanju aktivnosti i eventualnim problemima i nedostacima. Po potrebi QA ima i dodatne sastanke s QAS NEK.

QA obavještava pravovremeno QAS NEK o svim nadolazećim ispitivanjima kojima QAS NEK želi prisustvovati i uvjeriti se o kvaliteti provedenih ispitivanja, te zajedno s QAS NEK prisustvuje tim ispitivanjima.

### 5. ZAKLJUČAK

ISI aktivnosti predstavljaju vrlo značajne aktivnosti koje se svake godine sistematski i planski obavljaju kao jedna od mjera za povećanje sigurnosti i raspoloživosti nuklearne elektrane. One predstavljaju niz ispitivanja bez razaranja (vizualna, površinska, volumetrijska i površinsko-volumetrijska) kojima je cilj da se odredi stanje materijala i opreme i ustanove eventualne greške ili anomalije. Nađene anomalije se nakon ispitivanja evaluiraju te se određuje njihov utjecaj na ispitivani predmet, odnosno donosi zaklju-

čak o prihvatljivosti odnosno potrebi za popravak ili zamjenu.

ISI aktivnosti predstavljaju tzv. specijalne procese i zahtijevaju visoku specijaliziranost i odličnu ubježbanost osoblja koje u svom radu koristi složenu i raznovrsnu ispitnu opremu. Ove se aktivnosti moraju obaviti u vrlo kratkom roku i često u vrlo nepovoljnim okolnostima (visoko zračenje, povišena temperatura, rad na visini). Da bi se to postiglo, potrebno je osim uvježbanosti osoblja imati i dobru organizaciju posla, kao i dobru suradnju s osobljem NEK i drugih organizacija učesnica u remontu.

Značenje ISI aktivnosti zahtijeva da se osim brzo i kompletno obave i vrlo kvalitetno. Zadatak je QA da tu kvalitetu u suradnji sa svim ISI osobljem i osigura.

Svjesna da se kvaliteta postiže dobrim i kvalitetnim radom onoga tko aktivnost obavlja, QA inzistira na što boljoj pripremljenosti cijelog ISI tima. Zbog toga se ona uključuje već u pripremnom periodu, gdje nastoji pomoći da se ISI tim što bolje pripremi, a osim toga uvjeriti se i verificirati da su pripreme (plan aktivnosti, radni postupci, uvježbanosti osoblja, podešenost opreme i instrumenata, organizacija provođenja ISI) obavljene kvalitetno. To je jedan od osnovnih preduvjeta da i same ISI aktivnosti u toku remonta budu obavljene efikasno i kvalitetno.

Kontinuirano uključivanje i verifikacija nekih segmenata već u pripremnom razdoblju omogućuju da se QA više posveti praćenju rada ISI osoblja. U tu svrhu QA sačinjava svoj plan kontrole, u kojem uključuje određeni postotak svih vrsta bezrazornih ispitivanja. Tokom kontrole QA kontrolira minimalno opseg predviđen planom kontrole, pri čemu nastoji ravnomjerno pokriti sve osoblje ISI tima. U slučaju uočenih nedostataka QA povećava opseg kontrole, a za veće neusklađenosti pokreće korektivne akcije.

Dobra priprema svih članova ISI tima, dobra organizacija i suradnja ISI tima i QA omogućava da se sve ISI aktivnosti u remontu na vrijeme i kvalitetno obave i da se to od QA verificira.

Dobra suradnja QA i QAS NEK, svakodnevni kontakt i obavještavanje o stanju na ISI aktivnostima omogućilo je da QAS NEK bude stalno u toku, da prisustvuje dijelovima aktivnosti za koje je smatrala da je potrebno da prisustvuje, te se na taj način uvjeri u kompletnost i kvalitetu obavljenih ISI aktivnosti.

### LITERATURA

- [1] ASME »Boiler and Pressure Vessel Code« Sekcija XI »Rules for In-service Inspection on Nuclear Power Plant Components«
- [2] Priručnik osiguranja kvalitete, Rev. 0, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1985.
- [3] 50-C-QA »Quality Assurance for Safety in Nuclear Power Plants«, IAEA, 1978.

**QUALITY ASSURANCE ON NPP IN-SERVICE INSPECTION**

In the article are presented measures of QA that are made during preparation and in-service inspection on piping and component systems in NPP »Krsko«. In-service inspection on safety related pipings and components are made during refueling outages for determination of conditions and evaluation of possibilities for safe and reliable operation of NPP. Quality assurance during ISI results in better quality as well as in verified documentation.

**SICHERUNG DER QUALITÄT BEI DER DURCHFÜHRUNG DER PERIODISCHEN BETRIEBSPRÜFUNGEN DER KERNKRAFTWERKE**

Hier werden Messungen der Sicherheit die im Laufe der Vorbereitung und Durchführung der periodischen Betriebsprüfungen des Zustandes der Rohrsysteme und Komponenten des Kernkraftwerkes Krško durchgeführt werden. Periodische Betriebsprüfungen (in Service inspection ISI) der Rohrleitung und der Komponenten die wesentlich für den Arbeitsschutz des Kernkraftwerkes sind, werden bei jeder Stilllegung der Arbeit wegen Austausch von Brennstoff durchgeführt, damit die Möglichkeiten und der Zustand bezüglich einer sicheren und zuverlässigen Arbeit des Kernkraftwerkes festgestellt werden. Die Sicherung der Qualität trägt dazu bei, daß die ISI richtig, dokumentiert und verifiziert durchgeführt wird.

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИ ПРОВЕРКЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЯХ АЭС**

Представлены измерения обеспечения качества, проводимые в ходе подготовки и проведения периодических эксплуатационных испытаний состояния систем трубопроводов и компонентов АЭС »Кршко«. Периодические эксплуатационные испытания (in-service inspection — ISI) трубопроводов и компонентов, важных по надежности работы атомной электростанции, производятся при каждой очередной остановке для замены топлива с целью установления состояния, т. е. удостоверения возможности продолжения безопасной и надежной работы атомной электростанции. Обеспечение качества способствует качественному проведению ISI и документации и верификации такого качества.

Naslov pisaca:

**Hrvoje Štingl, dipl. inž.**  
**Vladimir Bradač, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb,**  
**Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1988-04-12

**ISPRAVAK**

U broju 4, u članku »110 kV veza otok Krk — otok Rab«, autora inž. Petra Čerine i Brune Šaine izostale su legende u slikama 2, 4, 5, 6, 8 i 9, pa ih ovdje navodimo, a autorima se ispričavamo zbog nastale pogreške!

**Slika 2.**

1 — bakreni (aluminijски) vodič; 2 — karbonizirani papir; 3 — papirnata izolacija; 4 — karbonizirani papir; 5 — metalizirana vrpca; 6 — ulje niskog viskoziteta; 7 — olovni plašt; 8 — metalizirana vrpca; 9 — dva sloja galvanizirane trake; 10 — dva sloja neoprenske trake; 11 — asfalt impregniran krep-papirom; 12 — galvanizirana čelična žica; 13 — dva sloja propilenskog vlakna i bitumena

**Slika 4.**

1 — kontrolni ormarić; 1a — manometar; 1b — tlačna sklopka; 2 — uljne posude; 3 — rez. uljne posude; 4 — elastična spojnica -CU-AL; 5 — mjerni pretvarač pritiska

**Slika 5.**

1 — podmorski kabel; 2 — kabelski razdjelnik; 3 — jedno-polna kabelska glava; 4 — VF prigušnica; 5 — sprežni kondenzator; 6 — naponski transformator; 7 — odvodnik prenapona; 8 — brojač prorade

**Slika 6.**

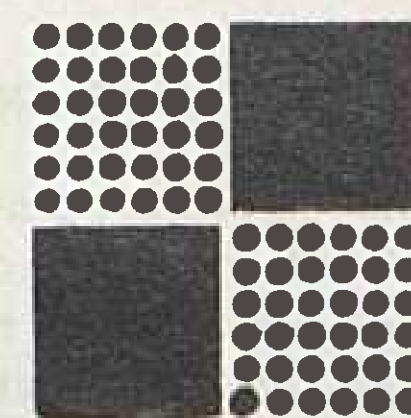
1 — uljnotlačna posuda; 2 — ormarić za kontrolu tlaka ulja; 3 — mjerni pretvarač tlaka ulja; 4 — ventil i cijevi za razvod ulja; 5 — ispravljač 220 V; 50 Hz, 30A; 6 — razvodni ormar RO; 7 — ormar VF uređaja i teleinformacijske opreme; 8 — akumulatorska baterija 48V, 130 Ah

**Slika 8.**

1 — podmorski kabel; 2 — CU traka 30 × 30 mm; 3 — betonska ploča; 4 — PVC traka za upozorenje; 5 — termički stabilni materijal; 6 — nasip — miješani materijal; 7 — stupići za obilježavanje trase

**Slika 9.**

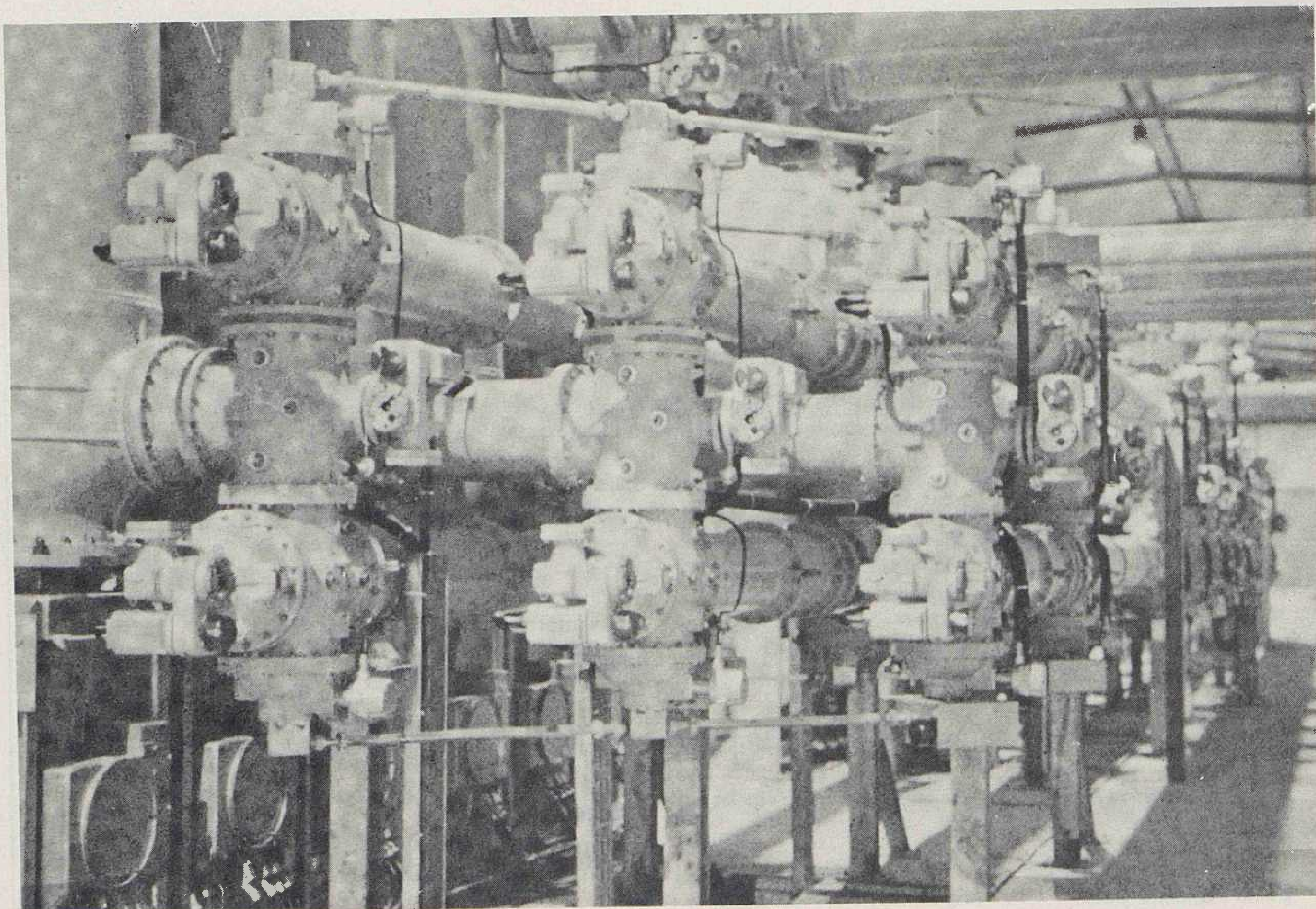
1 — podmorski kabel; 2 — poklopni armirano-betonski blok; 3 — podložni armirano-betonski blok; 4 — kameni nabačaj



Radna organizacija za *elektromontažne radove*

ZAGREB ● Kesterčankova 1

- montaža i remont visoko i niskonaponskih postrojenja i razvodnih mreža
- montaža i remont kompletnih elektromotornih razvoda, rasklopnih postrojenja, instalacije rasvjete i uzemljenja
- montaža i remont uređaja, opreme i instalacija za automatiku, mjerenje, regulaciju
- kontrola i izrada tehničke dokumentacije za navedene djelatnosti  
Radove izvodi u zemlji i inozemstvu



# IZBOR SIMULACIJSKOG MODELA ZA ANALIZU POTFREKVENTNOG RASTEREĆENJA EES-a I NJEGOVA PRIMJENA ZA PODEŠENJE RELEJA PRVOG STUPNJA

Damir Novosel, Tuzla

UDK 621.318.5: 621.316.925.4

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Detaljno je analiziran izbor podešenja releja prvog stupnja APR-a, pomoću odgovarajućeg simulacijskog modela, na konkretnom sistemu. Prikazani su kvalitativni utjecaji pojedinih parametara EES-a, a navedeni zaključci i principi izbora mogu se primijeniti za bilo koji sistem.

**Ključne riječi:** elektroenergetski sistem, simulacijski model, izbor, potfrekventno rasterećenje, podešenje releja.

## 1. UVOD

U modernim povezanim elektroenergetskim sistemima (EES) može, pri većim poremećajima, doći do postupnog dijeljenja sistema i oblikovanja izoliranih područja, nazvanih otoci, s viškom ili manjkom proizvodnje. Način oblikovanja otoka i neravnoteža snage u njemu su dosta proizvoljni i ovise o mjestu i prirodi poremećaja, te osobinama sistema za vrijeme poremećaja.

Razlika između proizvodnje i potrošnje ima za posljedicu:

- odstupanje frekvencije, ako je prisutna neravnoteža djelatne snage i
- odstupanje napona, ako je prisutna neravnoteža jalove snage.

Promjena frekvencije negativno utječe na rad agregata i taj utjecaj ovisi o vrsti i tipu agregata. Turboagregati su osjetljiviji od hidroagregata u slučaju rada pod sniženom frekvencijom. Prvenstveno treba obratiti pažnju na mogućnost oštećenja turbine uslijed opasnih rezonantnih vibracija koje se počinju javljati na frekvenciji 2-3% ispod nazivne. Što je frekvencija niža, to se dozvoljeno vrijeme rada turbine smanjuje. Oštećenja su kumulativna i vijek turbine se smanjuje za svako sniženje frekvencije ispod dozvoljenih granica. Povećanje frekvencije iznad nazivne vrijednosti ima približno isti utjecaj na turbinu kao i smanjenje frekvencije. Pri sniženju frekvencije dolazi i do teškoća u radu pomoćne opreme u elektrani.

Posebno velik problem predstavljaju nuklearne elektrane. Hlađenje reaktora obavlja se pumpama koje pokreću motori i svaka promjena koja utječe na rad motora utječe i na protok vode za hlađenje [11]. Smanjenje frekvencije ili napona u sistemu izaziva smanjenje protoka vode, koja odvodi toplotu stvorenu u nuklearnom gorivu, što može izazvati prekom-

jerno zagrijavanje goriva i mora se izbjeći iz sigurnosnih i ekonomskih razloga.

U slučaju veće brzine pada frekvencije, vrijeme za koje će osoblje u termoelektrani ili nuklearnoj elektrani reagirati može biti predugo i potrebna je potfrekventna zaštita koja će isključiti agregat iz pogona ili, ako je moguće, ostaviti ga na sopstvenoj potrošnji. Također, znatniji porast frekvencije iznad nazivne vrijednosti izaziva djelovanje zaštite od prevelike brzine vrtnje. Za turboagregate njeno podešenje je ograničeno mogućnošću oštećenja turbine i sposobnostima opstojanja na vlastitoj potrošnji. Kod hidroagregata ova zaštita je zbog tromosti vode neophodna i podešava se na vrijednost oko 140% nazivne brzine [14].

Isključenje jedinice, odnosno djelatne snage proizvodnje pogoršava uvjete rada sistema. U sistemu ili njegovom dijelu sa proizvodnjom nedovoljno da pokrije potrošnju može doći do potpunog sloma frekvencije i napona, odnosno do raspada sistema ili njegovog dijela ako se ne poduzmu brze mjere da se ponovo uspostavi ravnoteža. Efikasna mjera za sprečavanje pada frekvencije, odnosno pravovremeno uspostavljanje ravnoteže između proizvodnje i potrošnje djelatne snage, je automatsko podfrekventno rasterećenje (APR) EES-a. Potfrekventno rasterećenje je posljednji korak koji treba poduzeti da ne dođe do raspada sistema i potrebno je isključiti što je moguće manje potrošača, a da se frekvencija vrati na nazivnu vrijednost.

Isključenje tereta iz sistema provodi se relejima osjetljivim na odstupanje frekvencije od nazivne vrijednosti i relejima osjetljivim na brzinu promjene frekvencije, pri čemu je prvi način u praksi trenutno mnogo češći. Teret predviđen za rasterećenje sistema raspodjeljuje se na blokove različitom frekvencijom podešenja potfrekventnih releja, da bi se pokušao isključiti točno potreban iznos tereta, odnosno treba

izabrati program rasporeda rasterećenja. Program rasporeda rasterećenja treba ne samo da spriječi raspad sistema nego i da omogući kvalitetan frekventni odziv sistema nakon poremećaja, što podrazumijeva brzi oporavak frekvencije na nazivnu vrijednost uz što manji pad frekvencije i prelazak frekvencije iznad nazivne vrijednosti. Znatnije prerasterećenje nakon djelovanja releja mora se izbjeći jer može dovesti do prevelike brzine vrtnje strojeva.

Izbor novog ili provjeru već postojećeg programa APR-a potrebno je izvršiti pomoću odgovarajućeg modela EES-a, na kome će se analizirati proces promjene frekvencije nakon preopterećenja EES-a.

## 2. ANALIZA PROCESA PROMJENE FREKVENCije U EES-u

Analizirajmo najprije ponašanje sinhronog stroja ako se ulazna mehanička snaga razlikuje od izlazne električne snage. U tom slučaju dolazi do težnje promjeni brzine rotora, koja se ne može trenutno promijeniti zbog tromosti rotirajućih masa. Zanimajući gubitke u stroju i uz pretpostavku da je promjena brzine relativno malena, jednadžba relativnog gibanja rotora određena je izrazom

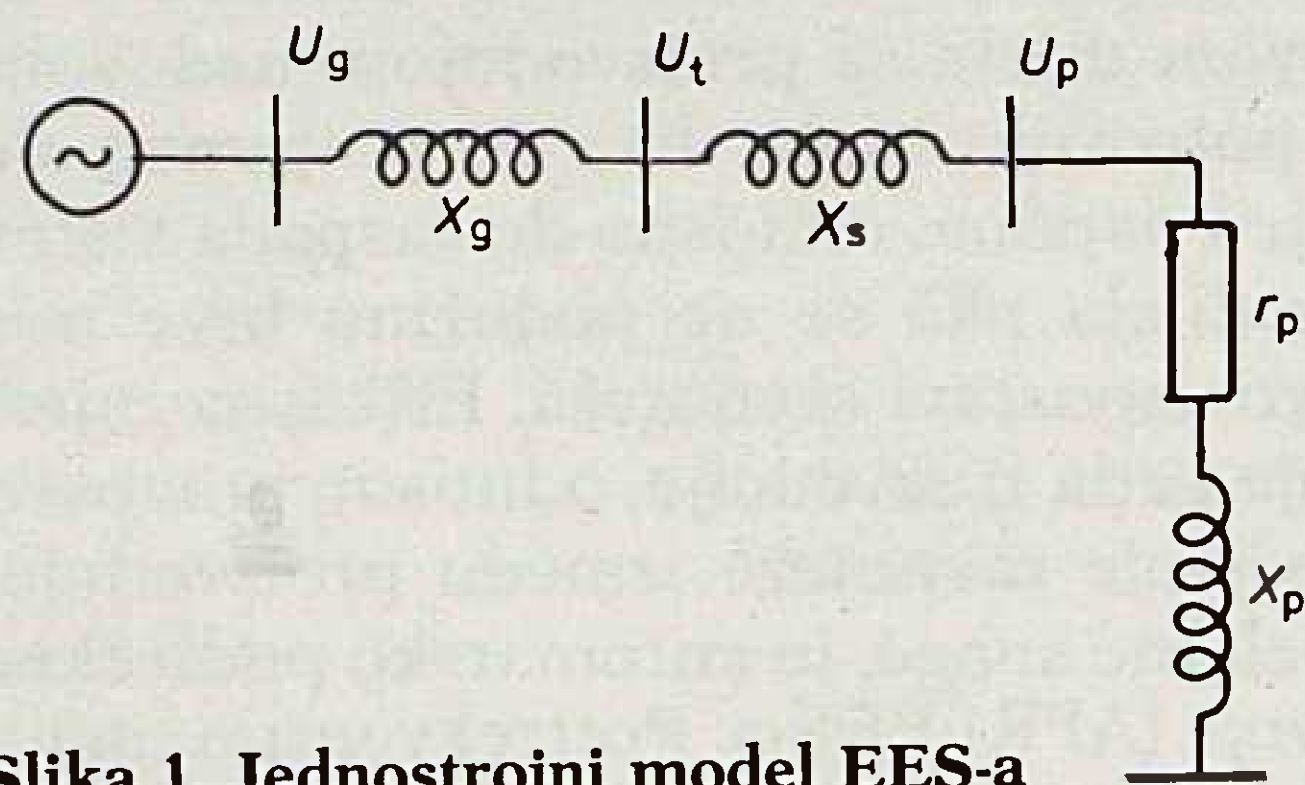
$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\omega_B}{2H} (p_m - p_e) \quad (1)$$

Ako se u izrazu (1)  $\omega$  zamijeni sa  $2\pi f$ , a  $\omega_B$  sa  $2\pi f_B$  dolazi se do izraza za brzinu promjene frekvencije:

$$\frac{df}{dt} = \frac{25}{H} (p_m - p_e) \quad (2)$$

Rješavanjem jednadžbe (2) dobiva se frekventni odziv sinhronog stroja. Sinhroni stroj će biti preopterećen ako je  $p_e > p_m$ , odnosno ako je prisutan manjak djelatne snage i prema jednažbi (1) dolazi do usporjenja rotora.

Na slici 1. prikazan je jednostrojni model EES-a.



Slika 1. Jednostrojni model EES-a

Napon na sabirnicama potrošača zavisi od unutarnjeg napona generatora i padova napona do potrošača. Ako se generator preoptereći poraste struja potrošača, što izaziva trenutno smanjenje napona sabirnice potrošača. Djelatna snaga potrošača proporcionalna je naponu, struji i faktoru snage potrošača. Zbog međusobne veze između napona i struje potrošača djelatna snaga koju generator može predati potrošaču ne raste linearno s porastom struje potrošača. Maksimalna vrijednost te snage je ograničena i glasi:

$$P_{gpmax} = \frac{U_g^2}{2} \left( \cos \varphi_p - \frac{\sin \varphi_p}{\cos \varphi_p} (1 - \sin \varphi_p) \right) \quad (3)$$

Maksimalna vrijednost snage  $P_{gpmax}$  ograničava i maksimalno mogući manjak proizvodnje. Nadalje, djelatna snaga potrošača znatno se smanjuje sa smanjenjem napona kod potrošača čija je impedancija konstantna. Razlikuje se, dakle, izazvani manjak djelatne snage i stvaran manjak djelatne snage neposredno nakon preopterećenja generatora.

Stvarni manjak djelatne snage manji je od izazvanog, a maksimalna vrijednost mu je ograničena, što prema izrazu (2) ograničava maksimalnu brzinu pada frekvencije.

Izvjescno vrijeme nakon preopterećenja generatora dolazi do:

- promjene unutarnjeg napona generatora i njegove reaktancije,
- regulacioni sistem agregata teži da uspostavi nazivnu brzinu vrtnje stroja povećanjem mehaničke snage (dinamički odziv agregata),
- djelatna snaga kod dinamičkih potrošača znatno opada sa smanjenjem frekvencije,
- djeluju releji potfrekventnog rasterećenja.

Sve te dinamičke promjene teže smanjenju manjka djelatne snage i prema izrazu (2) smanjuju brzinu pada frekvencije, pa će početna brzina pada frekvencije biti maksimalna ako ne nastanu novi poremećaji.

U višestrojnom EES-u u otopnom radu raspodjeljuje se manjak snage među strojevima. U prvom trenutku nakon poremećaja raspodjela snage određena je sinhronizirajućim snagama u ovisnosti o električnoj udaljenosti od mjesta poremećaja. Nakon kratkog perioda dolazi do preraspodjele na generatore i motore preko prijenosnih vodova u ovisnosti od relativnih tromosti ili, grubo uzevši, u ovisnosti od veličine stroja kao postotka ukupnih rotirajućih masa. U sistemu dolazi do sinhronizirajućih njihanja među strojevima, koja će se ili prigušiti ili će dovesti do nestabilnosti sistema. Ako je sistem ostao stabilan, neravnoteža snage se dalje raspodjeljuje u ovisnosti o primarnoj regulaciji agregata koja, grubo uzevši, zavisi od jedinstvene promjene frekvencije duž prenosnih vodova. Ta raspodjela, opet, praktično zavisi od relativnih tromosti agregata. Frekvencija u EES-u, dakle, nije jedinstvena, ali su te razlike relativno malene. Razlikuju se i frekventni odziv rotora generatora i sabirnice generatora. Dok brzina vrtnje rotora kao mehanička pojava zavisi od ukupne tromosti sistema. Pad frekvencije bit će izraženiji u točkama blizu elektrane zbog manje tromosti generatora.

Izrazi (1) i (2), ako se pretpostavi jedinstvena frekvencija u EES-u, vrijede i za višestrojni sistem, pri čemu su  $p_m$ ,  $p_e$ , i  $H$ , redom, ukupna mehanička snaga u sistemu, ukupna električna snaga u sistemu i ukupna tromost sistema. Kao i kod jednostrojnog EES-a ograničena je brzina pada frekvencije zbog fizikalnih ograničenja na isporuku snage potrošačima i promjenu snage potrošača s naponom. Razlika će između izazvanog i stvarnog manjka ovisiti od karakteristika sistema, te prirode i mjesta poremećaja.



Za jednostrojni model prikazan na slici 1. početna brzina pada frekvencije može se analitički, relativno lako, izračunati. Međutim, analizirajući daljnji proces promjene frekvencije u vremenu (frekventni odziv), potrebno je analizirati sisteme regulacije snage i brzine vrtnje agregata, promjenu reaktancije i sistema uzbude generatora, zavisnost snage potrošača od frekvencije i napona. Da bi se odredio frekventni odziv EES-a s više strojeva, potrebno je još analizirati raspodjelu manjka snage među strojevima, utjecaj prijenosnog sistema, kao i djelovanje relejnih zaštitnih uređaja (posebno releja potfrekventnog rasterećenja).

Dinamički odziv agregata zavisi od iznosa i kvalitete (brzine angažiranja) rotirajuće rezerve. Ako je rotirajuća rezerva u sistemu dovoljna da u slučaju manjih vrijednosti manjka proizvodnje uspostavi ravnotežu u sistemu, prorada releja potfrekventnog rasterećenja je nepotrebna. Također, rotirajuća rezerva može se nepotrebno angažirati zbog sporosti odziva primarnih regulatora (posebno hidroagregati) ako je dovoljno tereta isključeno relejima, što povećava prerasterećenje i može izazvati njihanje frekvencije i njen znatniji porast iznad nazivne vrijednosti.

Nepotrebno djelovanje releja može nastati još iz ovih razloga:

- kratkotrajnih stabilnih njihanja frekvencije,
- sporog opadanja napona i frekvencije pri prekidu opskrbe električnom energijom potrošačkog područja gdje su ugrađeni releji,
- kratkog spoja u mreži.

Navedeni razlozi nepotrebne prorade najčešće se eliminiraju povećanjem vremena djelovanja releja i sniženjem frekvencije podešenja releja, ali i drugim mjerama [20].

### 3. RAZVOJ I IZBOR MODELA EES-a ZA ANALIZU DJELOVANJA I PROJEKTIRANJE APR-a

APR je prvi put primijenjen u sistemima koji su nezavisno radili jedan od drugog. Mjesto i prirodu poremećaja nije bilo tako teško predvidjeti i releji APR-a su trebali savladati poremećaj koji je dovodio do najvećeg preopterećenja sistema (npr. odvajanje najveće elektrane iz sistema). Korišteni su elektromehanički releji čije vrijeme djelovanja zavisi od brzine pada frekvencije, a tačnost i sigurnost u radu su slabi, što se moralo uzeti u obzir pri projektiranju i analizi APR-a. Frekventno podešenje releja bilo je prilično nisko, a broj stupnjeva malen (npr. prema [1] teret predviđen za APR istovremeno se isključuje iz sistema), s relativno velikim iznosom tereta predviđenim za isključenja po stupnju. Analiza podešenja i djelovanja releja nakon preopterećenja sistema vršena je na jednostrojnog modelu sistema, pri čemu su od karakteristika sistema uzeti u obzir odgovarajuće vrijednosti konstante tromosti  $H$ , koeficijenta samoregulacije  $d$  i faktora snage [1, 3]. Ovisnost djelatne snage potrošača s frekvencijom modelirana je linearnom karakteristikom, odnosno preko koeficijenta samoregulacije:

$$d = \frac{(\Delta p_t / p_{t0}) \cdot 100\%}{(\Delta f / f_B) \cdot 100\%}, \text{ za } U = U_0 \quad (4)$$

Jednostavni načini projektiranja APR-a karakteristični su za sovjetsku literaturu [2, 7], pri čemu se polazi od izraza (4), odnosno od karakteristika sistema uzima se u obzir samo vrijednost parametra  $d$ .

S razvojem i povezivanjem EES-a smanjena je mogućnost velikog pada frekvencije duž cijelog povezanog sistema, ali poremećaji u njemu mogu dovesti do stvaranja otoka s neravnotežom snage, pri čemu može doći do raspada cijelog povezanog sistema ili njegovih dijelova. Način oblikovanja otoka teško je predvidjeti, kao i odrediti relativni iznos manjka proizvodnje. Projektiranje i analiza djelovanja APR-a, zbog velikog broja mogućih slučajeva, uključuje i velik broj proračuna, pa su se počeli koristiti simulacijski modeli na električnom računaru [5, 6]. Polazi se od jednadžbe gibanja stroja (1) primijenjene na cijeli sistem, odnosno koristi se jednostrojni model sistema s karakteristikama sistema  $H$  i  $d$ . Promjena djelatne snage potrošača s promjenom napona uzeta je u obzir preko povećanja vrijednosti parametra  $d$ .

Da bi se poboljšala točnost rezultata simulacije odnosno analize frekventnog odziva sistema, sljedeći korak je bilo uključivanje u simulaciju modela regulacije snage i brzine vrtnje stroja [4, 8, 17].

Sve proizvodne jedinice u sistemu, pa čak i ako su s približno jednakim karakteristikama, teško je sa zadovoljavajućom točnošću svesti na zajednički model. Na frekventni odziv sistema osim ukupnog iznosa rotirajuće rezerve utjecaj ima i njezina raspodjela među agregatima. Također, zanemarenje prijenosnog sistema unosi znatne greške jer je potrebno analizirati dinamičke procese u njemu i uzeti u obzir njegove karakteristike. Točnije određivanje frekventnog odziva sistema, te cjelovitiju i točniju analizu rada APR-a moguće je ostvariti samo uz korištenje višestrojnog modela sistema. Parametri programa APR-a određuju se analizom frekventnih odziva sistema za različiti mogući tok poremećaja u njemu. Uobičajeno je predstavljanje točno određenog vremena djelovanja potfrekventnog releja i prekidača, odnosno modeliranje statičkog releja čije vrijeme djelovanja ne zavisi od brzine promjene frekvencije.

Programi tranzijentne stabilnosti, koji su predviđeni za određivanje dinamičke stabilnosti generatora u mreži, počeli su se koristiti kao višestrojni simulacijski model EES-a [4, 12, 13, 15]. U analizama dinamičke stabilnosti uključene su brze pojave i zbog točnosti i stabilnosti postupka računanja korak simulacije je veoma malen (30-70 ms).

Korišteni modeli nisu pogodni za procese koji traju više od nekoliko sekundi jer su razvijeni za simulaciju nekoliko prvih elektro-mehaničkih njihanja. Proces promjene frekvencije potrebno je analizirati u duljem razdoblju, pa se preporučuje simulacijski model dugotrajne dinamike.

Cilj dugotrajne dinamike je da analizira utjecaj većih promjena napona i frekvencije EES-a u duljem razdoblju, odnosno modelira se slijed događaja nakon većeg poremećaja u sistemu. Simulacija dugotrajne

dinamike provodi se uz uvjet da su međustrojna njihovanja uspješno prigušena, odnosno da su sinhroni strojevi ostali u sinhronom radu. Uvodi se pretpostavka o jedinstvenoj frekvenciji u dijelu sistema koji se analizira, što omogućuje korištenje relativno velikog koraka simulacije. Ta pretpostavka je opravdana jer se dobivaju dovoljno točni rezultati, a simulacija se znatno pojednostavnjuje.

Programi dugotrajne dinamike razvijeni zadnjih nekoliko godina [16, 17, 19] detaljnije modeliraju sisteme regulacije agregata, odnosno dinamički odziv agregata, i primjenom prikladnih računarskih metoda i simulacijskih modela omogućavaju dugotrajnu analizu dinamičkih procesa u EES-u potrebnih za analizu i projektiranje APR-a.

Simulacijski model dugotrajne dinamike sistema općenito sadrži sve modele:

1. dugotrajnog dinamičkog odziva regulacionog sistema agregata za različite vrste i tipove agregata,
2. generatora i sistema uzbude,
3. potrošača,
4. električnih vodova,
5. transformatora,
6. relejnih zaštitnih uređaja.

U ovom radu je za konkretne analize korišten simulacijski model dugotrajne dinamike [17] koji je prilagođen za analizu i projektiranje APR-a [20]. Rješavanje jednadžbe gibanja za EES (jednadžba (1) primjenjena na čitav sistem) i povezivanje s jednadžbama dinamike agregata vrši se metodom korak po korak drugog reda. Detaljno se modeliraju elementi hidroagregata i turboagregata te procesi u njima koji utječu na dinamički odziv agregata. Promjenom odgovarajućih parametara modela simuliraju se procesi u različitim tipovima agregata. Metod Runge-Kutta korišten je za rješavanje sistema diferencijalnih jednadžbi dinamike agregata. Elektromagnetni prijelazni procesi u generatoru se ne razmatraju i usvojena je pretpostavka da je napon na generatorskim sabirnicama konstantan zbog djelovanja regulatora napona, što znatno pojednostavnjuje modeliranje.

Algebarske jednadžbe mreže rješavaju se brzim razdvojenom Newton-Raphsonovom metodom tokova snaga, prilagođenom za simulaciju dinamike. Potrošači su modelirani statičkim karakteristikama s eksponencijalnom zavisnošću djelatne i jalove snage od promjene napona i frekvencije. U simulaciju se uključuju i modeli zaštitnih uređaja i regulacije napona transformatora.

Za svaki potfrekventni relej za rasterećenje sistema ugrađen u pojedinim potrošačkim čvorovima može se podesiti frekvencija i vrijeme prorade, te djelatna i jalova snaga koju isključuje. Omogućeno je modeliranje do osam stupnjeva programa APR-a. U svijetu se koristi mnogo različitih programa APR-a. Razlog za to su ovisnosti izbora programa APR-a od karakteristika sistema i od zahtjeva koji se postavljaju u slučaju rada pod sniženom frekvencijom. Međutim, i različite metode izbora programa APR-a, odnosno primjena različitih modela EES-a utječe na izbor parametara programa. Preporučuje se zato simulacijski

model dugotrajne dinamike kao najprikladniji za analizu rada i projektiranje APR-a. U ovom će radu detaljnije biti prikazana primjena simulacijskog modela dugotrajne dinamike na primjeru analize izbora podešenja prvog stupnja potfrekventne zaštite.

#### 4. OPIS ISPITIVANOG SISTEMA

Ispitivana je 400 i 220 kV mreža BiH, prikazana na slici 2, takvog stupnja izgrađenosti koji se očekuje u 1988. godini, odvojena od ostalog dijela sistema Jugoslavije. Analiziran je slučaj vršnog opterećenja. Svi generatori u elektrani predstavljeni su ekvivalentnim generatorom, a parametri modela izabrani su prema podacima navedenim u literaturi za odgovarajuću vrstu i tip agregata [17]. Vrijednosti konstanti tromosti su  $H = 6$  s za termoelektrane i  $H = 4$  s za hidroelektrane. Predviđena rotirajuća rezerva je 4,7% od ukupne proizvodnje u sistemu prije poremećaja, a njen raspored prikazan je na slici 2. Vrijednosti parametara samoregulacije za potrošački čvor proračunate su korištenjem deduktivnog pristupa [20], koji uzima u obzir udio pojedinih potrošača, s poznatim parametrima, u ukupnoj potrošnji složenog potrošačkog čvora. Prosječne vrijednosti za cijeli sistem su:  $p_w = 0,39$ ;  $p_v = 0,26$ ;  $q_w = 1,4$ ;  $q_v = 0,93$ .

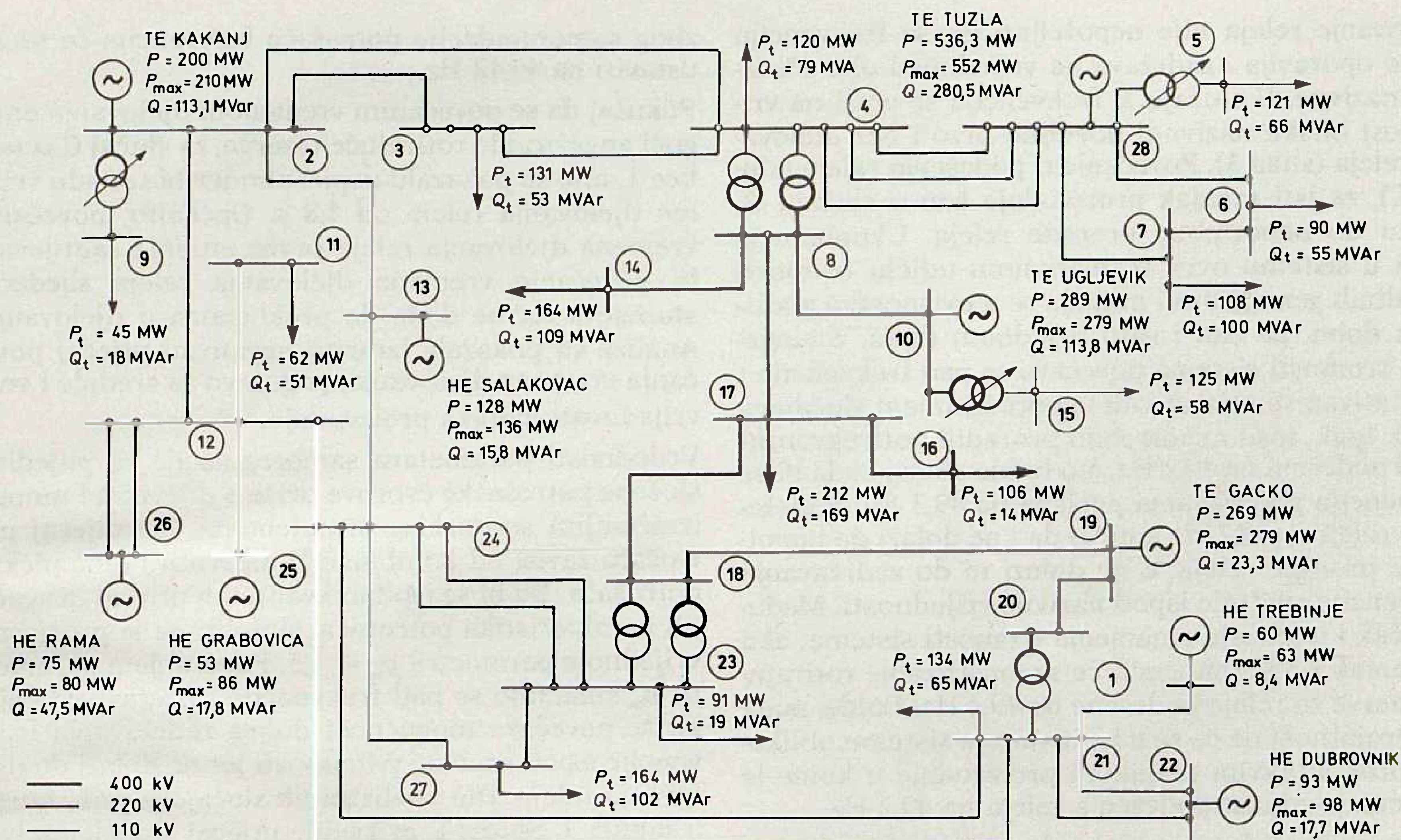
Potfrekventni releji priključeni su u svakom potrošačkom čvoru. Stvarni naponski nivo u sistemu BiH na kojima releji isključuju teret pretežno je 35 kV i 10 kV, a djelomično 110 kV. Stvarno predstavljanje releja APR-a na nižim naponskim nivoima povećalo bi broj čvorova i grana, a ne bi bitno utjecalo na očekivane rezultate.

Korak simulacije jednak je predviđenom vremenu djelovanja zaštite (relej + prekidač) i iznosi 0,2s. Poremećaj je simuliran isključenjem različitih iznosa djelatne snage proizvodnje, da bi se analizirao utjecaj različitih vrijednosti manjka proizvodnje.

#### 5. IZBOR PARAMETARA PRVOG STUPNJA POTFREKVENTNE ZAŠTITE

Pri izboru parametara programa APR-a posebnu pozornost treba posvetiti izboru parametara prvog stupnja programa, na kome se nalaze releji s najvišom podešenom frekvencijom, jer ti releji prvi djeluju. Potrebno je izabrati frekvenciju i vrijeme djelovanja releja i teret koji će oni isključiti.

Ako se u sistemu dogodi takav poremećaj da mora djelovati potfrekventno rasterećenje, releje prvog stupnja bilo bi bolje podesiti što više da se što prije zaustavi ili uspori pad frekvencije. Međutim, frekvencija podešenja releja prvog stupnja ne smije biti previsoka da ne bi došlo do nepotrebnog djelovanja releja i do prerasterećenja. Utjecaj kratkotrajnih promjena frekvencije na nepotrebno djelovanje releja ovisi i o vremenu djelovanja releja te mjestu ugradnje releja (utjecaj rotora generatora na frekventni odziv).



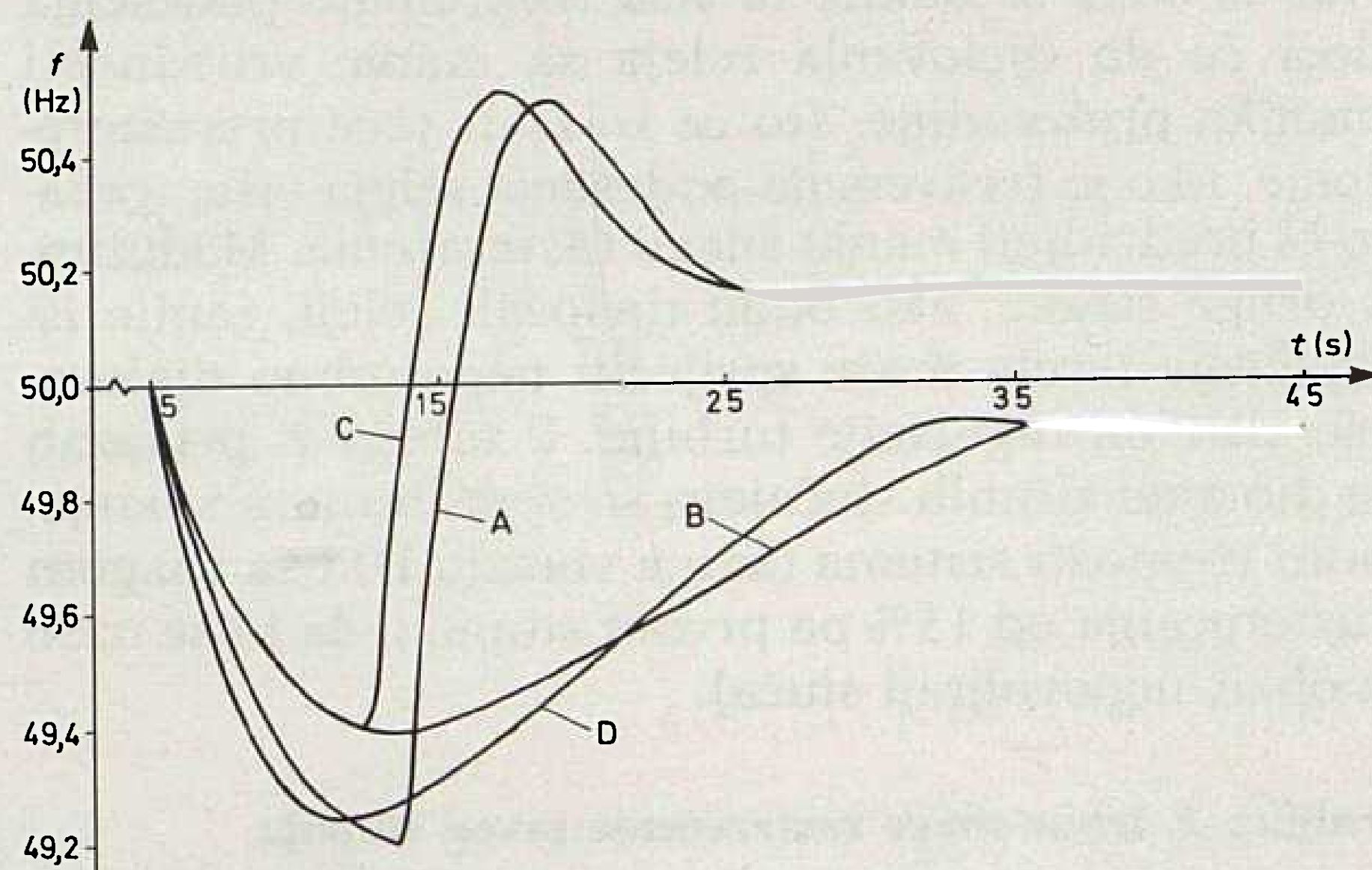
Slika 2. Ispitivani sistem — sistem BiH iz 1988. godine u otočnom radu

Prema podacima u literaturi [13] vrijeme djelovanja releja treba biti barem 0,1 s ako je podešenje releja 1% ispod nazivne frekvencije. Također, primjena releja s nižom frekvencijom podešenja u blizi elektrane, ako je potrebno, može onemogućiti nepotrebnu proradu. Međutim, utjecaj kratkotrajnih njihanja frekvencije na podešenje releja I. stupnja ovisi o karakteristikama odnosno kvaliteti sistema, pa se ne može generalizirati. Budući da je u EES-ima predviđena određena rotirajuća rezerva, pravovremeno omogućavanje njezina angažiranja može biti uvjet podešenja prvog stupnja APR-a. Prije analize treba postaviti uvjete koji omogućuju kvalitetan frekventni odziv sistema:

1. Treba izbjeći nepotrebno isključenje potrošača.
2. Frekvencija se treba vratiti na vrijednost blisku nazivnoj i njen popravak mora biti dovoljno brz.
3. Porast frekvencije iznad nazivne vrijednosti treba biti što je moguće manji. Ne smije se dopustiti prelazak frekvencije iznad 51 Hz.
4. Pad frekvencije ispod nazivne vrijednosti treba svesti na najmanju moguću mjeru.

Obavljena je detaljna analiza izbora parametara releja prvog stupnja. Pojedini karakteristični slučajevi prikazani su u tablicama 1-3 i na slici 3. Izazvani pototni manjak proizvodnje simuliran je isključenjem odgovarajućeg iznosa djelatne snage u čvoru 28 (TE Tuzla).

U tablici 1. prikazani su rezultati analize izbora frekvencije podešenja releja prvog stupnja. Frekventni odzivi za slučajeve iz te tablice prikazani su na slici 3, pri čemu je snaga rasterećenja na prvom stupnju iznosila 10% od ukupnog tereta u sistemu prije poremećaja (predviđena vrijednost za sistem BiH). Utje-



Slika 3. Frekventni odzivi ispitivanog sistema za slučajeve iz tablice 1.

caj manje tromosti sistema prikazan je slučajem D, korištenjem tromosti  $H = 4 \text{ s}$  za termoelektrane i  $H = 2,5 \text{ s}$  za hidroelektrane.

Tablica 1. Izbor frekvencije podešenja releja prvog stupnja

Oznaka slučaja	Frekvencija podešenja (Hz)	Manjak proizv. %	Prvi stupanj je proradio	Minimalna frekvencija (Hz)
A	49,2	4,7	da	49,195
B	49,2	4	ne	49,395
C	49,4	4	da	49,398
D	49,2	4	ne	49,244

Kada je iznos manjka proizvodnje jednak iznosu rotirajuće rezerve, dolazi do prorade potfrekventnih releja podešenih na 49,2 Hz (slučaj A). Ako ne bi djelovali releji, frekvencija bi nakon pada na 49,18 Hz, zbog djelovanja rotirajuće rezerve, dostigla 49,54 Hz.

Djelovanje releja nije nepoželjno jer se frekvencija sporo oporavlja i zadržava na vrijednosti oko 1% ispod nazivne. U slučaju B frekvencija se vrati na vrijednost blisku nazivnoj dovoljno brzo i bez djelovanja releja (slika 3). Povećanjem podešenja releja (slučaj C), za isti manjak proizvodnje kao u slučaju B, dolazi do nepotrebne prorade releja. Ukupna tromost u sistemu ovisi o relativnom udjelu tromosti pojedinih generatora i mijenja se u ovisnosti o godišnjem dobu, pa čak i satu u jednom danu. Smanjenjem tromosti sistema povećava se pad frekvencije i kvalitativan se utjecaj vidi uspoređivanjem slučajeva B i D. Ipak, nisu nepotrebno proradili potfrekventni releji podešeni na 49,2 Hz, što bi bio slučaj kada bi se frekvencija podešavanja povisila na 49,3 Hz. Podešenjem releji na 49,2 Hz gotovo da i ne dolazi do nepotrebne prorade releja, a ne dolazi ni do zadržavanja frekvencije znatnije ispod nazivne vrijednosti. Međutim, čak i u slučaju smanjenja tromosti sistema, ako je manjak 3,5%, omogućit će se angažiranje rotirajuće rezerve za releje podešene na 49,4 Hz. Dakle, mala je vjerojatnost da će se u ispitivanom sistemu oblikovati otok s takvim manjkom proizvodnje u kome je izražena prednost podešenja releja na 49,2 Hz.

Frekvencija podešenja i snaga rasterećenja releja na prvom stupnju su međusobno ovisni. Prerasterećenje za slučaj C nešto je veće nego za slučaj A, što se vidi sa slike 3. Dakle, za višu frekvenciju podešenja doći će do djelovanja releja za manje vrijednosti manjka proizvodnje, što će izazvati veće prerasterećenje. Ako je frekvencija podešenja releja viša, trebalo bi predvidjeti manju snagu rasterećenja. Međutim, s druge strane, ako budu djelovali releji, ranije isključenje tereta može spriječiti nepotrebno djelovanje sistema regulacije turbine. U tablici 2. prikazan je dio analiziranih slučajeva sa simuliranom smanjenom tromosti sistema (kao u slučaju D) i sa snagom rasterećenja od 13% na prvom stupnju, da bi se uzeo u obzir nepovoljniji slučaj.

Tablica 2. Izbor snage rasterećenja prvog stupnja

Oznaka slučaja	Frekvencija podešenja (Hz)	Manjak proizv. %	Maksimalna frekvencija (Hz)
E	49,2	4,7	50,72
F	49,3	4,7	50,70
G	49,4	4,7	50,68
H	49,3	4	50,77

Usporedivši slučajeve E, F i G, uočava se veća maksimalna frekvencija za manju frekvenciju podešenja releja, ali su te razlike malene. Nepovoljniji je slučaj H, kada prorade releji za manju vrijednost manjka proizvodnje.

Potrebno je razmotriti i mogući nepovoljni slučaj kada u sistemu nema rotirajuće rezerve. Snaga rasterećenja na prvom stupnju ne smije biti prevelika da frekvencija ne bi previše prešla nazivnu vrijednost. Na primjer, za releje podešene na 49,2 Hz sa snagom rasterećenja 13%, u slučaju smanjene inercije sistema, ako je manjak proizvodnje 1,5%, frekvencija je dostigla 50,85 Hz. Ako je manjak proizvodnje 1%,

zbog samoregulacije potrošača frekvencija će se zaustaviti na 49,42 Hz.

Pokušaj da se povećanim vremenom djelovanja omogućiti angažiranje rotirajuće rezerve, za slučaj C iz tablice 1, nije se pokazalo uspješnim jer bi trebalo vrijeme djelovanja releja od 1,8 s. Općenito, povećanje vremena djelovanja releja prvog stupnja zahtijevalo bi povećanje vremena djelovanja releja sljedećih stupnjeva da ne dođe do preklapanja u djelovanju. Analize su pokazale izrazito negativan utjecaj povećanja vremena djelovanja, pogotovo za srednje i veće vrijednosti manjka proizvodnje.

Vrijednosti parametara samoregulacije za pojedine složene potrošačke čvorove ovise o dnevnim i mnogo izraženijim sezonskim promjenama, jer utjecaj potrošača zavisi od kombinacije pasivnih i dinamičkih potrošača. Da bi se ispitao kvalitetan utjecaj drugačijih karakteristika potrošača, simulirana je prosječna vrijednost parametra  $p_{\omega} = 1,5$ . Povećanjem parametra  $p_{\omega}$  smanjuje se pad frekvencije i prerasterećenje, ali se povećava mogućnost duljeg zadržavanja frekvencije ispod nazivne vrijednosti jer ne dolazi do djelovanja releja. Dio analiziranih slučajeva prikazan je u tablici 3. Slučaj L prikazuje utjecaj smanjenja tromosti sistema (kao u slučaju D, tablica 1) i povećane snage rasterećenja.

Tablica 3. Utjecaj povećanja parametra  $p_{\omega}$

Oznaka slučaja	Frekvencija podešenja (Hz)	Snaga rasterećenja (%)	Manjak proizvodnje (%)	Minimalna frekvencija (Hz)	Maksimalna frekvencija (Hz)
I	49,2	—	4,7	49,459	49,883
J	49,2	—	6	49,214	49,468
K	49,4	10	6	49,385	50,310
L	49,4	13	4,7	49,365	50,629

Do prorade releja podešenih za 49,2 Hz ne bi došlo da je manjak proizvodnje jednak rotirajućoj rezervi (slučaj I), a frekvencija se vrati na vrijednost relativno blisku nazivnoj. Međutim, ako je manjak proizvodnje 6%, releji ne bi djelovali, što dovodi do zadržavanja frekvencije na vrijednostima više od 1% ispod nazivne (slučaj J).

Podesivši releje na 49,4 (slučaj K), dolazi do prorade koja je poželjna, jer se frekvencija minutu nakon poremećaja vratila na 50,1 Hz. Ako je tromost sistema manja, došlo bi do nepotrebne prorade releja podešenih na 49,4 Hz, jer bi se frekvencija oporavila i bez djelovanja releja. Maksimalna frekvencija nije ni za 13% snage rasterećenja zbog samoregulacije potrošača prevelika. Budući da za angažiranje rotirajuće rezerve treba vremena, predviđeni iznos u ispitivanom sistemu, u većini slučajeva, neće dozvoliti dulje zadržavanje frekvencije ispod nazivne vrijednosti. Naravno, osim tromosti sistema i iznos i kvaliteta, rotirajuće rezerve mogu biti drugačije, pa treba procijeniti da li je potrebno povisiti frekvenciju podešenja releja.

Potfrekventni releji prvog stupnja podešeni na 49,2 Hz, sa snagom rasterećenja 13%, omogućit će angaži-

ranje rotirajuće rezerve, sigurno neće nepotrebno djelovati releji i neće doći do prevelikog prerasterećenja. Podešenje vremena djelovanja od 0,1 s trebalo bi onemogućiti i nepotrebnu proradu releja zbog kratkotrajnih njihanja frekvencije. Za ispitivani sistem, s predviđenom rotirajućom rezervom, mogla bi se povećati frekvencija podešenja bez većih problema i na 49,4 Hz, ali s nešto manjom snagom rasterećenja. Međutim, što je niža frekvencija podešenja, veća je sigurnost da neće doći do nepotrebnog djelovanja releja.

## 6. ZAKLJUČAK I IDEJE ZA BUDUĆI RAD

Automatsko potfrekventno rasterećenje posljednja je mjera koja se poduzima da se EES sačuva od raspada.

Analiza procesa promjene frekvencije, nakon preopterećenja EES-a, pokazala je da je analizu djelovanja i projektiranje programa APR-a potrebno izvršiti na odgovarajućem dinamičkom simulacijskom modelu, koji treba u duljem vremenu uključiti relativno velik broj događaja. Simulacija na jednostrojnog modelu ostvaruje se i na malim računalima, a može se koristiti za približne proračune i analize koje razmatraju kvalitativan utjecaj samo pojedinih promjenljivih veličina. Za detaljnu analizu preporučuje se simulacijski model dugotrajne dinamike s odgovarajućim modelom APR-a. Valjanost i vrijednost rezultata simulacije ovisi o točnosti izbora parametara modela, a treba voditi brigu o predviđenim zanemarenjima, kao i ograničenjima računarskog programa.

Analize na ispitivanom sistemu, pomoću simulacijskog modela dugotrajne dinamike, pokazale su znatan utjecaj rotirajuće rezerve na projektiranje prvog stupnja APR-a, odnosno nužnost detaljnog modeliranja dinamičkog odziva agregata. Posebno je značajan i utjecaj tromosti pojedinih generatora i utjecaj samoregulacije potrošača. Način oblikovanja otoka je proizvoljan, a rotirajuća rezerva, ukupna tromost sistema i vrijednosti parametara samoregulacije složenog potrošačkog čvora su promjenjive veličine unutar jednog EES-a. Projektiranje prvog stupnja APR-a zahtijeva uzimanje u obzir mogućih promjena karakteristika sistema prema principu najgoreg mogućeg slučaja, a ne smiju se zanemariti ni ostali parametri programa APR-a.

Način projektiranja prvog stupnja APR-a prikazan u ovom radu može se koristiti za bilo koji EES, uzevši u obzir stvarno moguće promjene parametara sistema, a konkretni rezultati će zavisiti od karakteristika sistema. Općenito se može zaključiti da, ako je iznos rotirajuće rezerve veći i brzina njezina angažiranja sporija, potrebna je niža frekvencija podešenja releja prvog stupnja APR-a, koja ne smije biti preniska zbog srednjih i većih vrijednosti manjka proizvodnje. Nadalje, veća ukupna tromost sistema omogućava višu frekvenciju podešenja releja prvog stupnja. Ako je veći utjecaj samoregulacije potrošača, potrebna je viša frekvencija podešenja releja ili primjena dodatnih releja s duljim vremenom djelovanja, radi sprečava-

nja zadržavanja frekvencije ispod nazivne vrijednosti.

Primjena releja osjetljivih na brzinu promjene frekvencije (BPF ili  $df/dt$  releji) može omogućiti da ne dođe do nepotrebnog djelovanja APR-a zbog sporog angažiranja rotirajuće rezerve. BPF releji se najčešće primjenjuju u sistemima s većinom proizvodnje od hidroelektrane (npr. Švedska i Kanada), gdje je taj problem izraženiji.

Međutim, sniženje frekvencije je po prirodi njihajućeg karaktera i ovisi o karakteristikama sistema i mjesta ugradnje releja. Za BPF releje također je otežana koordinacija djelovanja i provođenje kategorizacije potrošača, što su dodatni razlozi koji im otežavaju podešenje i primjenu. Nadalje, BPF releji su skuplji, složeniji, radno iskustvo im je ograničeno i nisu općeprihvaćeno rješenje. U svakom slučaju, dosadašnji način rasterećenja sistema sadrži dosta proizvoljnosti zbog promjene uvjeta rada sistema. Izvedba mikroprocesorske zaštite, koja bi te promjene mogla dovoljno brzo i točno uzeti u obzir, mogla bi biti opće prihvaćeno rješenje.

## POPIS UPOTRIJEBLJENIH OZNAKA

$H \left( \frac{\text{MVs}}{\text{MVA}} \right)$	— vremenska konstanta tromosti izračunata za odgovarajuću bazu
$P \text{ (M,W)}$	— djelatna snaga elektrane u pogonu
$P_{\text{max}} \text{ (MW)}$	— maksimalna snaga elektrane
$P_l \text{ (MW)}$	— djelatna snaga potrošača
$Q \text{ (MVAr)}$	— jalova snaga koju elektrana daje u mrežu
$Q_l \text{ (MVAr)}$	— jalova snaga potrošača
$U \text{ (kV)}$	— napon
$U_o \text{ (kV)}$	— nazivni napon
$\cos \varphi_p$	— faktor snage potrošača
$d$	— koeficijent samoregulacije potrošača
$f \text{ (Hz)}$	— frekvencija
$f_B \text{ (Hz)}$	— bazna (nazivna) frekvencija
$P_e \text{ (j.v.)}$	— električna snaga generatora ili cijelog sistema za odgovarajuću bazu
$P_{\text{gpmax}} \text{ (j.v.)}$	— maksimalna djelatna snaga koju generator može predati potrošaču
$P_m \text{ (j.v.)}$	— mehanička snaga stroja ili cijelog sistema za odgovarajuću bazu
$P_l \text{ (j.v.)}$	— djelatna snaga potrošača
$P_{to} \text{ (j.v.)}$	— djelatna snaga potrošača neposredno prije poremećaja
$p_v$	— parametar ovisnosti djelatne snage potrošača s naponom
$p_{\omega}$	— parametar ovisnosti djelatne snage potrošača sa fekvencijom
$q_v$	— parametar ovisnosti jalove snage potrošača s naponom
$q_{\omega}$	— parametar ovisnoti jalove snage potrošača s frekvencijom
$r_p \text{ (j.v.)}$	— djelatni otpor potrošača
$t \text{ (s)}$	— vrijeme
$u_g \text{ (j.v.)}$	— unutrašnji napon generatora
$u_p \text{ (j.v.)}$	— napon potrošača
$u_l \text{ (j.v.)}$	— napon sabirnice genertora
$x \text{ (j.v.)}$	— zbroj reaktancije $x_g$ i $x_s$
$x_g \text{ (j.v.)}$	— odgovarajuća reaktancija generatora
$x_p \text{ (j.v.)}$	— odgovarajuća reaktancija potrošača

- $x_s$  (j.v.) — odgovarajuća reaktancija između generatora i sabirnice potrošača
- $\omega$  ( $\frac{1}{s}$ ) — kružna brzina
- $\omega_B$  ( $\frac{1}{s}$ ) — bazna (nazivna) kružna brzina

## LITERATURA

- [1] L. L. FOUNTAIN, J. L. BLACKBURN: »Application and test of frequency relays for load shedding« AIEE TRANSACTIONS on PAS, referat 54-372, februar 1955.
- [2] E. R. GIZILA: »Rasčrt ustroistv avtomatiki energosistem« KIEV, 1962.
- [3] H. E. LOKAY, V. BURTONYK: »Application of underfrequency relays for automatic load shedding«, IEEE TRANSACTIONS on PAS, Vol. 87. No 3, mart 1968.
- [4] R. M. MALISZEWSKI, R. D. DUNLOP, G. L. WILSON: »Frequency actuated load shedding and restoration« IEEE Summer power meeting, juli 1970.
- [5] D. H. BERRY, R. D. BROWN, J. J. REDMOND, W. WATSON: »Underfrequency protection of the Ontario hydro system«, referat 32-14, CIGRE, 1970.
- [6] R. O. BIGELOW, F. H. FREER, P. T. ASHTON, W. J. BALET, R. A. THOMPSON, P. L. DANDERO: »Automatic load relief practices in Northeastern United States and Province of Ontario, Canada«, referat 34-05, CIGRE, 1972.
- [7] G. D. BUOTIN, N. S. MARKUSHEVICH, M. G. PORTNOY, R. S. RABINOVITSH, S. A. SOVALOV, E. D. ZEILIDZON: »Automatic frequency load shedding in USSR power systems«. referat 34-04, CIGRE, 1972.
- [8] Elektroprivreda BiH: »Studija frakuentnog rasterećenja elektroenergetskog sistema — izvod«, Sarajevo, juli 1975.
- [9] D. R. DAVIDSON, D. N. EWART, L. K. KIRCHMAYER: »Long term dynamic response of power systems: An analysis of mayour disturbances«, IEEE TRANSACTIONS on PAS, Vol. 94 No. 3. maj/juni 1975.
- [10] M. S. BALDWIN, H. S. SCHENKEL: »Determination of frequency decay rates during period of generation deficiency« IEEE TRANSACTIONS on PAS, Vol. 95 No. 1. januar/februar 1976.
- [11] M. M. MERRIAN, D. J. VANDEWALLE: »The effect of grid frequency decay transients on pressurized water reactars«, IEEE TRANSACTIONS on PAS, Vol. 95 No. 1, januar/februar 1976.
- [12] R. S. HAHN, S. DASGUPTA, E. M. BAYTSCH, R. D. WILLOUGHBY: »Maximum frequency decay rate for reactor coolant pump motors« IEEE TRANSCATIONS on Nuclear Science Vol. 26, No. 1. februar 1979.
- [13] D. W. SMAHA, C. W. ROWLAND, J. W. POPE: »Coordination of load conservation with turbine-generator under-frequency protection«, IEEE TRANSACTIONS on PAS, Vol. 99 No3, maj/juni 1980.
- [14] M. S. BALDWIN, D. P. FADDEN: »Power systems performance as affected by turbine-generator controls response during frequency disturbances«, IEEE TRANSACTIONS on PAS, Vol. 100 No 5, maj 1987.
- [15] C. W. TAYLOR, F. R. NASIEF, R. L. CRESAP: »Northwest power pool transient stability load shedding controls for generation-load imbalances«, IEEE TRANSACTIONS on PAS, Vol. 100 No7, juli 1981.
- [16] D. POPOVIĆ: »Kontinualna analiza kratkotrajnih i dugotrajnih dinamičkih procesa u složenim EES« XVI savjetovanje EEJ, 1983.
- [17] M. KUŠLJUGIĆ: »Simulacija dugotrajnih elektromehaničkih procesa u EES«, Sarajevo, magistarki rad, 1985.
- [18] Međunarodna agencija za atomsku energiju (MAAE): »Fresco (Frequency stability code)«, Sarajevo 1985.
- [19] K. HEMMAPRARDH, D. W. MANKE, W. R. PAULY, J. W. LAMONT: »Considerations for a long term dynamics simulation program« IEEE TRANSACTIONS on PAS, Vol pwr-1, No-1, februar 1986.
- [20] D. NOVOSEL: »Potfrekventno rasterećenje elektroenergetskog sistema«, Zagreb, magistarski rad, 1987.

## CHOICE OF SIMULATION MODEL FOR AN ANALYSIS OF AUTOMATIC POWER REDUCTION AND APPLICATION FOR THE FIRST DEGREE RELAY SETTING

In the paper is analysed a choice of first degree relay setting for automatic power reduction by use of simulation model on real system. Presented are qualitative impacts of electric power system parameters and presented principals can be applied to every system.

## AUSWAHL DES STIMMULATIONSMODELLS FÜR DIE ANALYSE DER UNTERFREQUENTERTEN ENTLASTUNG DES EES UND IHRE ANWENDUNG FÜR DIE REGELUNG EINES RELAIS DES ERSTEN GRADES

Die Auswahl der Relaisregelung des ersten Grades APR wird am konkreten System mit Hilfe des entsprechenden Stimulationsmodells ins Detail analysiert. Man beschreibt die quantitativen Einflüsse der einzelnen Parameter des EES. Die angeführten Ergebnisse und Prinzipien der Auswahl können an irgendeinem System angewendet werden.

## ВЫБОР ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ К АНАЛИЗУ ИНФРАФРЕКВЕНТНОЙ РАЗГРУЗКИ ЭЭС И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ НАСТРОЙКИ РЕЛЕ ПЕРВОЙ СТЕПЕНИ

Подробно проанализирован выбор настройки реле первой степени АИР при помощи соответствующей имитационной модели на конкретной системе. Показано качественное влияние отдельных параметров ЭЭС, а сделанное заключение и принципы выбора применимы для любой системы.

Naslov pisca:

**Mr. Damir Novosel, dipl. inž.**  
**Elektrotehnički fakultet Tuzla,**  
**75000 Tuzla,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1988-05-26

# VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

## NEISKORIŠTENI HIDROPOTENCIJAL VODOTOKA TREBIŠNJICE I DUBROVAČKE RIJEKE

Stručnjaci Instituta za elektroprivredu Zagreb za potrebe razvoja elektroprivrede izradili su studiju »Analiza i mogućnosti razvoja elektroprivrede SR Hrvatske do 2000. godine s osvrtnom na 2010. godinu. Studija detaljno obrađuje problematiku iskorištenja preostalog dijela hidropotencijala u Republici.

U kratkim crtama osvrnut ćemo se na hidroenergetski potencijal vodotoka Trebišnjice i Dubrovačke rijeke.

Prvobitna zamisao energetskog korištenja Trebišnjice bazirana je na velikoj akumulaciji Gorica i pribranskoj hidroelektrani, te na izgradnji HE Dubrovnik kao glavnim objektima. Nadalje, u širem porječju Trebišnjice predviđena je bila izgradnja nekoliko manjih elektrana radi usmjeravanja voda prema akumulaciji Gorica uz istovremeno korištenje tih voda na raspoloživim padovima u tim manjim elektranama.

Od glavnih objekata završena je akumulacija Gorica, pribranska HE Trebinje, te prva etapa HE Dubrovnik. U HE Dubrovnik izvedena je kaverna — strojarnica za konačnu izvedbu, tj. ugradnju 4 agregata po 108 MW, ali su u prvoj etapi izgrađena dva agregata, odnosno 216 MW. U drugoj etapi je predviđena izgradnja još jednog paralelnog tunela s vodnom i zasunskom komorom, dva cjevovoda i dva agregata.

Zbog nesporazuma oko podjele snaga i energije između elektroprivreda SR Hrvatske i SR Bosne i Hercegovine iz tog objekta, koji i do danas nije riješen, odgađala se izgradnja druge etape HE Dubrovnik, pogotovo što je u međuvre-

menu izgrađena HE Čapljina, koja koristi vode namijenjene drugoj etapi HE Dubrovnik, na oko 60 m manjem padu.

Iako bi HE Dubrovnik u konačnoj izgradnji, snage  $4 \times 108$  MW, predstavljala, poput HE Zakućac, izvanredan objekt za pokrivanje vršnog dijela dijagrama opterećenja, o realizaciji se druge etape uopće ne govori. S tim u vezi, očito je, nema podloga da se druga etapa HE Dubrovnik uvrsti u proračun strukture proizvodnje, jer se ne poznaju vode s kojima bi se ušlo u račun, pa ostaje da se taj objekt evidentira u smislu obaveza da se pokušava definirati njezin položaj, jer se zna i bez proračuna njezina visokoenergetsko — ekonomska vrijednost kad sistemu treba snaga karakteristika HE Dubrovnik. Zbog toga nužno je definirati regulirane protoke s kojima će se računati HE Dubrovnik u predviđenoj konačnoj izgradnji.

### Korištenje Dubrovačke rijeke

Izvor Ombla i vrlo kratak tok rijeke praktički su na razini mora, i kad je u pitanju energetsko korištenje tih voda nužno treba posegnuti u pozemlje. Naime izvorišna spilja Omble, čije se porječje dijelom preklapa s Trebišnjicom, moguće je otješnjenjem propusne zone pretvoriti u akumulaciju podzemnih voda.

U idejnom rješenju za HE Ombla računa se s injekcionim zavjesama i usporom oko 100 metara. Osim strojarnice sve je pod zemljom: cjevovod za dovod vode, temeljni ispušt, zasunska komora, pristupni tunel sa zahvatom vode za opskrbu Dubrovnika vodom itd.

Dosadašnja istraživanja upućuju na zaključak o mogućnosti pothvata, što daljim istraživanjima valja potvrditi.

Osnovni podaci hidroelektrane Ombla su:

— instalirani protok	70 m <sup>3</sup> /s
— instalirana snaga	59,5 MW
— moguća godišnja proizvodnja	172,5 GWh
— netopad	100 m.

Prema planu izgradnje energetskih objekata za 1988. godinu Zajednica elektroprivrednih organizacija uložiti će iznos od 1 103 milijuna dinara za istražne radove i izradu idejnog projekta za buduću hidroelektranu Ombla.

I. R.

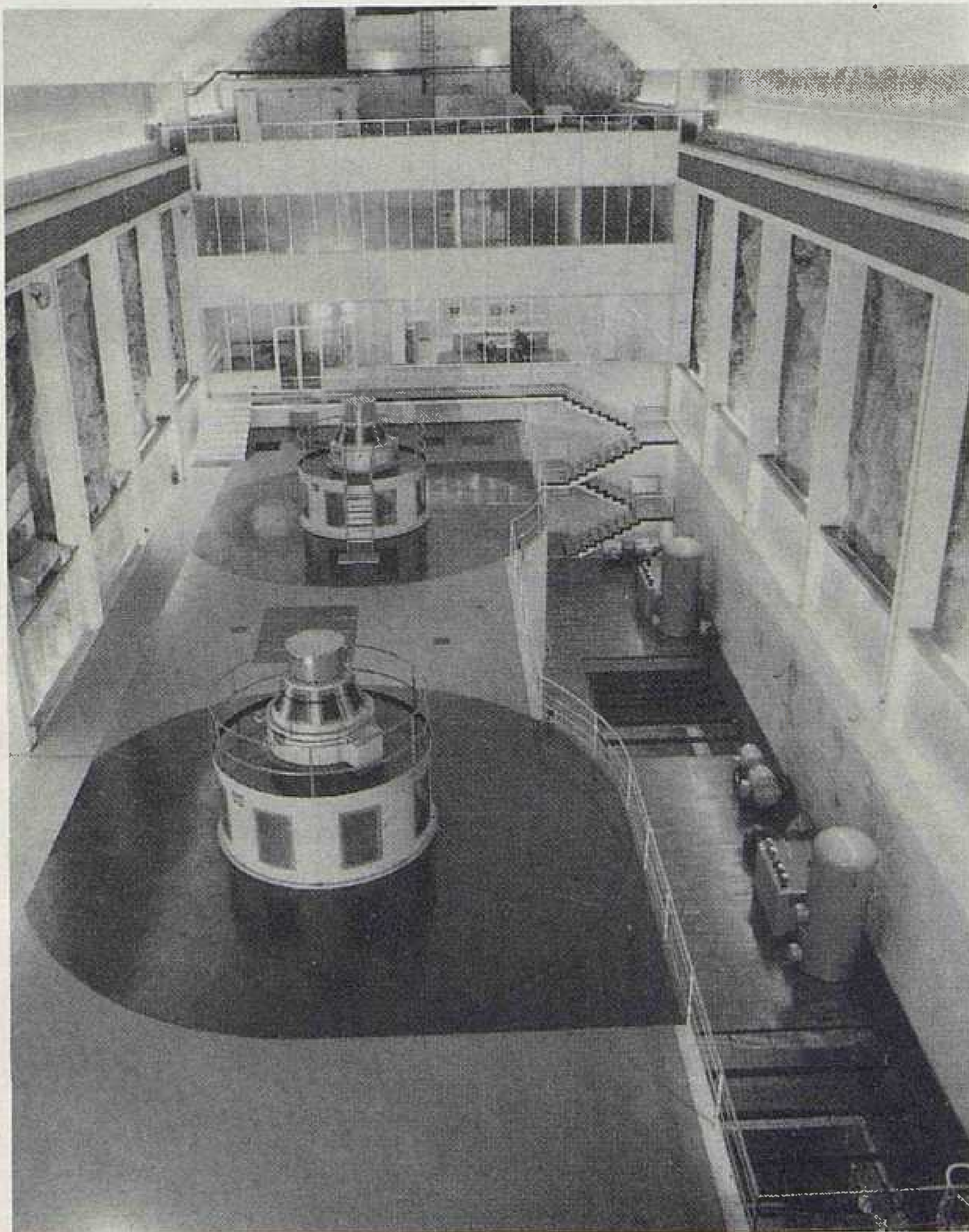
### 80 GODINA RADA HIDROELEKTRANE OZALJ

Radni ljudi HE Ozalj 18. kolovoza 1988. svečano su obilježili 80 godina rada hidroelektane.

Hidroelektrana Ozalj na Kupi puštena je u pogon 1908. godine zahvaljujući velikim zauzimanjem tadašnjeg gradonačelnika Karlovca dr. Ivana Banjavčevića, a karlovačka općina financirala je izgradnju elektrane. Puštanjem u pogon HE Ozalj stvoreni su povoljni uvjeti za ubrzani razvoj industrije i privrednog razvoja karlovačkog područja.

Zboru radnih ljudi HE Ozalj pristvovali su predsjednik Predsjedništva SR Hrvatske Ivo Latin, a zastupljeni su bili i predstavnici Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske i RSIZ-a potrošača električne energije, te privrednog i političkog života karlovačke regije.

Predsjednici Skupština Ozalj i Karlovac pozdravili su zbor radnih ljudi i prisutne goste.



Hidroelektrana Dubrovnik — strojarnica

O povijesti jednog od prvih izvora električne energije u Hrvatskoj govorio je direktor HE Ozalj Josip Ivanušec.

Nakon drugoga svjetskog rata na lijevoj obali Kupe sagrađena je još jedna hidroelektrana Ozalj 2, puštena u pogon 1952. godine.

Danas obje hidroelektrane proizvode godišnje oko 25 milijuna kWh električne energije, što je oko 7 posto ukupnih potreba »Elektre« Karlovac. Hidroelektrane Ozalj 1 i 2 danas posluju kao distributivne elektrane u sastavu OOUR-a »Elektra« Karlovac. Na svečanoj sjednici zaslužnim radnicima uručena su priznanja i nagrade.

I. R.

## REZULTATI PROIZVODNJE NAFTE I PLINA U HRVATSKOJ

U proizvodnji nafte i plina u 1988. godini na području SR Hrvatske ostvareni su dobri rezultati u razdoblju siječanj — srpanj 1988. godine. Prema energetske bilanci Hrvatske u 1988. godini planirana je proizvodnja nafte od 2 milijuna i 990 tisuća tona i prirodnog plina u količini 2,1 milijardu m<sup>3</sup>.

U odnosu na plan 1987. godine, proizvodnja plina povećana je za 140 milijuna m<sup>3</sup>. Višak plina u periodu male potrošnje uskladištit će se unovosagrađenom skladištu plina Okoli, koje je od 1987. godine u pogonu.

Prema podacima kolektiva »INA-Naftaplin«, u sedmomjesečnom razdoblju 1988. godine ostvarena je proizvodnja milijun i 790 tona nafte. U to je uključeno i 120 000 tona iz Angole, koju naši naftaši dobivaju na osnovi prava nakon zajedničkog pronalaska nafte u Angoli.

Na najvećem jugoslavenskom naftonosnom polju »Beničanci« kod Donjeg Miholjca od siječnja do kraja srpnja ostvarena je najveća proizvodnja nafte u količini od 360 000 tona. I na drugim naftonosnim poljima eksploatacija teče normalno, tako da je plan proizvodnje domaće nafte u cijelosti ispunjen.

Također je za razdoblje siječanj — srpanj 1988. kolektiv »INA-Naftaplin« ostvario proizvodnju plina milijardu i 158 milijuna m<sup>3</sup>, što je više od planiranih količina. Najbolje su planirani rezultati ostvareni na nalazištima Molve I i II i Kalinovac.

I. R.

## U POGONU NOVE TERMoeLEKTRANE

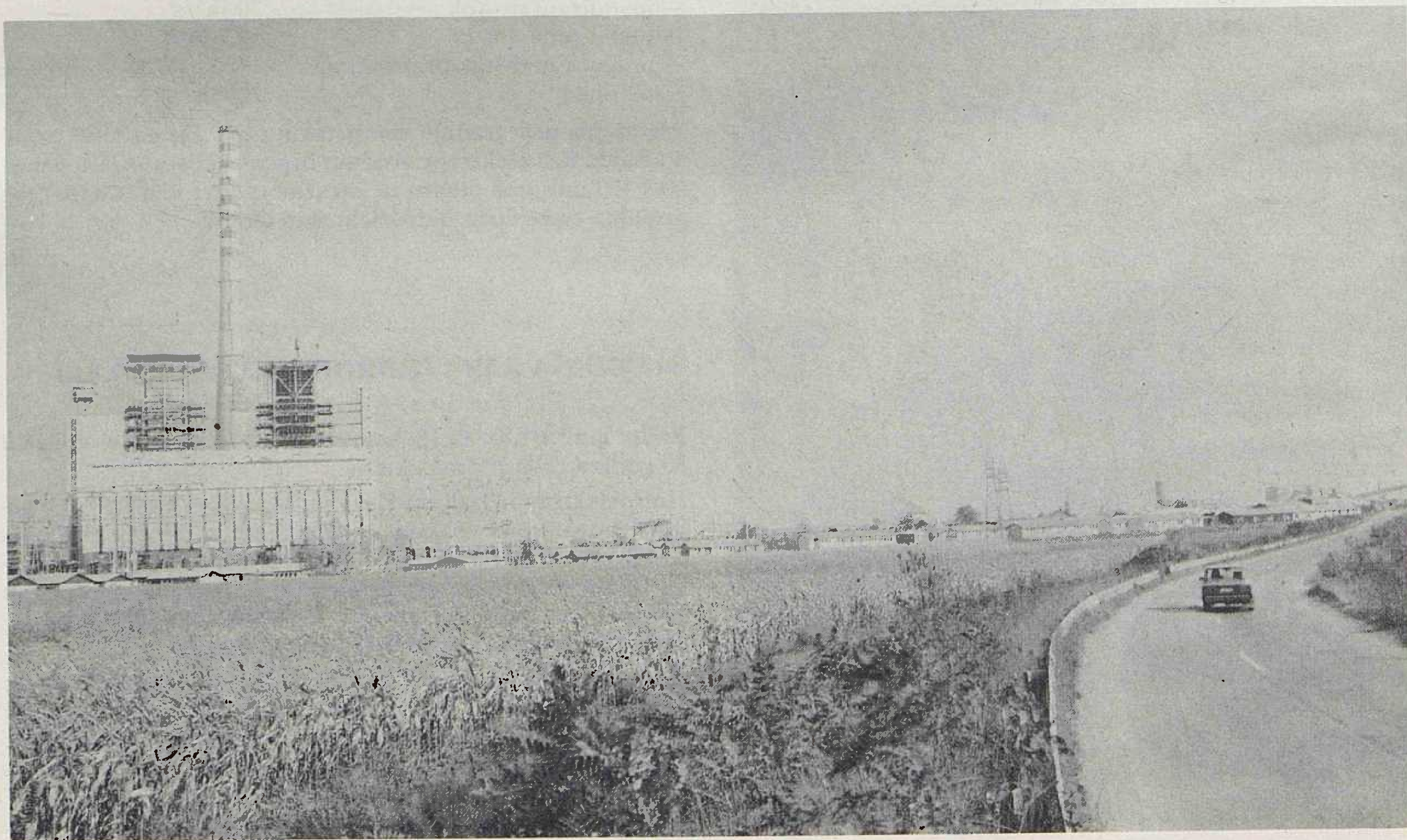
Sredinom 1988. godine elektroenergetski sustav Jugoslavije dobio je dva značajna elektroenergetska proizvodna kapaciteta. U rad su puštene novosagrađene TE Drmno i TE Bitola 3.

Početkom srpnja 1988, uz prisustvovanje većeg broja predstavnika političko-društvenih organizacija, elektroprivrede, investitora i graditelja, u Rudarsko-energetskom kombinatu Kostolac, SR Srbija, puštena je u rad termoelektrana Drmno, instalirane snage 350 MW.

Početkom kolovoza 1988. puštena je u rad i termoelektrana Bitola 3 i drugi objekti u okviru druge faze gradnje tog rudarskog-energetskog kombinata. Treći blok, kao i prethodna dva, ima instaliranu snagu od 210 MW. Inače druga faza izgradnje, osim investiranja u treći blok, obuhvatila je i proširenje ugljenokopa lignita Suvadol s dosadašnjih četiri milijuna tona na šest milijuna tona godišnje proizvodnje. Tim proširenjem rudnik će moći opskrbljavati ugljenom sve tri termoeletrane. Gradnjom trećeg bloka TE Bitola povećava se kapacitet godišnje proizvodnje s dosadašnjih 2 milijarde i 200 milijuna kWh na tri milijarde i 300 milijuna kWh električne energije.

Za izgradnju navedenih objekata ukupno je investirano 336 milijardi dinara. Oprema je dijelom osigurana iz uvoza, a domaći proizvođači strojogradnje i elektroindustrije sudjelovali su u isporuci opreme sa 50 posto. Rad ove TE ima veliko značenje za Makedoniju jer će osigurati oko 73 posto ukupne potrošnje električne energije u ovoj republici.

I. R.



Termoelektrana Drmno



## PLINOFIKACIJA ISTRE I KVARNERA

RO »INA-Naftaplin« zadnjih godina je organizirala istraživanja nafte i plina u sjevernom Jadranu. Utvrđeno je da na tom području ima prirodnog plina u priličnim količinama. Najbolje rezultate pokazuje plinsko polje »Ivana«, jugozapadno od Pule.

Prema procjeni, iz te lokacije moguća je proizvodnja 400 milijuna m<sup>3</sup> godišnje, i to u toku 15 godina. Međutim to nisu krajnji kapaciteti jer će se nastaviti daljna istraživanja, te se može predvidjeti povećanje proizvodnje na novim nalazištima plina.

Za utvrđene rezerve plina u sjevernom Jadranu zainteresirana je privreda Istre i Kvarnera. Potrošnja plina predviđena je u prvom redu za velike potrošače na području Pule, Labina i Rijeke.

### Magistralni plinovod

RO »INA-Plinovod« računa na eksploataciju plina poslije devedesetih godina, no potrebno je riješiti niz pitanja do početka eksploatacije.

Magistralni plinovod gradio bi se na relaciji: plinsko polje Ivana-Pula-Labin-Rijeka. Plinovod bi od Pule išao kopnom trasom do Plomina, odatle podmorskim cjevovodom na otok Krk, zatim dalje prema Urinju. Taj plinovod mogao bi opskrbljavati potrošače Pule, plominske termoelektre, industrijska postrojenja kraj Omišlja, te korisnike u Rijeci i Bakru. Iz Pule bi se račvao plinovod koji bi osiguravao opskrbu i drugih potrošača plina u Istri i Slovenskom primorju.

Postoji mogućnost plasmana plina izvan riječke regije plinovodom prema Sloveniji i drugim do Karlovca.

### Zajednička suradnja

Akcija plinifikacije u istarsko — riječkoj regiji bazira se na istraživanju podmorja sjevernog Jadrana, ponajprije na području južno od Pule. Dosadašnja istraživanja upućuju na to da plina ima dovoljno za komercijalnu eksploataciju.

RO »INA — Naftaplin« program plinifikacije područja Istre i Kvarnera ponudila je većim potrošačima plina iz oblasti industrije, elektroprivrede, ali i širokoj potrošnji računajući na zajedničku suradnju. Postoje osnovne studije eksploatacije i gradnje plinovodne mreže. Obradena je i energetska bilanca.

Na inicijativu Privredne komore Rijeke sve općine riječke regije dogovorili su se o potpisivanju Društvenog dogovora o zajedničkom radu na plinifikaciji Zajednice općina Rijeke.

Najvažniji zadatak je osigurati potrebna financijska sredstva za ostvarenje programa plinifikacije. Potrebno je ubrzati rješavanje i drugih zadataka u okviru programa plinifikacije:

- Treba pripremiti sve odgovarajuće elaborate (bilance, količine plina, rekonstrukcije termoelektre, izgradnju magistralnog plinovoda, plinovodnih instalacija u privredi, kućanstvu i sl.), te istodobno obraditi financijsku konstrukciju za izgradnju tih objekata.
- Treba utvrditi cijenu plina za elektroprivredu, tvornicu umjetnih gnojiva i druge velike korisnike, kao i za široku potrošnju.
- Na temelju posljednjih saznanja valja izraditi program distribucije plina po zonama, te predvidjeti organizaciju distribucije plina i održavanje plinovodne mreže.
- Na području Zajednice općina Rijeka osnovat će se dva odbora za plinifikaciju (Istra i Kvarner — Gorski kotar),

kao i koordinacioni odbor zajednice. Na te odbore prenose se svi poslovi u vezi s organizacijom, pripremom i gradnjom plinovodne mreže.

I. R.

## PROIZVODNJA I POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U JUGOSLAVIJI

Zajednica jugoslavenske elektroprivrede objavila je podatke proizvodnje i potrošnje električne energije u 1987. godini.

U 1987. godini ostvarena je ukupna bruto proizvodnja električne energije u iznosu 80,73 milijarde kWh, što je za 3,5 posto više od ostvarene proizvodnje u 1986. godini. U ukupnoj proizvodnji električne energije u prosječnim hidrološkim uvjetima sudjelovale su hidroelektre sa 26,2 milijarde kWh ili 33 posto i termoelektre sa 54,53 milijarde kWh ili 67 posto. U ukupnoj proizvodnji električne energije učestvuje udružena elektroprivreda sa 77,87 milijardi kWh ili 96 posto i industrijske termoelektre sa 2,86 milijarde kWh ili 4 posto. U ukupnoj proizvodnji termoelektre sudjelovale su termoelektre na ugljen sa 83 posto, termoelektre na tekuća goriva i plin sa 9 posto i nuklearna elektre sa 8 posto.

U 1987. godini ostvarena je ukupna bruto potrošnja električne energije od 81,11 milijardu kWh, što je za 3,5 posto iznad ostvarene potrošnje u prethodnoj godini, pri čemu je ostvaren ukupni uvoz električne energije u iznosu 2,83 milijarde kWh, a izvoz u iznosu od 2,21 milijardu kWh.

Uvoz električne energije osiguran je iz Čehoslovačke, Italije, Albanije, SSSR-a i Švicarske, a u manjim količinama iz Austrije, Rumunjske i Mađarske.

U ukupnoj potrošnji električne energije na pragu prijenosa sudjelovali su distributivni potrošači sa 76,3 posto, veći direktni industrijski potrošači sa 21,8 posto, crpljenje vode u akumulacione bazene sa 1,9 posto. Gubici u prijenosnoj mreži su 3,6 posto.

### Plan proizvodnje i potrošnje u 1988. g.

Ukupna brutoproizvodnja električne energije u 1988. godini planirana je u iznosu od 86,55 milijardi kWh, što čini povećanje od 7,1 posto u odnosu na ostvarenje u 1987. godini. U ukupnoj planiranoj proizvodnji hidroelektre sudjeluju sa 27,0 milijarde kWh ili 31 posto, termoelektre sa 59,55 milijarde kWh ili 69 posto. Ukupna brutopotrošnja električne energije u 1988. godini planirana je u iznosu od 86,19 milijarde kWh, što čini povećanje od 6,2 posto prema 1987. godini.

Izvršenje elektroenergetske bilance Jugoslavenske elektroprivrede u razdoblju siječanj — lipanj 1988. je sljedeća:

Ukupna netoproizvodnja u navedenom razdoblju ostvarena je u iznosu od 39,0 milijardi kWh, što je 0,3 iznad plana, a 1,8 posto iznad ostvarene proizvodnje u istom razdoblju 1987. godine.

Proizvodnja hidroelektre ostvarena je u iznosu od 15,1 milijardu što je 6,7 posto iznad plana, a 5,3 posto iznad ostvarene proizvodnje u istom razdoblju 1987. godine.

Proizvodnja električne energije u termoelektre na ugljen ostvarena je u iznosu od 19,7 milijardi kWh, što je 3,0 posto manje od plana. Nuklearna elektrana Krško ostvarila je proizvodnju električne energije u iznosu od 2,6 milijarde kWh, što je 11,7 posto više od plana.

Ukupna ostvarena brutopotrošnja električne energije u razdoblju siječanj — lipanj 1988. godine iznosi 36,7 milijardi kWh, što je 1,3 posto ispod ostvarene potrošnje u istom raz-

doblju 1987. godine. Ostvaren je ukupan uvóz električne energije u iznosu od 0,16 milijardi kWh, dok je izvoz 2,0 milijarde kWh.

I. R.

## ULAGANJA U STUDIJSKO-ISTRAŽIVAČKE RADOVE

Planom razvoja energetike u SR Hrvatskoj 1988. godine konačno je utvrđena visina ulaganja u studijsko-istraživačke i projektne radove u ukupnom iznosu 9 814 milijuna dinara. Planirana sredstva u 1988. godini utrošit će se na sljedeće:

— Zajednički studijsko-istražni i projektne radovi za proizvodnju i prijenos obuhvaćaju istraživanja vezana za probleme razvoja elektroenergetskog sustava u cjelini, pouzdanost elektrana, organizaciju vođenja izgradnje na drugim područjima, katastar malih hidroelektrana, programsku podršku za operativno planiranje razvoja, baze podataka za potrebe planiranja razvoja elektroenergetskog sustava. Tu su također unesena i rezervna sredstva za istražne radove i projektne dokumentaciju za iskorištenje preostalog hidropotencijala, koja će se naknadno nakon utvrđivanja prioriteta istraživanja raspodijeliti na konkretne objekte.

Iz toga iznosa financirali bi se radovi čiji prioritet bi naknadno, kada budu spremne stručne podloge, utvrdio odbor za studije, a verificirali bi ih odbori za razvod RSIZ-a i ZEOH-a.

— Studijsko-istražne i projektne radove za objekte proizvodnje, koji se odnose na hidroelektrane koje će se pripremati za iduće plansko razdoblje, istraživanje za izgradnju termoelektrana na području Hrvatske na uvozni ugljen, istraživanja vezana za efikasnije korištenje postojećih postrojenja, istraživanja vezana za korištenje nekonvencionalnih izvora energije.

Studijsko-istraživački i projektne radovi započeti djelomično u 1988. godini nastaviti će se i u idućim godinama Plana razvoja elektroprivrede SR Hrvatske do 1990. godine.

I. R.

## OPADA PROIZVODNJA UGLJENA

U prvom polugodištu 1988. godine ugljenokopi u Jugoslaviji proizveli su 34,53 milijuna tona svih vrsta ugljena, što je 2,4 posto manje nego u istom razdoblju 1987. godine. Smanjenom proizvodnjom došla je u pitanje i planirana proizvodnja 76,2 milijuna tona do kraja 1988. godine. Prema podacima, proizvodnja u srpnju i kolovozu bit će također ispod plana, pa se sumnja da će se ostvariti godišnji plan.

U spomenutom je razdoblju proizvedeno od ukupnih količina 28,55 milijuna tona lignita, što je oko 3,1 posto manje nego 1987. godine, dok je ostvarena proizvodnja mrkog ugljena iznosila oko 5,8 milijuna, a to je jedan posto više od plana. Najbolji su rezultati proizvodnje kamenog ugljena u količini od 103 000 tona, što je 16,2 posto iznad plana. Najveće količine kamenog ugljena iz raških ugljenokopa namijenjene su termoelektrom Plomin 1.

I. R.

## ULAGANJA U PRIJENOSNU MREŽU ELEKTROPRENOSA OPATIJA

Planom utvrđena ulaganja u prijenosnu mrežu područja Elektroprenosa Opatija u iznosu od 8 315 milijuna dinara

raspodijeljena su: za izradu studije, istraživanja i projektiranje, rekonstrukcije i modernizacije, te transformatorsku stanicu 110/35/10 (20) kV Rovinj (110 kV postrojenje), dalekovod 110 kV Krk — Rab (dionica Rab — Baška i Lopar — Rab) i transformatorsku stanicu 110/35 kV Lošinj.

Izgradnja TS 110/35/10 (20) kV Rovinj (110 kV postrojenje) nastavak je dosad izgrađenog srednjonaponskog postrojenja Elektroistre.

Dalekovod 110 kV Krk — Rab (dionica Rab — Baška i Lopar — Rab) nastavak je prethodne realizirane izgradnje kabela i dalekovoda Krk-Rab, i to prva faza. Izgradnjom ovog objekta omogućit će se u sljedećoj turističkoj sezoni prijenos dovoljnih količina kvalitetne električne energije na otok Rab.

TS 110/35 kV počela se graditi u 1988. godini, a završetak izgradnje predviđen je do početka turističke sezone 1989. godine. Izgradnjom ove trafostanice znatno će se poboljšati napajanje električnom energijom Cresa i Lošinja.

I. R.

## ULAGANJA U NUKLEARNI PROGRAM

Na zajedničkoj skupštini ZEOH-a i RSIZ-a potrošača električne energije održane sredinom 1988. godine učinjen je Rebalans plana izgradnje elektroenergetskih objekata za 1988. godinu. Plan obuhvaća i realizaciju nuklearnog programa, a predviđena su ulaganja od 3 504 milijuna dinara.

Planirana sredstva za nuklearni program odnose se na radove vezane za objekt NE Krško: sufinanciranje nabave rezervnog transformatora, odlagališta za radioaktivan otpad, za radijacijsku medicinu i zaštitu u Kliničkobolničkom centru, te rekonstrukcije sistema demineralizirane vode i prethodne radove za NE Prevlaka.

Sufinanciranje rezervnog transformatora proizlazi iz obaveze stvorene zaključivanjem sporazuma o zajedničkoj nabavi i korištenju zajedničkog rezervnog blok transformatora snage 400 MW, napona 22 kV/400 MVA. Transformator je ugovoren s tvornicom »Rade Končar«.

O odlagalištu radioaktivnog otpada dogovorili su se još početkom 1987. godine Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske i Elektrogospodarstvo Slovenije te nuklearna elektrana Krško. Sporazumno je NE Krško ovlaštena za obavljanje prethodnih radova, a ZEOH i EGS su preuzeli obavezu financiranja radova prema prihvaćenom programu. Treba ubrzati sređivanje dokumentacije za unošenje lokacije u prostorne planove Republike i izradu kriterija za lociranje odlagališta.

Centar za radijacijsku medicinu i zaštitu u Kliničkobolničkom centru Rebrow gradi se kao obaveza stvorena pri dobivanju dozvole za rad NE Krško. Dozvolom za rad obavezani su ZEOH i EGS, kao investitori nuklearke Krško, izgraditi školski centar i centar za radijacijsku medicinu i zaštitu.

Među republikama je dogovoreno da Elektrogospodarstvo Slovenije financira izgradnju školskog centra u Ljubljani, a ZEOH izgradnju centra za radijacijsku medicinu u Zagrebu.

U prvoj etapi planira se početak izgradnje centra, to jest gradnja prostora i nabava medicinske opreme.

Planirana rekonstrukcija sistema demineralizirane i dekarbolizirane vode za potrebe NE Krško predviđena je radi povećanja raspoloživosti sistema.

U dijelu prethodnih radova za NE Prevlaku osiguravaju se financijska sredstva samo za troškove radne grupe i za program unapređenja društvenih odnosa prema nuklearnoj energetici.

I. R.

# IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

## STUDIJE O NAPUŠTANJU NUKLEARNIH ELEKTRANA MNOGA PITANJA OSTAVLJAJU OTVORENA

U SR Njemačkoj posljednjih je godina izrađeno desetak i više studija o mogućnosti napuštanja nuklearnih elektrana, koje danas proizvode 37% električne energije. Sve one promatraju samo SR Njemačku ili samo jedan njen dio, a treba uzeti u obzir da je zemlja vrlo ovisna o uvozu energije i ekonomski čvrsto vezana na Evropsku zajednicu i općenito na svjetsku ekonomiju. Svaka bi elektropolitička akcija imala neočekivane posljedice. Npr., napuštanje nuklearne energije tražilo bi dodatnih 40 milijuna tona ugljena. To bi se povećanje sigurno nepovoljno odrazilo na cijeni, pogotovo ako bi i druge zemlje krenule tim putem. Studije su obradile vrijeme do 2000. ili 2020. godine, što je premalo, jer životna dob termoelektrana traje oko 40 godina, pripreme i gradnja do stavljanja u pogon oko 10 godina. Osim toga, energetski će se problemi u toku godina sve više zaoštavati. Danas treba energijom opskrbiti 5 milijardi ljudi, 2020. godine oko 8 milijardi.

Regenerativna energija može se smatrati kao dobro došla dopuna, koja danas iznosi 5% dobavljene energije. No ako se njezin udio do godine 2000. i udvostruči, ne može nadomjestiti nuklearnu energiju. Takvo je gledanje na navedene studije iznio dr. Brüderlin, član predsjedništva Saveza njemačkih elektrana.

*ETZ*, god. 109(1988), br. 10

Mrk.

## ITALIJA NASTAVLJA GRADITI NUKLEARNE ELEKTRANE

Talijanska je vlada odlučila da se nastavi gradnja nuklearne elektrane Montaldo di Kastro. Ovo je objavljeno u Rimu 11. ožujka 1988, nakon sjednice kabineta. Radovi koji su na elektrani prekinuti nakon referenduma o nuklearnoj energiji sada se nastavljaju.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 87(1988), br. 9

Mrk.

## REKORDNA PROIZVODNJA U ŠVEDSKIM HIDROELEKTRANAMA 1987. GODINE

Ukupna proizvodnja električne energije u Švedskoj iznosila je 1987. godine 141 TWh. Od toga je polovica, tj. 71 TWh proizvedena u hidroelektranama, 64 TWh u nuklearnim, a 6 TWh u konvencionalnim termoelektranama. Dobavljena električna energija iz hidroelektrana predstavlja najveću dobavu do sada. Srednja proizvodnja procjenjuje se na 63 TWh godišnje, pa je prema tome ovo rekordna godina. To se ima zahvaliti 20% većem protoku švedskih rijeka. Maksimalno jednosatno opterećenje sistema koji je dvaput zabilježeno tokom 1987. iznosilo je oko 27 000 MW.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 87(1988) br. 9

Mrk.

## PRVA MAGNETSKA ŽELJEZNICA U SAD

U siječnju 1988. položen je kamen temeljac za prvu magnetsku željezničku liniju u SAD. One će se graditi u Las Vegasu između sportskog stadiona i velesajma na duljinu 2 km. Predviđeno je da budu u prometu tri kompozicije sa po dva vagona,) a brzina kretanja bit će 65 km/h. Time bi se moglo prevesti na sat 4 000 osoba. Ova energetski štedljiva i za okoliš vrlo povoljna željeznica trebala bi ući u pogon 1990. To neće biti samo najmoderniji sistem za lokalni promet, već će se odlikovati izvanredno tihom vožnjom, pa je predviđen prolaz kroz glavnu biblioteku u Las Vegasu. Slična željeznica proradit će u Berlinu već u ljetu 1988.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 87(1988), br. 10

Mrk.

## POLA GODINE RADA NJEMAČKOG PARKA VJETRENJAČA

Park vjetrenjača izgrađen na njemačkoj zapadnoj obali (Kaiser-Wilhelm Koog) proizveo je u pola godine svog rada 933 000 kWh. Kako je već na ovom mjestu u Energiji objavljeno, park se sastoji od 30 jedinica, triju različitih tipova, ukupno 1 MW instalirane snage. Dosadašnji je rad zadovoljio, premda se pojavilo mnogo još nerješivih tehničkih problema. No upravo su ti problemi pokazali važna saznanja za sljedeće konstrukcije. Svaki od triju tipova elektrana pokazao je svoje tehničke probleme, što je smanjilo proizvodnju. Prema meteorološkim uvjetima godišnja je proizvodnja električne energije procijenjena na 2 000 000 kWh. Ostvarena je proizvodnja, međutim, podbacila uzme li se u obzir da su elektrane radile upravo u toku najvjetrovitija dijela godine. Planirano je da park bude u pogonu barem 10 godina kako bi se dobila iskustva o radu pojedinih vjetrenjača i mogućnosti napajanja javne mreže. Predviđa se da će se park proširiti još ove godine za dvije jedinice po 165 kW, uz investicije od milijun maraka. Osim elektroprivrede koja ispituje energetske mogućnosti iskorištenja vjetra, iskustva sakupljaju i proizvođači opreme jer uređaji rade u vrlo gruboj i vlažnoj klimi. Najtipičniji kvarovi koji su se pojavljivali u toku rada bili su kvarovi na uređaju za podešavanje kutu krila rotora, proboji izolacije generatora i smetnje na regulaciji. Prevelika buka i vibracija (rezonancija) također su briga proizvođača.

U vezi s izgradnjom parka vjetrenjača postavlja se i problem prostora. Takav park od 30 jedinica treba prostor od 20 hektara.

Ustanovljeno je da su ove elektrane na vjetar u doba velikih opterećenja mreže mogle raditi od 0% do 56% svoje instalirane snage, što znači da nikako ne mogu biti zamjena za klasične elektrane.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 87(1988), br. 10

Mrk.

## ENERGETSKA BILANCA PROSJEČNOG NJEMAČKOG KUĆANSTVA

Prosječno njemačko kućanstvo najviše energije troši za grijanje, i to 53%. Na drugom je mjestu privatni auto koji u

ukupnoj potrošnji energije sudjeluje 33%. Mnogo je manji energetska udio priprema tople vode 7%. Svi kućanski aparati troše oko 6% energije, a rasvjeta najmanje, oko 1%. Privatna kućanstva potroše u SR Njemačkoj 43% ukupne energije zemlje.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 87(1988), br. 11

Mrk.

## ŠPANJOLSKA ŠTEDI ENERGIJU

Španjolska vlada želi u sljedećih 5 godina sniziti potrošnju energije službenih zgrada za 20%. Sastavljen je program da se do 1992. izolira oko 7 000 zgrada, čime bi se uštedjelo na grijanju i klimatizaciji. Osim toga bi se modernizirala rasvjeta, dobava tople vode i električne struje. Cilj je ove akcije da se uštedi 70 000 tona nafte i drugih energenata. Sve državne ustanove morat će izraditi plan optimizacije svojih troškova za energiju. Gdje se to pokaže ekonomičnim uvest će se upravljanje mikroprocesorima.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 87(1988), br. 11

Mrk.

## LAGAN PORAST UDJELA OBNOVLJIVE ENERGIJE U AUSTRIJI

Statistike su pokazale da je upotreba obnovljivih energenata u Austriji nešto porasla u 1986. godini. Time su obuhvaćeni drvo, gorivi otpaci, bioplin, geotermika, sunčani kolektori i toplinske pumpe. Udio ove vrste energije iznosio je u ukupnoj energetska potrošnji 1986. godine 8,3% prema 6,8% u godini 1983. U navedenom razdoblju ponajviše je povećana upotreba gorivog drveta i otpadaka. U 1986. pomoću toplinskih pumpi dobiveno je dvaput više energije nego 1983. U upotrebi sunčanih kolektora pojavila se 1986. lagana tendencija pada. Vrhunac upotrebe takve vrste energije bio je u toku 1988. godine.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 87(1988), br. 11

Mrk.

## INICIJATIVE ŠVICARSKJE ELEKTROPRIVREDE ZA ŠTEDNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE

Danas dobiva Švicarska dvije trećine potrebne energije iz tekućih goriva. Električna daje 20%, a plin 7,5%. Ostalo čine ugljen i kruta goriva. Proizvodnja električne energije u hidroelektranama čini 60%, a 40% u nuklearnima. Švicarska do 1973. nije imala nacionalnu energetska politiku. Nakon toga ona se razvila, izgrađena na tri osnovna principa: štednja, supstituciji (nafte) i istraživanju. Dosada je štednja energije ostvarena ponajprije boljom izolacijom zgrada. Supstitucijom je postignuto da je udio naftnih derivata u ukupnoj energetska potrošnji pao od 77,4% u 1970. na 63,9% u 1986. godini.

Oko 50% potrebne energije troši se na grijanje i klima-uređaje, a 22% na promet. Industrija troši oko 22%, a na proizvodnju hrane otpada oko 6%. Pritome treba primijetiti da na potrošak energije za grijanje i promet, dakle 70%, može utjecati svaki pojedini građanin i tako povećati štednju.

Budući da je i u Švicarskoj antinuklearni pokret prilično jak, vlada je formirala komisiju stručnjaka različitih profila, koja bi dala mišljenja o mogućnosti i konzekvencijama napuštanja nuklearnih elektrana. U tu komisiju, međutim, nije imenovan nitko iz elektroprivrede. Nedavno je komisija

objavila svoj izvještaj iz kojega proizlazi da Švicarska ne bi bez nuklearke imala neke ozbiljnije privredne poteškoće. No odmah su se pojavile sumnje u stručnost izvještaja, a najviše primjedbi imala je elektroprivreda. Prilike ipak izgledaju tako da će se o sudbini nuklearnih elektrana morati odlučiti referendumom koji bi se raspisao 1990. ili 1991. godine. Energetska politika danas je jedna od osnovnih tema, pa treba odlučiti da li da savezna vlada dobija veća ovlaštenja u pitanjima energetike.

U političkim diskusijama štednja električne energije ima također vidnu ulogu. Svi su jedinstveni u mišljenju da se mora štedjeti, no stvar je diskusije: gdje, kako i koliko. U okviru tih diskusija pojavio se rad koji je predvidio da se u roku od 30 godina može uštedjeti oko 30% električne energije, bez privrednih teškoća i smanjenja komfora.

Elektroprivredna studijska grupa utvrdila je, međutim, mogućnost od najviše 10 do 15%. Štednja se može provoditi u mnogo stupnjeva, koji se mogu ovako definirati:

- teorijska štednja koja počiva na ekonomskim mjerama i netaknutom komforu;
- proizvodna štednja koja može biti ostvarena bez posebnih mjera, npr. konstrukcijom ekonomičnijih kućanskih aparata, a također racionalizacijom u industriji;
- pojačana štednja, gdje se propagandom i savjetima povećava smisao za štednju, a u tom poslu glavnu ulogu moraju imati elektroprivredna poduzeća;
- za još jaču štednju treba izdati odgovarajuća pravila, zakone i zabrane, što se u javnosti nerado prihvaća, a pokazalo se da nema punog efekta.

Ako se pak želi ugasiti nuklearka, treba računati time da će štednja morati biti još drastičnija, čime će se javnost teško pomiriti.

Mora se primijetiti da često štednja energije uzrokuje povećanje potrošnje električne energije. To se danas potvrđuje u mnogim slučajevima. Nove tehnologije koje smanjuju potrošak energije također povećavaju potrošnju elektrike.

Daljnji bi utjecaj na štednju moglo imati povišenje tarifa. No pokazalo se da takva mjera u švicarskim prilikama ima mali efekt na potrošak u domaćinstvu, ali bi neželjene posljedice imalo u industriji. Proizvodi bi bili skuplji, što bi pak štetilo švicarskom izvozu.

Švicarska je elektroprivreda već prije nekih 10 godina počela propagirati mjere štednje električne energije i takva su nastojanja danas još pojačana. Da se vide akcije elektroprivrede, navedena je aktivnost jednog od švicarskih distributivnih elektropoduzeća.

- U godini 1986. uveden je u cijeloj zemlji Dan struje. Potrošači su dolazili u distributivna poduzeća da dobiju savjete o štednji energije.
- Uvjeti priključka električnih grijalica postroženi su u korist priključka toplinskih pumpi.
- Organizirane su izložbe gdje su prikazane mogućnosti štednje energije.
- U svim zgradama električnog poduzeća ugrađene su štedne svjetiljke, da služe kao primjer.
- Javna rasvjeta provedena je također štednim svjetiljkama.
- Na računima je naznačena i prošlogodišnja potrošnja za usporedbu.
- Na cijelom je području provedena propaganda o štednji, a potrebne pisane upute mogao je besplatno dobiti svaki potrošač.
- Savjetovanje je pojačano i osobnim kontaktima.
- Elektropoduzeće je financijski poticalo projekte za primjenu alternativne energije.
- Ukinute su mnoge regresijske tarife.
- Povećane su bitno tarife pri preuzimanju električne energije iz malih vlastitih pogona.

Elektroprivreda još danas ne može utvrditi efekte provedenih mjera, premda za neke zna da neće imati velikih rezultata. Naprotiv, sigurno se zna da industrija temeljito ispituje mogućnosti štednje energije, no utvrđeno je također da štednja energije u industriji i obrtu redovito izaziva povećanje potrošnje električne energije.

ÖZE, god. 41(1988), br. 5

Mrk.

## **SNIŽENJE NIVOVA VODA NILA ZABRINJAVA**

Egipat pokušava spriječiti nacionalnu krizu zbog pada nivoa Nila u jezeru Naser kod Asuana. Zemlja duguje svoj život rijeci Nilu koji je opskrbljuje vodom za poljoprivredu, industriju i široku potrošnju. Danas elektrana na Asuanu daje 40% električne energije potrebne zemlji. Nivo vode u jezeru Naser pada već 9 godina. U razdoblju 1985 – 1986. godine pad je iznosio 3 m, a 1986 – 1987. oko 10 m. Država se sprema da uvede racionalizaciju potroška vode.

Postoji mišljenje da bi se natapanje moglo provesti racionalnije uz prikladnu drenažu polja. Koristiti bi trebalo i podzemne rezerve vode. Studira se mogućnost izgradnje velike brane blizu Aleksandrije kako bi se smanjio utok vode u Sredozemno more.

Water Power, god. 40(1988), br. 2

Mrk.

## **INTERNACIONALNA KONFERENCIJA O VELIKIM AKUMULATORSKIM BATERIJAMA**

U svijetu sve više raste zanimanje za velike akumulatorske baterije, koje uz tiristorske presmjerivače služe kao sakupljači električne energije za ovladavanje vrhova opterećenja.

Da se izmijene tehnička i ekonomska iskustva o takvim uređajima, organizirana je potkraj 1987. u Berlinu internacionalna konferencija kojoj je prisustvovalo 140 stručnjaka iz 13 zemalja.

Ukupna tematika razmatrana je u 9 radnih grupa. Sadržaj diskusija ukratko je iznesen u daljnjem tekstu.

### **1. Postojeća postrojenja i projekti**

Iznesena su vrlo dobra iskustva o radu triju velikih akumulatorskih baterija kojima se savladavaju vrhovi opterećenja. Spomenuta je baterija 400 kW (360 kWh) ugrađena u SR Njemačkoj u elektrosistem vršne snage 5 MW, baterija 500 kW u Sjevernoj Karolini (SAD) i baterija od 1 MW u Japanu.

U SAD, u južnoj Kaliforniji, u gradnji je akumulatorski uređaj 10 MW/40 MWh, smješten u stanici 220 kV, a ući će u pogon tokom 1988.

Ovakav se uređaj može izgraditi u bilo kojoj veličini u vrlo kratko vrijeme. Time se, uz vrlo brzu regulaciju, može nadomjestiti rotirajuća rezerva i smjestiti na energetske najpovoljnijem mjestu. Baterija ima 5 252 olovne ćelije za koje isporučilac garantira najmanje 2 000 cikla punjenja i pražnjenja. Tiristorski presmjerivač ima faktor iskorištenja od 97%. Predviđa se dvogodišnje ispitivanje gdje će se pratiti spremnost i pouzdanost baterije, te troškovi pogona i održavanja. Ovo će postrojenje, kao prototip, stajati oko 13,5 milijuna USD. Sljedeće takve izvedbe bit će znatno jeftinije, pa se predviđa cijena od 7 000 USD/kW.

### **2. Akumulatorski uređaj 8,5/17 MW — elektropoduzeca Bewag**

Uređaj je stavljen u pogon 1986. i dosad se rad pokazao vrlo uspješnim. Broj članaka iznosi 7080. Za 30 minuta može da-

vati snagu 8,5 MW, a u slučaju energetskog udara i 17,5 MW. Uz pomoć vrlo dobre regulacije tiristorskih presmjerivača služi također za regulaciju frekvencije mreže. (Sudionici skupa su ga posjetili.)

### **3. Ispitne stanice**

U ovoj je grupi referirano o nizu ispitnih stanica u SAD i SR Njemačkoj, gdje se ispituje i uređaj s olovnim, nikal-kadnijevim i natrij-sumpornim ćelijama za potrebe elektroprivrede i velikih potrošača.

### **4. Unapređenje i istraživanje poboljšanja olovnih akumulatora**

Stručnjaci iz Japana, SAD i SR Njemačke iznijeli su kakvo je stanje u pogledu konstrukcije poboljšanih izvedbi olovnih akumulatora. Istaknute su također prednosti olovnih akumulatora bez tekućeg elektrolita.

### **5. Nove vrste baterija**

U ovoj su grupi iznijeti pokušaji da se nikal-kadnijevi akumulatori, iskušani u prometnim sredstvima, primijene u mreži za regulaciju frekvencije. Dan je također pregled stanja na području razvoja baterija s litij-vanadijevim oksidom, litijaluminij-željeznim sulfidom i natrij-sumporom. O baterijama s natrij-metalkloridom, koje su nedavno izumljene, još nema dovoljno podataka.

### **6. Nadzor velikih baterijskih uređaja**

Detaljno su opisani uređaji za nadzor i upravljanje velikih baterijskih postrojenja, u cijelosti prikazanih već u ranijim grupama (SAD, SR Njemačka, Japan). Na bazi mikroprocesora i opće kompjutorizacije dobiva se vrlo mnogo različitih podataka, no postavlja se pitanje što je od toga nužno kako bi se u budućim konstrukcijama smanjio broj informacija, a time i cijena uređaja.

### **7. Primjena i ekonomičnost baterijskog postrojenja**

U ovoj su grupi ponovno istaknute prednosti velikih baterija. Predstavnik iz Japana usporedio ih je s pumpo-akumulatorskim elektranama, ističući fleksibilnost baterija, mogućnost smještaja u gusto naseljena mjesta periferiju mreža. U Južnoj Africi, uz rudnik zlata, izgrađena je baterija od 4 MW koja služi kao energetska rezerva, ali i za izravnanje vrhova opterećenja, regulaciju napona i poboljšanje faktora snage. Općenito je mišljenje da će zbog tehničkog napretka i masovne proizvodnje cijena velikih baterijskih uređaja znatno pasti i bit će ekonomična alternativa za pokrivanje vrhova opterećenja u mrežama srednjeg napona.

### **8. Pomoćni uređaji**

Izmijenjena su iskustva o pomoćnim uređajima, kao provjetravanju, dobavi elektrolita, radu presmjerivača, prigušenju viših harmonika i slično.

### **9. Presmjerivači**

O presmjerivačima, ovom vrlo značajnom elementu baterijskog postrojenja, raspravljala je posljednja grupa. Presmjerivači moraju raditi pouzdano u širokom naponskom rasponu, npr. na mrežnom naponu 25 kV, a na baterijskom 1,6 V do 2,4 V po ćeliji. Prikazano je više koncepcija presmjerivača koji mogu zadovoljiti postavljene zahtjeve pogona.

Elektrizitätswirtschaft, god. 87(1988), br. 11

Mrk.



# ASTRA

**SPONZOR-SUORGANIZATOR  
UNIVERZIJADE '87**

ZAGREB  
JUGOSLAVIJA



## Djelatnosti na vanjskom tržištu:

- izvoz-uvoz kompletnih objekata, postrojenja i opreme za sve grane industrije;
- izvoz-uvoz brodova i aviona;
- izvoz-uvoz poljoprivredno-prehrambenih proizvoda;
- međunarodno trgovinsko posredovanje;
- međunarodna trgovina putem mreže inozemnih firmi i predstavništava;
- zastupanje inozemnih firmi.

## Djelatnosti na unutrašnjem tržištu:

- ugostiteljsko-hotelijska djelatnost putem vlastitih hotela, ugostiteljskih objekata, sportsko-rekreacijskih sadržaja, te prodaja avio-karata i aranžmana putem vlastite turističke agencije;
- prodaja, održavanje i popravak automobila iz programa VOLKSWAGEN-AUDI, te tehnički pregled svih vrsta vozila;

n. sol. o. OOUR-a

41000 ZAGREB, Varšavska 9

Telefon: 041/427-111

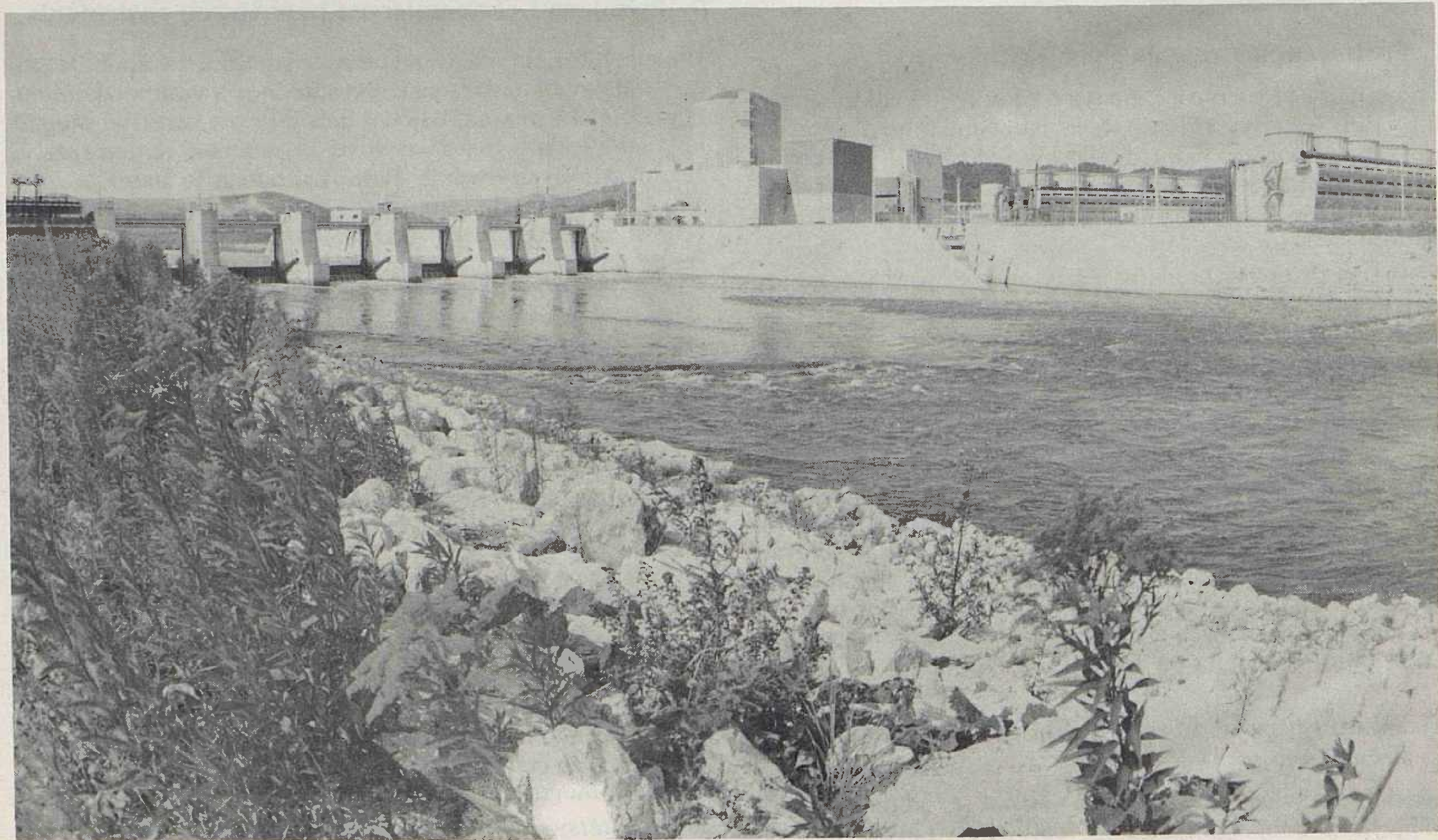
Telegram: ASTRA — ZAGREB

Telex: 21177, 21254 YU MASEX, 21125,  
21281 YU ASTRA

- opskrba poljoprivrede sjemenskom robom, reprodukcijom materijalom, strojevima i alatima;
- opskrba stranih brodova i jahti u domaćim lukama i marinama.

## OSNOVNE ORGANIZACIJE UDRUŽENOG RADA:

- **OOUR ZASTUPSTVO INOZEMNIH FIRMI**, Zagreb, Gajeva 5
- **OOUR MEĐUNARODNA TRGOVINA**, Zagreb, Gajeva 5
- **OOUR MAŠINOIMPEX**, Zagreb Varšavska 9
- **OOUR ZA VANSJKU I UNUTRAŠNJU TRGOVINU POLJOPRIVREDNO-PREHRAMBENIH PROIZVODA**, Zagreb, Harambašićeva 19
- **OOUR AUTOMOBILNE DJELATNOSTI**, Velika Gorica, Zagrebačka bb
- **OOUR UGOSTITELJSTVO**, Stubičke toplice
- **OOUR UGOSTITELJSTVO TOPLICE**, Krapinske Toplice
- **OOUR UGOSTITELJSTVO KUMROVEC**, Tuheljske Toplice



NE KRŠKO za koju je veliki dio opreme uvezla R. O. Mašinoimpex