

UDK 621.31

ENJAAC 38 (1—6) 1—576 (1989)

YU ISSN 0013—7448

# energija

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

Zagreb, prosinac 1989

# SADRŽAJ »ENERGIJE« U 1989. GODINI

	str.	br.		str.	br.
<i>Alerić S.</i> : Metoda za izbor broja agregata (proizvodnih grupa) u hidroelektranama . . . . .	289	4	<i>Milunović M.</i> : Analiza strujnog redukcijskog faktora 110 kV kabela s paralelno položenim bakrenim užetom u zemlji . . . . .	427	5
<i>Cvetković Z.</i> : Elektroprivreda na tržištu . . . . .	187	3	<i>Mužek Z.</i> : 14. kongres Svjetske konferencije za energiju . . . . .	515	6
<i>Darveniza M.</i> : Lightning and Overvoltage Protection . . . . .	407	5	<i>Mužek Z.</i> : Racionalna upotreba energije — tendencije i poruke prakse zemalja OECD-a . . . . .	221	3
<i>Filipović V.</i> — <i>Drezga I.</i> : Aproksimacija dnevnog dijagrama opterećanja elektroenergetskog sustava . . . . .	91	2	<i>Neveščanin J.</i> : Metoda određivanja tehnokonomskih podobnosti primjene i problem prijelaza na adekvatni sistem zaštite od indirektnog dodira u elektrodistribuciji i kod potrošača . . . . .	117	2
<i>Filipović-Grčić B.</i> — <i>Žutobradić S.</i> : Slom napona u EES-u — uzroci i posljedice . . . . .	467	6	<i>Obad M.</i> : Koncept istraživanja veličine i karaktera električnih opterećenja potrošačkih grupa u elektrodistribuciji . . . . .	399	5
<i>Hebel Z.</i> — <i>Pavić I.</i> : Proračun tokova snaga u elektroenergetskim mrežama s nesimetričnim opterećenjem . . . . .	97	2	<i>Potočnik V.</i> : Mogućnosti revitalizacije termoelektrana u SR Hrvatskoj . . . . .	295	4
<i>Ivanović M.</i> — <i>Rausnić T.</i> : Studij elektrotehnike Sveučilišta u Osijeku u funkciji obrazovanja tehničkih kadrova i znanstvenoistraživačkog rada u elektroenergetici . . . . .	9	1	<i>Potočnik V.</i> : Potencijal dopunskih izvora energije SR Hrvatske . . . . .	17	1
<i>Jelavić B.</i> : Srednjoročno planiranje eksploatacije EES-a . . . . .	477	6	<i>Potočnik V.</i> — <i>Jančijev T.</i> : Optimalizacija rada energane pri proizvodnji električne i toplinske energije . . . . .	491	6
<i>Jelavić V.</i> : Odras revizije »Source Terma« na neke sigurnosne aspekte rada Nuklearne elektrane Krško . . . . .	481	6	Radovi Instituta za elektroprivredu u 1989. godini	323	4
<i>Kalan B.</i> : Primjena mikroracunala u termoenergetskim postrojenjima . . . . .	283	4	<i>Sitar I.</i> : Ispitivanje na kratki spoj trofaznog troznamotnog transformatora 20/20/13,34 MVA . . . . .	421	5
<i>Kalea M.</i> : Povezivanje elektroenergetskih sistema postrojenjima istosmjerne struje . . . . .	135	2	<i>Soklič A.</i> : Praćenje potrošnje električne energije i vršne snage u Željezari Jesenice . . . . .	391	5
<i>Krulc Z.</i> : Opasna i ćudljiva munja — neke važne spoznaje i pouke za zaštitu . . . . .	431	5	<i>Šander M.</i> — <i>Plevnik S.</i> : Turbina 70 MW u EL-TO Zagreb — primjer mogućnosti protutlačnog i kondenzacijskog pogona . . . . .	495	6
<i>Kunaj H.</i> : Pristup izradi matematičkog modela za optimalizaciju hladnog kraja termoelektrana . . . . .	37	1	<i>Šimunić J.</i> : Analiza dimenzioniranja izvora istosmjernog razvoda 220 V (110 V) u elektroenergetskim postrojenjima . . . . .	235	3
<i>Mahmutćehajić R.</i> : Frekventna ovisnost parametara podzemnih kabela . . . . .	103	2	<i>Štahan I.</i> : Neki pogledi na održavanje sklopnih aparatura visokog napona . . . . .	309	4
<i>Mahmutćehajić R.</i> — <i>Hajdin S.</i> : Osvrt na razvoj i primjenu SF <sub>6</sub> prekidača . . . . .	313	4	<i>Tomić S.</i> : Elektroprojekt — Zagreb . . . . .	145	2
<i>Mahmutćehajić R.</i> — <i>Hajdin S.</i> : Osvrt na primjenu malouljnih prekidača . . . . .	509	6	<i>Tonković Z.</i> : Razdvajanje sistema UCPTE na zagrebačkom području . . . . .	301	4
<i>Mahmutćehajić R.</i> — <i>Scott Meyer W.</i> : EMTP-Program za simuliranje elektroenergetskih prijelaznih pojava u elektroenergetskim sistemima . . . . .	241	3	<i>Tonković Z.</i> — <i>Jerbić G.</i> : Raspoloživost elektroenergetskog sistema za napajanje vlastite potrošnje nuklearne elektrane na području, »Elektroprivrede Zagreb« . . . . .	31	1
<i>Malbaša N.</i> : Utjecaj ekoloških parametara na planiranje elektroenergetskog sistema . . . . .	193	3	<i>Uglešić I.</i> : Neka saznanja o koordinaciji izolacije oklopljenih postrojenja izoliranih plinom SF <sub>6</sub> . . . . .	25	1
<i>Markovčić B.</i> : Najviši prijenosni naponi danas . . . . .	385	5	<i>Vranković I.</i> : Konvencionalne elektrane s pročišćavanjem dimnih plinova — energetska opcija kraja 20. stoljeća . . . . .	379	5
<i>Matanić D.</i> : Neki aspekti usporedbe velikih generatora pare loženih kamenim ugljenom i lignitom . . . . .	3	1	<i>Vuković V.</i> : Otok tri milje i Černobil . . . . .	215	3
<i>Mihalek E.</i> : Brza i spora kolebanja napona i posljedice za dimenzioniranje niskonaponske mreže i aparata . . . . .	501	6			

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Godište 38 (1989)

Zagreb 1989

Br. 1

Zajednica elektroprivrednih  
organizacija Hrvatske

Institut za elektroprivredu, Zagreb

SIZ za znanstveni rad Hrvatske

## SADRŽAJ

<i>Matanić D.</i> : Neki aspekti usporedbe velikih generatora pare loženih kamenim ugljenom i lignitom (Stručni rad) . . . . .	3
<i>Ivanović M. — Rausnić T.</i> : Studij elektrotehnike Sveučilišta u Osijeku u funkciji obrazovanja tehničkih kadrova i znanstvenoistraživačkog rada u elektroenergetici (Pregledni rad) . . . . .	9
<i>Potočnik V.</i> : Potencijal dopunskih izvora energije SR Hrvatske (Pregledni rad) . . . . .	17
<i>Uglešić I.</i> : Neka saznanja o koordinaciji izolacije oklopljenih postrojenja izoliranih plinom SF <sub>6</sub> (Originalni znanstveni rad) . . . . .	25
<i>Tonković Z. — Jerbić G.</i> : Raspoloživost elektroenergetskog sistema za napajanje vlastite potrošnje nuklearne elektrane na području, »Elektroprivrede Zagreb« (Pregledni rad) . . . . .	31
<i>Kunaj H.</i> : Pristup izradi matematičkog modela za optimalizaciju hladnog kraja termoelektrana (Pregledno saopćenje) . . . . .	37
<b>Vijesti iz elektroprivrede</b> . . . . .	45
<b>Iz strane stručne literature</b> . . . . .	48
<b>Oglasi</b> . . . . .	53

## IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

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 — EDITORIAL BOARD

Glavni urednik - Editor-in-chief: dr Zorko Cvetković, dipl. inž.  
Urednik - Editor: Zdenka Jelić, prof.

Urednici rubrika — Contributing Editors: »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 — Technical Editor: Branko Mališ — Lektor — Linguistic Adviser: Vladimir Strojny, prof. — Metrološka recenzija — Metrologic review: 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 60000 dinara, a za poduzeća i ustanove 150000 dinara (za studente 30000) dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 10000.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišejci — Print: 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
- 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

# NEKI ASPEKTI USPOREDBE VELIKIH GENERATORA PARE LOŽENIH KAMENIM UGLJENOM I LIGNITOM

Dr. Dubravko Matanić, Zagreb

UDK 621.181.1:620.9  
STRUČNI RAD

U članku se uspoređuje veličina kotlova loženih lignitom i kamenim ugljenom i njezin utjecaj na cijenu kotlovskog postrojenja.

**Ključne riječi:** generatori pare, ugljen, dimenzije, investicije.

Dugogodišnji razvoj generatora pare (GP) loženih lignitom doveo je do spoznaja osnovnih zakonitosti kojih se treba pridržavati ukoliko se želi izgraditi GP koji će dati projektne parametre te biti pouzdan u radu. Pritome nije naodmet spomenuti da je razvoj GP za loženje lignitom znatno zaostajao za razvojem GP loženih kamenim ugljenom zato što je intenzivno iskorištavanje lignita kao goriva za GP započelo znatno kasnije.

Termodinamičkim i aerodinamičkim svojstvima GP ložen kamenim ugljenom znatno je bliži GP loženim T-ugljem i z. plinom negoli GP loženim lignitom. Ta je činjenica posljedica osnovnih fizikalno-kemijskih karakteristika kamenih ugljena i lignita. Ligniti su znatno mlađa fosilna goriva od kamenih ugljena i karakterizira ih velik sadržaj vlage i pepela. Pritome su granice u kojima se kreću sadržaji vlage i pepela vrlo široke. Zbog visokih sadržaja vlage i/ili pepela ligniti iskazuju i nisku ogrjevnu vrijednost. U ogrjevnoj ma-

teriji znatan je sadržaj isplinjivih sastojaka (volatila).

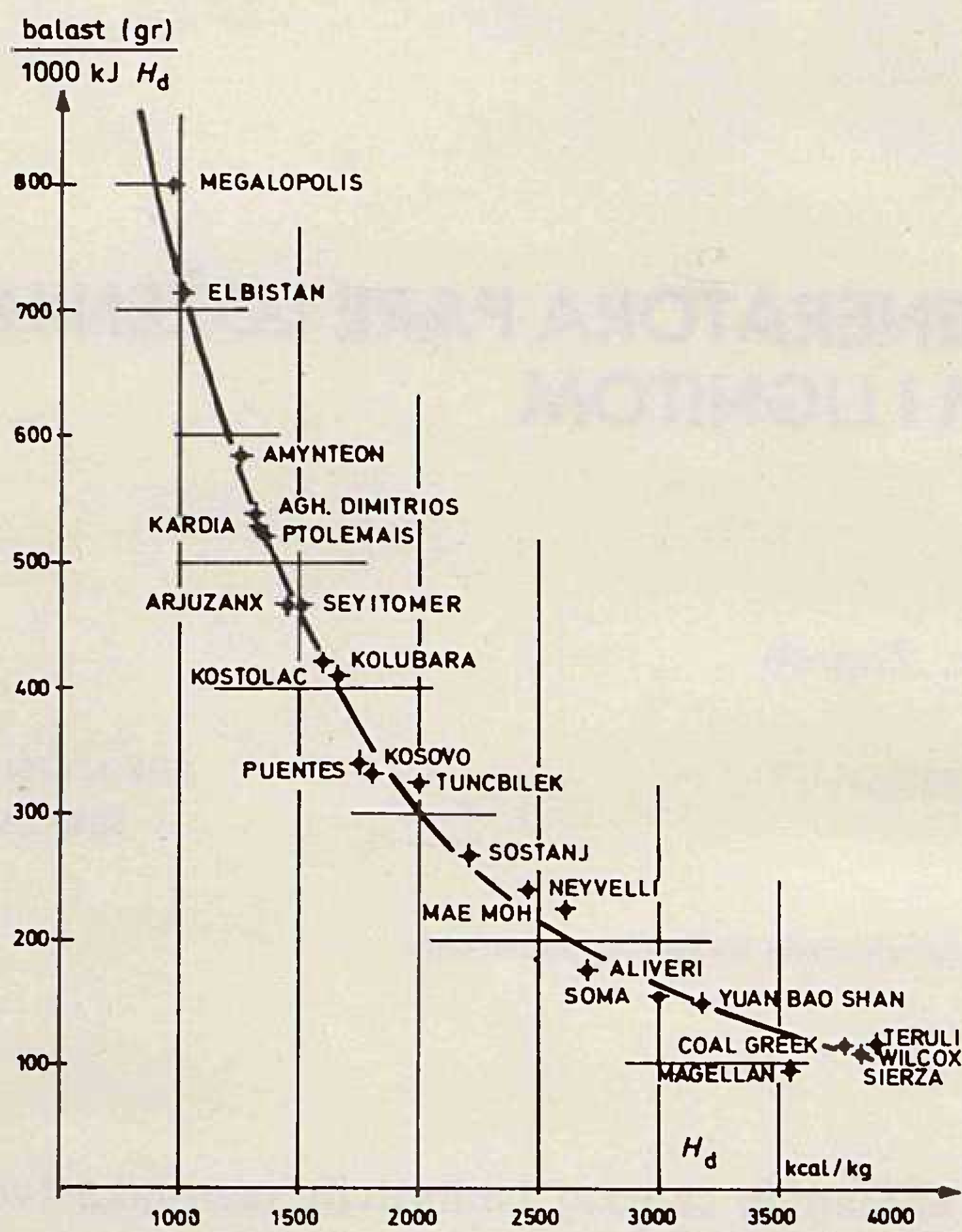
Za ilustraciju velikih razlika među pojedinim lignitima u tablici 1. dane su osnovne karakteristike nekih lignita različitog porijekla. Značajno je napomenuti da se u stranim zemljama (Francuskoj, SRNJ, SAD) pod pojmom lignita (u SRNJ — Braunkohle) podrazumijevaju ugljeni niske kalorične vrijednosti u znatno širem području ogrjevnih vrijednosti negoli kod nas. Pod tim se pojmom redovito obuhvaćaju naši ligniti i mrki ugljeni (za usporedbu, lignit iz Provanca — Francuska iskazuje  $H_d$  i do 20 000 kJ/kg — oko 4 780 kcal/kg).

Osnovni razlog niske ogrjevne moći lignita jest velika količina balasta u gorivu, što se dobro uočava iz dijagrama na sl. 1, na kojem je za neke lignite dana krivulja ovisnosti ogrjevne moći o balastu ( $H_2O +$  pepeo) na 1 000 kJ ogrjevne moći.

Tablica 1. Osnovne karakteristike nekih lignita

		Sadržaj $H_2O$ %	Sadržaj pepela %	$H_d$ kJ/kg	Pepeo <sup>1</sup> g/MJ	Balast <sup>1</sup> g/MJ	Udio ogrjev. moći volatila %
Francuska	Arjuzanx	56/64	6/13	4800/7500	12	110	28
	Provence	8/14	30/38	1380/20000	20	20	47
Grčka	Aliveri	24/33	14/23	10000/13000	16	40	50
	Kardia	52/62	6/26	4400/6000	24	130	29
	Megalopolis	57/63	14/20	3600/4450	38	190	32
Turska	Seyitomer	30/40	30/45	5850/8400	60	110	35
	Elbistan	50/64	8/23	4000/6700	37	175	27
Jugoslavija	Šoštanj	34/45	10/24	8400/11300	18	48	
	Kosovo	38/48	10/22	6300/9200	20	27	
	Kolubara	45/53	10/24	5850/7950	28	34	
					<sup>0</sup> 65		
					80		
					100		
Kina	Yuan Bao Shan	21/31	16/26	11300/15500	16	35	18
Tajland	Mae Moh	28/40	7/30	8400/15800	39	55	38
SAD	North Dakota	35/38	5/7	15700/16300	4	25	34
	Wilcox (Texas)	32/38	8/12	15900/17600	7	25	47

<sup>1</sup> grama pepela ili balasta na 1000 kJ donje ogrjevne vrijednosti u sirovom stanju



Slika 1.

Neki od lignita imaju visok sadržaj sumpora, no to nije njihova specifična karakteristika. Sadržaj pepela u lignitima u znatnoj je mjeri, osim o lokalitetu, ovisan i o načinu kopanja, kao i o načinu separiranja. Kod pojedinih lignita uočeno je da biljke nisu u potpunosti karbonizirane, te je kod takvih ugljena proces mljevenja otežan, a neki dijelovi, tzv. ksiliti, ne izgaraju potpuno u ložištu. Ksiliti su zapravo biljna vlakna koja se nisu potpuno karbonizirala, te su zadržala svoju vlaknastu strukturu. U procesu mljevenja znatan se dio ksilita ne uspije samljati, te ulaze u ložište, gdje zbog kratkog vremena zadržavanja u potpunosti ne izgore.

Radi usporedbe u tablici 2. dane su osnovne karakteristike nekih kamenih ugljena koji se danas mogu nabaviti na svjetskom tržištu. Karakteristično je pri tome da je balast na 1 000 kJ donje ogrjevne moći najkvalitetnijih kamenih ugljena i 30–40 puta manji negoli nekih izrazito loših lignita (Megalopolis, Elbistan).

U nekih se lignita i kamenih ugljena sadržaj pepela znatnije ne razlikuje, no promatra li se na 1 000 kJ donje ogrjevne moći, razlike postaju vrlo velike.

Polazeći od fizikalnih i kemijskih procesa koji se odvijaju u parnom kotlu u procesima pretvorbe kemijski vezane energije u toplinsku izgaranjem organskih spojeva i predaje topline na radni medij, vodu odnosno paru, kotao možemo podijeliti u dvije osnovne cjeline: ložište i konvektivni dio. Pri projektiranju kotla kao cjeline i svakog od njegovih dijelova treba osim uvažavanja fizikalnih i kemijskih procesa koji se u njima odvijaju uvažavati i karakteristike balastnih materijala koje one manifestiraju pri promjenjivim temperaturnim uvjetima i uvjetima strujanja u kotlu.

Pri koncipiranju ložišta GP za spaljivanje lignita treba imati na umu činjenicu da je, unatoč tome što se ligniti lako pale (zbog visokog sadržaja volatila), njihovo izgaranje sporo i potrebno je dugo zadržavanje u ložištu zbog ovih razloga:

- Visok sadržaj pepela u suhom ugljenu usporava širenje i napredovanje plamena, a samim time i intenzitet izgaranja.
- Ostatna vlaga u gorivu i nakon sušenja u toku procesa mljevenja iznosi oko 20%, te usporava proces zagrijavanja čestica ugljena, a samim time i njihovo zapaljenje.
- Visok nivo plinskih komponenti koje se upuhuju u ložište zajedno s gorivom razrjeđuje koncentraciju čestica prašine u plinskom volumenu, što također pridonosi usporavanju rasprostiranja plamena i procesa izgaranja. U gorače se osim zraka za izgaranje upuhuje i vodena para nastala sušenjem ugljena u procesu mljevenja i u toku transporta ugljene prašine do gorača. Također se upuhuju i produkti izgaranja koji se uzimaju s vrha ložišta i vode u mlin upravo radi sušenja.

Rezultat svega toga jest izgaranje s relativno niskim temperaturama i sa slabim (mlitavim) plamenom. To, svakako, smanjuje opasnost od sljepljivanja pepela i stvaranja gromada pepela i šljake, no u određenim uvjetima može doći do porasta lokalnih temperatura u zoni velikih koncentracija goriva, naročito kod indirektnog loženja, pri kojem su procesi sušenja, transporta i mljevenja odvojeni od procesa loženja posebnim bunkerom za ugljenu prašinu.

Zbog navedenih su razloga toplinska opterećenja ložišta niska (opterećenje volumena ložišta, presjeka ložišta, zone gorača), niske su i izlazne temperature u ložištu — 1 100–1 000 °C, a malen je i dio topline što se preda GP u ložištu.

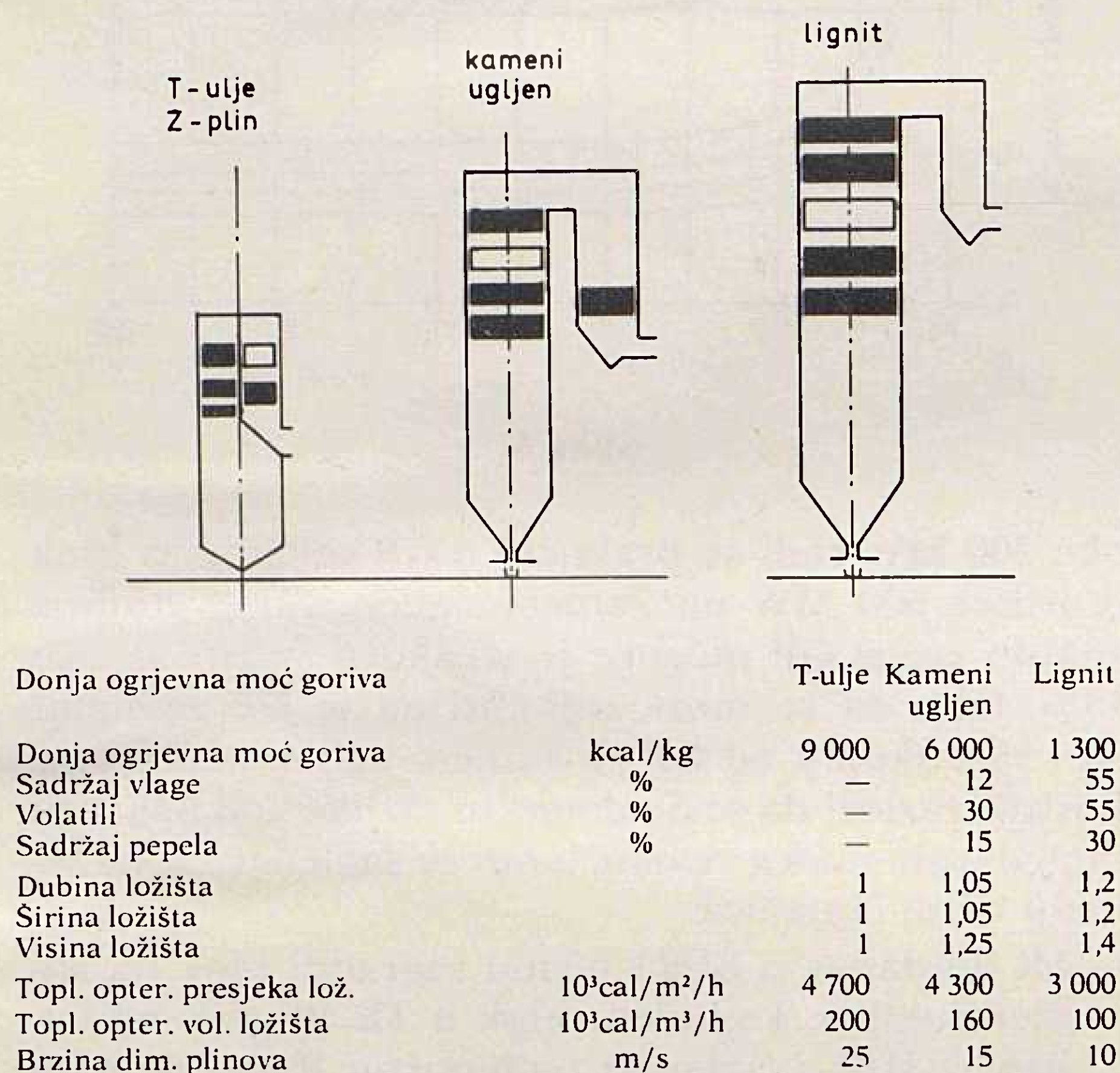
Tablica 2. Osnovne karakteristike nekih kamenih ugljena

PORIJEKLO	Sadržaj H <sub>2</sub> O %	Sadržaj pepela %	H <sub>d</sub> kJ/kg	Pepeo <sup>1</sup> g/MJ	Balast <sup>1</sup> g/MJ	Udio ogrjev. moći volatila %
Poljska	6/8	5/7	28900	2	4,5	30/35
J. Afrika	11/13	6/9	24700	3	8	28/30
Kolumbija	8/9	13/16	25100	6	10	23/27
Australija	9	8	27650	3	6	35
SAD	9	max. 13	H <sub>g</sub> = 2760	5	9	19
	8	18	25300	7	10	6/7
	9/14	22	24700	9	13	14/20

<sup>1</sup> grama pepela ili balasta na 100 kJ donje ogrjevne moći

Dok su kod GP loženih kamenim ugljenom opterećenja volumena ložišta do  $670 \text{ MJ/m}^3\text{h}$  ( $160\,000 \text{ kcal/m}^3\text{h}$ ), kod GP loženih lignitom to iznosi svega  $420 \text{ MJ/m}^3\text{h}$  ( $100\,000 \text{ kcal/m}^3\text{h}$ ), a često i niže, što je upola manje negoli pri loženju T-uljem ili plinom.

Posljedica je znatno veći volumen ložišta GP izvedenih za izgaranje lignita. Zorni prikaz veličina GP za pojedine vrste goriva s pripadajućim podacima dan je na sl. 2, te je uočljiva velika razlika između GP dimenzioniranog za lignit i kameni ugljen, a posebno u odnosu na onaj za T-ulje i/ili plin.



Slika 2.

Govori li se o potrebnim konvektivnim ogrjevnim površinama i tu su razlike između GP loženih lignitom i kamenim ugljenom vrlo velike zbog ovih razloga:

- Visoki sadržaj pepela u gorivu kod lignita povećava abrazivnost plinske struje te se zbog toga u konvektivnom dijelu koriste i manje brzine strujanja, oko  $10 \text{ m/s}$ , dok je kod GP za kameni ugljen to  $15 \text{ m/s}$ , a za T-ulje i/ili z. plin  $25 \text{ m/s}$ . Ta činjenica ima dvostruko djelovanje na povećanje volumena konvektivnog dijela; manje brzine znače povećanje presjeka promaje, a istovremeno su smanjeni i koeficijenti prijelaza topline sa strane dimnih plinova.
- Zbog visokog sadržaja pepela i povećanih opasnosti od stvaranja naslaga na cijevima i zatrpavanja prolaza dimnih plinova u kotlovima na lignit povećavaju se razmaci između cijevnih vijuga konvektivnih površina i do  $100\%$  u odnosu na kameni ugljen. Isto tako se redovito izbjegava šahovski raspored cijevi, što pridonosi daljnjem smanjenju koeficijenta prijelaza topline.
- Prosječne izlazne temperature dimnih plinova iz ložišta na lignit niže su za oko  $100^\circ\text{C}$  negoli kad se loži kamenim ugljenom. Budući da su izlazne temperature iz GP u oba slučaja praktički iste, to su

prosječne temperature dimnih plinova u konvektivnom dijelu pri loženju lignitom niže negoli pri loženju kamenim ugljenom, što znači daljnje povećanje ogrjevnih površina.

- Pri loženju lignitom veći dio ukupno dovedene topline u ložište preda se u konvektivnom dijelu GP negoli kod GP loženom kamenim ugljenom, iako je ložište GP na lignit veće zbog nižih temperatura u ložištu i slabijeg zračenja.

Sumirajući rečeno o dimenzioniranju ložišta i konvektivnih ogrjevnih površina, evidentno je da su GP za loženje lignita u pravilu znatno veći od onih za loženje kamenog ugljena, dakako kada se uspoređuju GP istog učina.

Prema analizama provedenim za niz raznih veličina blokova [1] omjeri ogrjevnih površina GP za razne vrste goriva iznose:

	T-ulje	Kameni ugljen	Lignit
Obuhvatne cijevne stijene	1	1,82	2,07
Konvektivne površine	1	1,17	2,42
Ukupne ogrjevne površine	1	1,29	2,38

Treba napomenuti da se do ovih rezultata došlo uz pretpostavku korištenja lignita s ogrjevnom moći od  $6\,900 \text{ kJ/kg}$  ( $\approx 1\,650 \text{ kcal/kg}$ ) i kamenog ugljena od  $26\,000 \text{ kJ/kg}$  ( $\approx 6\,200 \text{ kcal/kg}$ ).

Iz navedenih podataka očito je da se pri dimenzioniranju ložišta, i onog na kameni ugljen i onog na lignit, treba računati sa znatno nižim toplinskim opterećenjima ložišta negoli kod T-ulja, što se uostalom i spoznalo u praksi. Konvektivne ogrjevne površine znatno se povećavaju kod lignita u odnosu na ostala dva goriva iz već spomenutih razloga.

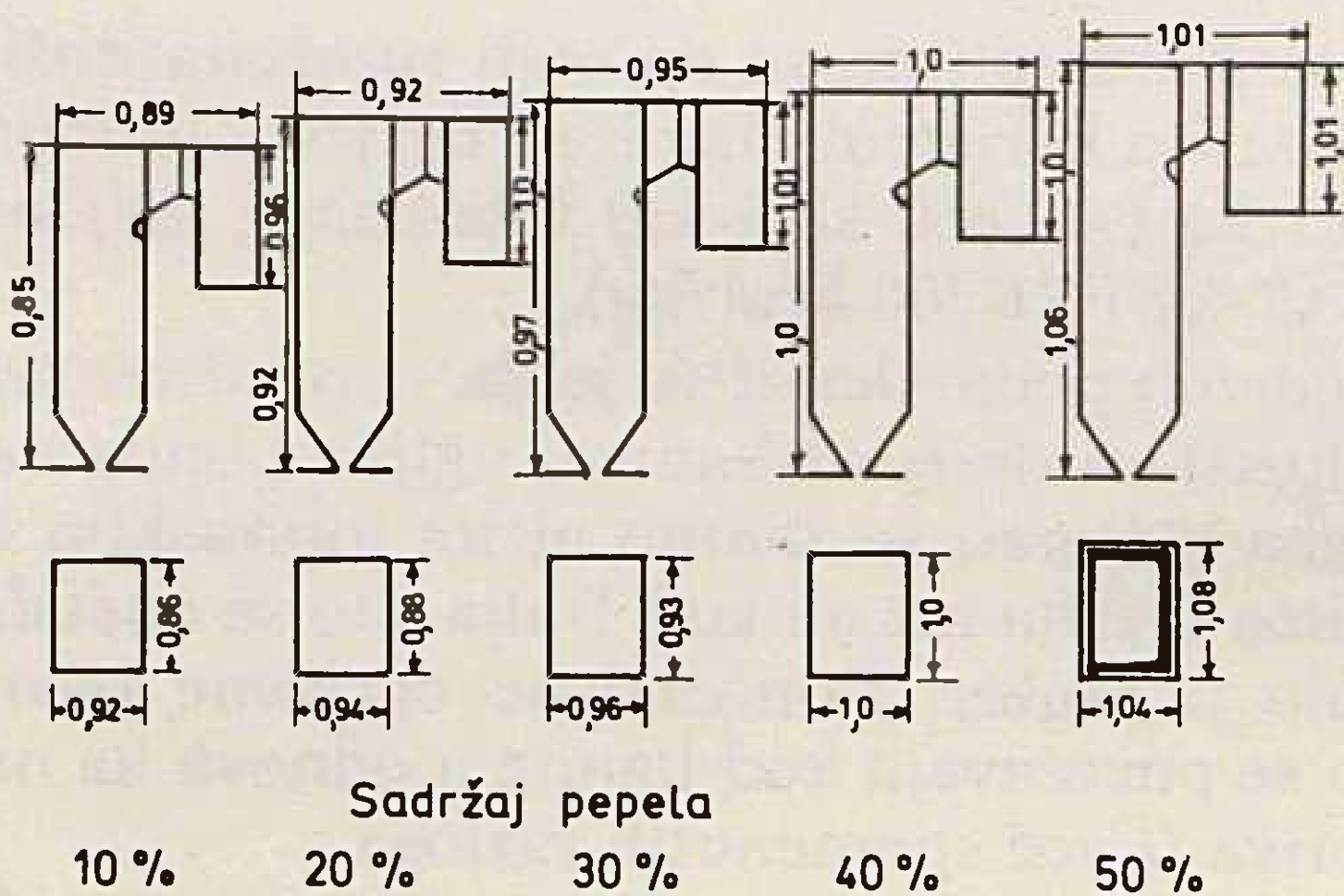
Egzaktan pristup dimenzioniranja GP za razne vrste goriva zahtijevao bi postepeno povećavanje toplinskog opterećenja ložišta smanjenjem količine balasta u gorivu, te bi se na taj način, ali postupajući isto tako konzekventno i s konvektivnim ogrjevnim površinama, zapravo mogao realizirati kontinuirani prijelaz u dimenzioniranju od lignita do kamenih ugljena. To, međutim, nije moguće zbog dva razloga:

- Uz određeni sadržaj balasta u lignitu (vlaga + pepeo), na eksploatacijsko ponašanje GP, odnosno na dimenzioniranje ogrjevnih površina, znatno utječu i svojstva pepela u gorivu u pogledu sklonosti sinterovanju, omekšanju i lijepljenju na ogrjevne površine. Često su ta ponašanja nepredvidiva.
- Za niz različitih prijelaznih sadržaja balasta iz iskustva bi se trebale poznavati dovoljno pouzdane vrijednosti toplinskog opterećenja ložišta, kao i zadovoljavajući razmaci između cijevnih vijuga za razne ogrjevne površine. Današnja praksa u osnovi ima izgrađen stav o tim osnovnim parametrima za dimenzioniranje ložišta za dva osnovna kruta goriva, a to su kameni ugljen i lignit.

Ima pokušaja da se nađu određene zakonitosti i za prijelazne ugljene [3], te su na sl. 3. dani odnosi veličine gabarita GP u ovisnosti o sadržaju pepela. Osnovna je zamjerka ovom pristupu da sadržaj pepela nije dovoljan parametar za takvo dimenzioniranje i da se sadržaj vlage ne može pritom zanemariti,

kao ni karakteristike samog pepela u pogledu omekšavanja i njegova lijepljenja pri raznim temperaturama. Takvim pristupom bi npr. kosovski lignit zapravo zahtijevao relativno maleno ložište, ali u praksi nije tako. Logičnijim bi se parametrom stoga mogao smatrati sadržaj balasta u gorivu ( $W + A$ ) koji zapravo bitno utječe na procese izgaranja.

Također, izuzetno značajan utjecaj na dimenzioniranje ložišta iskazuje i sastav pepela ugljena. Iako tu nema do danas definiranih pouzdanih metoda za egzaktno određivanje intenziteta prljanja, ipak su poznati neki osnovni utjecaji na povećanu ili smanjenu sklonost zašljakivanju ogrjevnih površina, a to direktno utječe na dimenzioniranje i ložišta i konventivnih površina. Tako npr. rastu predispozicije za zašljakivanje s porastom sadržaja  $CaO$ ,  $MgO$ , i  $SO_3$ .  $Al_2O_4$  i  $SiO_6$  smanjuju sklonost zašljakivanju, iako su moguća i određena odstupanja prema tome u kojim se omjerima nalaze pojedine komponente u smjesama i kako su smješteni eutektikumi koji redovito donose niže temperature taljenja pepela od čistih komponenti smjesa.



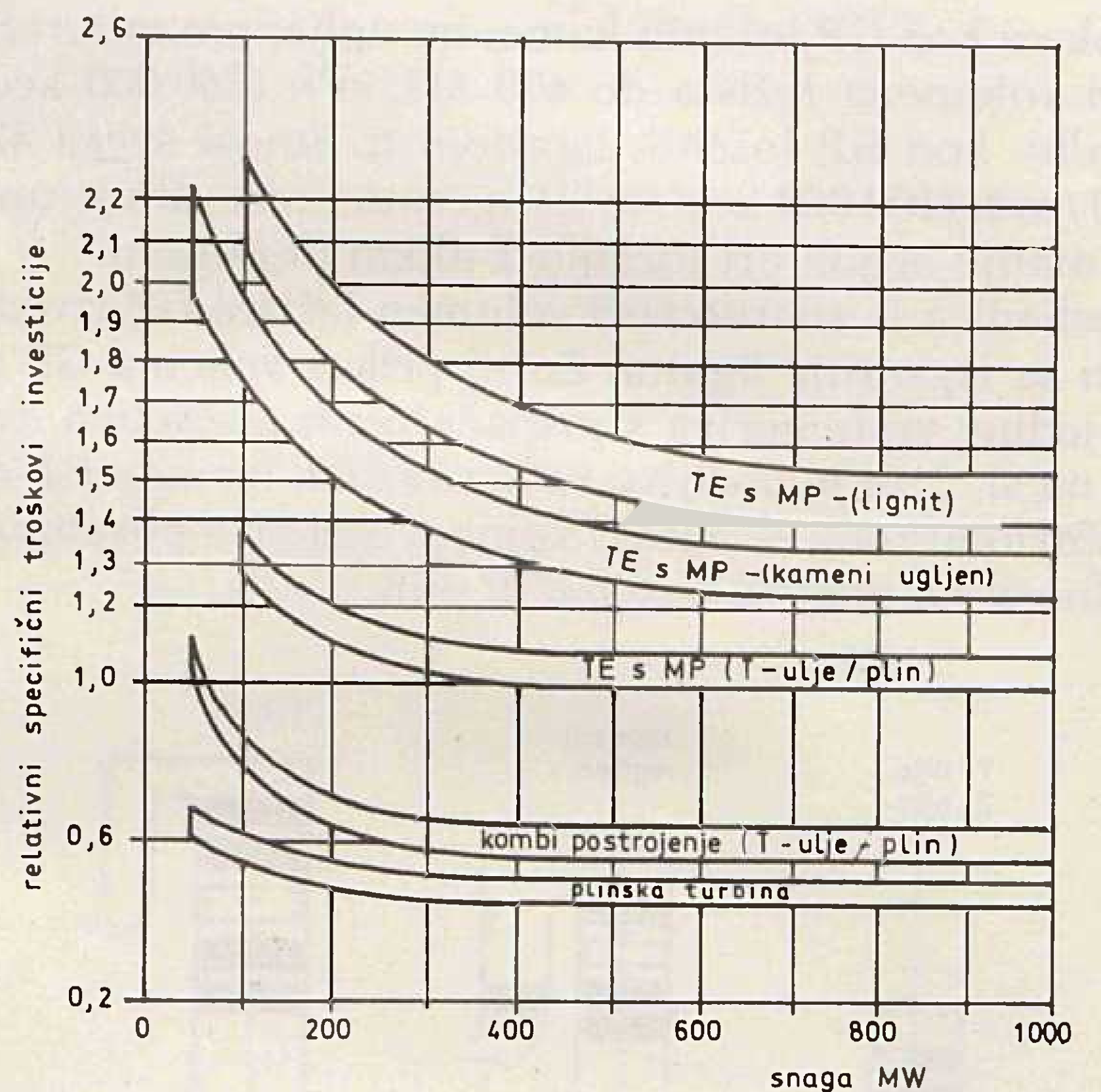
Slika 3.

Uspoređujući za naše potrebe odnose veličina kotlovske jedinice za lignit i kameni ugljen, iz tablice proizlazi da su ogrjevne površine GP loženog lignitom za oko 83% veće od ogrjevnih površina GP loženog kamenim ugljenom, pri čemu oko 18% ogrjevnih površina otpada na obuhvatne cijevne stijene. Kada se govori o troškovima gradnje, treba imati na umu dvije činjenice:

- Najveći dio troška GP predstavlja tlačni sistem GP. Za njega se koriste najkvalitetniji materijali, a danas to čini i veći dio ukupne težine GP.
- GP na svjetskom tržištu prodaju se po kg, tako da povećanje ogrjevnih površina praktički znači i proporcionalno povećanje cijene GP.

Imajući to na umu, prema već rečenom, GP na lignit bili bi supljiji od GP na kameni ugljen za 80%. To, međutim, ne daje pravi odnos cijena jer se s porastom veličine GP ostvaruju specifično niže cijene blokova, ali samo do stanovitih veličina blokova, kako je to i prikazano na sl. 4.

Sasvim je realna pretpostavka da sličan trend vrijedi i za GP jer je to najveći dio ukupnog postrojenja i da je dana tendencija smanjenja specifične cijene blokova upravo posljedica istog kod GP i turboagregata. Prema tome, pri gradnji GP na lignit za blok snage



Slika 4.

oko 300 MW radi se praktički o GP veličine za blok otprilike 600 MW na kameni ugljen. Zbog gradnje znatno većeg GP moguće je troškove sniziti za oko 15%, tako da se može ocijeniti da je GP za lignit 50–55% skuplji od GP za kameni ugljen iste snage. Postoje razlozi da se do danas te razlike kod nas nisu sagledavale ovako visoko, a oni se sagledavaju na temelji dviju činjenica:

- Mi do danas u SFRJ nismo sagradili blok na kameni ugljen. Izgrađeni blok u TE Plomin na ugljen iz IUR-a (Istarski ugljenokop Raša) ne daje uvid u stvarne troškove GP na kameni ugljen zbog sasvim specifičnih svojstava pepela raškog ugljena. Inače taj GP je najbolji primjer koji pokazuje koliko utječu svojstva pepela na dimenzioniranje GP. Iako po kaloričnoj vrijednosti kameni ugljen otprilike 25 000 kJ/kg (6 000 kcal/kg) dosadašnja iskustva su potvrdila da se GP za taj ugljen treba dimenzionirati kao za lignit.
- U našoj dosadašnjoj praksi pri definiranju ulaznih podataka za dimenzioniranje GP evidentna je bila stalna težnja za prikazivanjem boljih svojstava domaćih ugljena od stvarnih, iako su upravo ona najlošija moguća svojstva ugljena mjerodavna za dimenzioniranje GP. To je jasno rezultiralo značajnim pogonskim problemima pri radu s lošijim kvalitetama od onih za koje je GP bio projektiran.

Iz te dvije činjenice zapravo proizlazi tvrdnja da u domaćoj praksi nismo mogli usporediti odnose GP za kameni ugljen i lignit, iz jednostavnog razloga što nismo zapravo gradili GP reprezentativne za ove dvije vrste goriva, iako su posljednjih godina izgrađeni blokovi (Kosovo B i Obrenovac B) stvarno dimenzionirani za domaće lignite.

Upotreba lignita u TE osim povećanih troškova za izgradnju GP također traži i druga povećana investicijska ulaganja, i to u povećani deponij ugljena, transportni sistem od deponija do bunkera povećanog kapaciteta, veće bunkere, dodjeljivače, mlinove, od-



šljakivač i elektrofiltre. Nije moguće sasvim općenito odrediti odnose koji vrijede za ovu opremu jer oni veoma ovise o samom ugljenu, a tu su i kod lignita moguće znatne razlike. Ako se kao osnovne vrijednosti prihvate ogrjevne vrijednosti lignita od 8 400 kJ/kg (otprilike 2 000 kcal/kg) i kamenog ugljena 25 000 kJ/kg (oko 6 000 kcal/kg), tada sva oprema i uređaji na liniji istovar ugljena — skladište — mlino- vi — gorači mora biti za lignit otprilike 3 puta većeg kapaciteta. Na liniji transporta pepela i šljake to ne mora biti tako jer to ovisi o udjelu pepela u šljaci odabranih goriva, ali se taj omjer 3 neće znatno promijeniti zbog tri put veće količine goriva pri izgaranju lignita. Iz tablica 1. i 2. evidentno je da se sadržaj pepela i pri upotrebi lignita i kamenog ugljena kreće u dosta širokim granicama, ali da su te granice praktički iste i iznose 5–25%. Karakteristično je, međutim, da je sadržaj pepela kod lignita ipak u prosjeku nešto veći, ali da su granice u kojima se to kreće za određeni lignit šire, tj. balast lignita varira u širokim granicama dok je kameni ugljen kao gorivo »stabilniji«.

Imajući na umu udio cijene opreme za transport ugljena unutar TE, kao i opreme za transport pepela, može se prihvatiti ocjena da je kotlovsko postrojenje za loženje lignita 50–55% skuplje od postrojenja za loženje kamenog ugljena. Na taj je način moguće odrediti i povećanje specifične investicijske cijene za blokove ložene lignitom, kako je to i dano dijagramom na sl. 4.

## LITERATURA

- [1] SEEFELDT K. F., WALDMANN H.: »Grenzleistungsprobleme bei fossil gefeuerten Grossdampfzeugern«, VGB Kraftwerkstechnik, 1975, H.8, 1975, H.9.
- [2] Lignite fired steam generators-main characteristics and experience, Stein industri

- [3] SHARAN, H. N., VASUDEVAN R.: »Forschungsergebnisse ueber Kohleverwendung in Kraftwerken«, VGB Kraftwerkstechnik, 1980, H.4.
- [4] THELEN F.: »Einfluss der Feuerraumgestaltung auf das Betriebsverhalten trocken-gefeuerter Dampferzeuger«, VGB Kraftwerkstechnik, 1977, H.12.
- [5] WIEHN H., MARTIN H., SCHUSTER H.: »Trends und Loesungen im internationalen Dampferzeugerbau«, VGB Kraftwerkstechnik, 1985, H.,12.

### SOME COMPARISON ASPECTS OF LARGE STEAM GENERATORS FIRED WITH STONE COAL AND LIGNITE

In the paper are elaborated dimensions of steam generators fired with stone coal and lignite as well as impact on the price of boiler.

### EINIGE ASPEKTE GROSSER DAMPFGENERATOREN, BEHEIZT MIT STEIN UND BRAUNKOHLE

Im Artikel wird die Größe der mit Braun und Steinkohle beheizter Kessel beschrieben, sowie ihr Einfluß auf den Preis der Kesselanlagen.

### НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ КРУПНЫХ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ, ОТАПЛЕВАЕМЫХ КАМЕННЫМ УГЛЕМ И ЛИГНИТОМ

В статье отрабатаны размеры котлов, отапливаемых лигнитом и каменным углем и их влияние на стоимость котельных.

Naslov pisca:

**Dr. Dubravko Matanić, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu, 41000**  
**Zagreb, Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis  
 1988–09–26

# 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

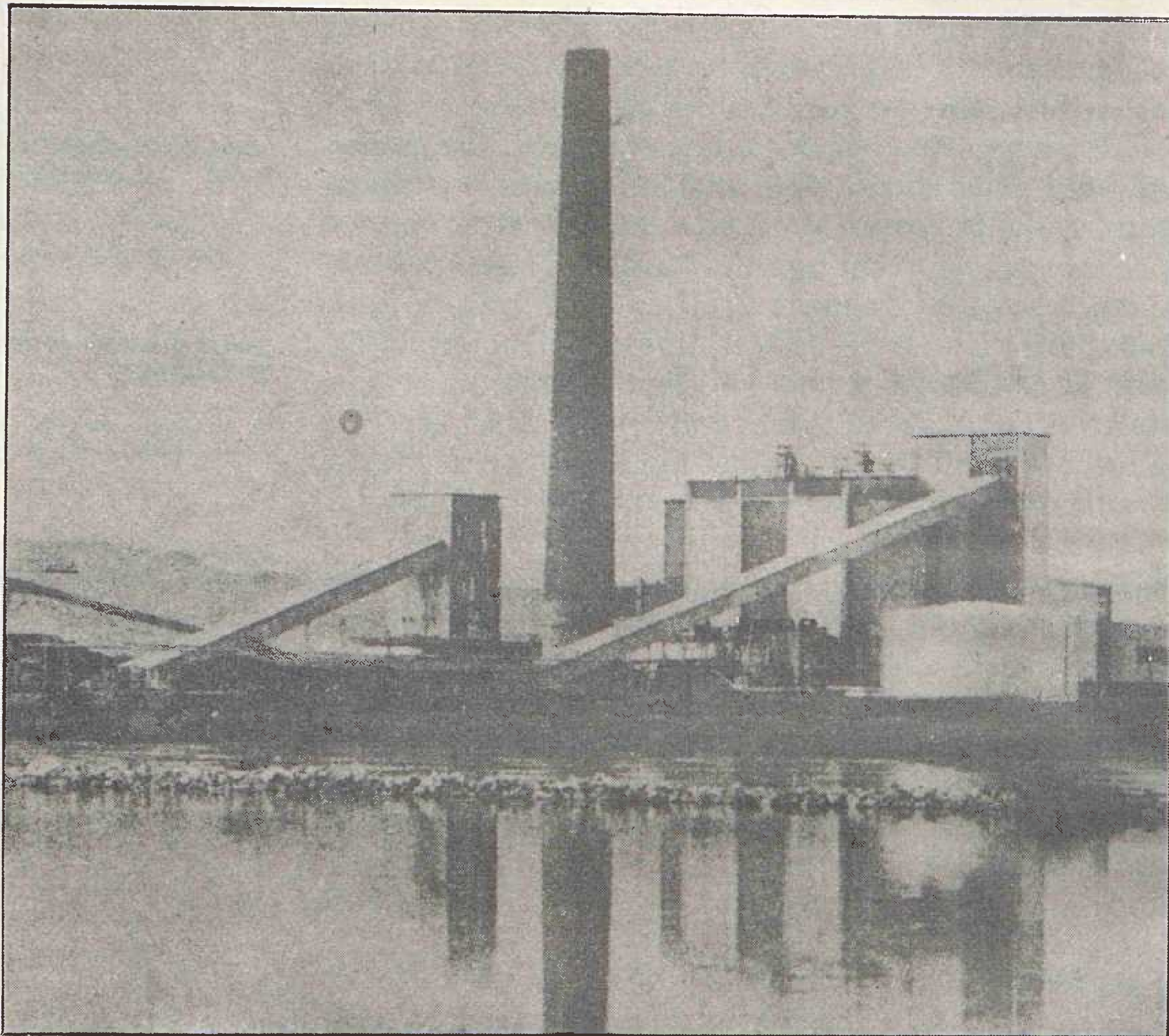
## Projektira

## 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 • hidrofere • 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 pipce • 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

# STUDIJ ELEKTROTEHNIKE SVEUČILIŠTA U OSIJEKU U FUNKCIJI OBRAZOVANJA TEHNIČKIH KADROVA I ZNANSTVENOISTRAŽIVAČKOG RADA U ELEKTROENERGETICI

Mr. Milan Ivanović — mr. Tihomil Rausnic, Osijek

UDK 621.3:37  
PREGLEDNI RAD

Članak vrlo pregledno rezimira rezultate rada i probleme daljeg razvoja studija elektrotehnike u Osijeku.

**Ključne riječi:** Sveučilište u Osijeku, tehnički kadrovi, obrazovanje, znanstvenostručni rad.

## 1. UVOD

Prošlo je desetljeće od osnivanja Studija elektrotehnike — jedne od prvih samostalnih visokoškolskih institucija tehničkih nauka u Osijeku. Prijedena je vrlo značajna etapa u kojoj su rječavani mnogobrojni problemi nastajanja visokoškolske ustanove: okupljanje znanstveno-nastavnog kadra, stvaranje materijalnih uvjeta za rad i razvoj, rješavanje mnogobrojnih pravno-administrativnih pitanja, počeci stvaranja znanstvenoistraživačke jezgre u elektrotehničkim naukama, nastojanje da se povežu znanost i privredna praksa i drugo.

Kada se govori o pitanjima rada i razvoja Studija elektrotehnike u Osijeku, moraju se navesti neka osnovna kretanja u privrednom razvoju ovog dijela regije i Republike. Općina Osijek već duži niz godina zaostaje u privrednom razvoju u odnosu na prosjek slavonsko-baranjske regije (čiji je Osijek centar), a također i na prosjek SR Hrvatske. Naročito zabrinjava zaostajanje u industrijskom razvoju.<sup>1</sup> Iste ocjene vrijede i za područje slavonsko-baranjske regije koja zaostaje u privrednom i industrijskom razvoju u odnosu na prosjek Republike. Broj i struktura stručnih kadrova općine — ali i cijele slavonsko-baranjske regije — pokazuje da je ovo područje Republike vrlo deficitarno kadrovima iz tehničkih nauka — strojarstva i elektrotehnike.<sup>2</sup> To je, svakako, jedan

od važnih razloga zaostajanja industrije i privrede Osijeka i slavonsko-baranjske regije. S takvom tehničkom kadrovskom osnovom ne može se objektivno planirati privredni razvoj, a komoli uključivanje u tehnološka kretanja suvremenih društava u Evropi. Valja naglasiti da nepovoljnom kadrovskom osnovom u sektoru elektrotehnike nije ugrožena samo postojeća ili eventualno i neka planirana industrijska proizvodnja u oblasti elektrometalne industrije — već je (suvremenim tehnološkim razvojem i sve većom automatizacijom proizvodnje) ugrožena i sva ona tradicionalna industrija Osijeka i regije — koja je u nekim sektorima bila i prirodna (a ne samo komparativna) prednost. To znači da ubuduće neće biti stručnog kadra da pravilno ocjenjuje potrebu osuvremenjavanja procesa proizvodnje, a kamoli da zna izabrati neku od ponuđenih tehnologija; da ne govorimo o kupovini najsuvremenijih strojeva kojima se ne zna rukovati. Primjera za ustvrđeno ima na području regije dovoljno. Isto tako, slavonsko-baranjska regija može se ubrojiti u područja s energetske intenzivnim industrijama, a bez dovoljnog broja kadrova za ovo tehničko područje.<sup>3</sup>

S ovih polazišta valja razmatrati dosadašnje djelovanje i okvire budućeg razvoja Studija elektrotehnike u Osijeku.

<sup>1</sup> Učešće općine Osijek u narodnom dohotku SRH 1966. godine iznosilo je 3,99%, 1970. godine 3,84%, 1980. godine 3,72%, a 1984. godine 3,50%. Industrija općine Osijek sudjelovala je u DP industrije SRH u 1966. godini sa 4,46%, 1970. godine sa 4,19%, 1980. godine sa 3,73%, a 1984. godine sa 3,1%. Važno je upozoriti i na strukturu društvenog proizvoda industrije Osijeka (koja je 1984. godine činila 32% DP privrede općine); 8 industrijskih grana intenzivnih sa energetske ili sirovinske potrošnjom daje čak 47% DP industrije Osijeka, 4 industrijske grane koje su izrazito radno intenzivne daju 23% DP, a 7 industrijskih grana u kojima je relativno visoko učešće znanja — daje tek 30% društvenog proizvoda općine Osijek (sve prema podacima SGH i SGO).

<sup>2</sup> Godine 1981. u općini Osijek bilo je zaposleno 911 dipl. ekonomista, 132 dipl. inž. strojarstva i 148 dipl. inž. elektrotehnike. Prema istom izvoru (RZS) 1981. godine na području regije bila su zaposlena 2 394 dipl. ekonomista, 677 dipl.

inž. strojarstva i samo 303 dipl. inž. elektrotehnike. Važno je naglasiti da, na primjer u Osijeku, više od 80% dipl. inž. elektrotehnike radi u »Elektroslavoniji«, PTT poduzeću i nekoliko projektantskih organizacija, a ostalih 20% u proizvodnim OUR-ima. Godine 1985. na području regije bilo je zaposleno 775 dipl. inž. strojarstva i 413 dipl. inž. elektrotehnike što je 9,4% od broja zaposlenih sa VSS na području regije (GZO Zagreb = 14,1%; ZO Rijeka = 15,0%; ZO Split = 13,1%).

<sup>3</sup> Ljevaonice, ciglane, cementara, proizvodnja papira, šećerane.

## 2. OSNIVANJE I DJELOVANJE STUDIJA ELEKTROTEHNIKE SVEUČILIŠTA U OSIJEKU

### 2.1. Osnivanje

Osnivanje Studija elektrotehnike u Osijeku proizašlo je nakon niza akcija Sveučilišta i Elektrometalskog školskog centra u Osijeku, privrednih organizacija Osijeka (»Elektroslavonije«, Osijek; OLT-a Osijek; Kombinata Belišće, Kombinata Borovo i drugih), te gravitirajućih općina na području slavonsko-baranjske regije, kao i odgovarajućih samoupravnih interesnih zajednica u oblasti usmjerenog obrazovanja u toku 1977. i 1978. godine.

Studij je osnovan s ciljem da (dvogodišnjim školovanjem) stvori uvjete za poboljšanje i izmjenu dijela kadrovske strukture u privredi ovog dijela Republike — gdje su evidentno nedostajali tehnički obrazovni kadrovi, a posebno profil (uvjetno nazvan) procesno inženjerstvo u području elektrotehnike.

Sredinom 1978. godine privedene su kraju organizacione pripreme, te je početkom školske godine 1978/79. Studij započeo s radom u vidu interfakultetskog djelovanja.<sup>4</sup> Potrebna odobrenje za rad — od nadležnih republičkih organa — Studij elektrotehnike je dobio 1979. godine. Početkom 1981. godine Studij stiče status samostalne visokoškolske ustanove, a od 15. 1. 1982. godine djeluje kao OOUR u okviru Elektrometalskog školskog centra u Osijeku.

Nakon stupanja na snagu Zakona o usmjerenom obrazovanju (sredinom 1982. godine) slijede akcije da se ispune uvjeti propisani za znanstveno-nastavne organizacije. To je postignuto tek četiri godine kasnije. Rješenjem Republičkog komiteta za prosvjetu, kulturu, fizičku i tehničku kulturu (1986. godine) utvrđeno je da OOUR Studij elektrotehnike ispunjava uvjete za rad prema Zakonu o usmjerenom obrazovanju kao znanstveno-nastavna organizacija usmjerenog obrazovanja za organiziranje i izvođenje programa usmjerenog obrazovanja za stjecanje stručne spremlje šestog stupnja (VI/1) za profil »inženjer elektrotehnike« smjer elektroindustrijski. Rješenjem Republičkog komiteta za znanost, tehnologiju i informatiku (1987. godine) Studij elektrotehnike upisan je u Registar znanstvenoistraživačkih organizacija.

### 2.2. Obrazovna djelatnost

Nastavni program Studija elektrotehnike je koncipiran u skladu s Programom Više tehničke škole »Rade Končar« — Zagreb, a prema sugestijama privrednih organizacija Osijek i regije i Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu, kao i u skladu s kadrovskim i materijalnim mogućnostima. Nastavni program je nakon prve dvije godine rada Studija korigiran (opet prema stavovima stručnjaka iz privrednih organizacija i uz pomoć Elektrotehničkog fakulteta iz Zagre-

ba) te od školske godine 1981/1982. do danas namijenjen je obrazovanju inženjera elektrostrojarstva (VI/1 stupanj stručne spremlje). Nastavni program je također usklađen 1987/1988. školske godine s novim tehnološkim kretanjima.

U proteklih 10 godina na Studiju elektrotehnike upisano je ukupno 1473 studenata (prema planu upisa od 1540), i to 1135 redovna studenata i 338 izvanrednih studenata. To po godinama pokazuju podaci u tablici 1:

Tablica 1. Upisani studenti I. godine na Studiju elektrotehnike Sveučilišta u Osijeku

Školska godina	Plan upisa	Upisano		
		Redovnih	Uz rad	Ukupno
1978/79.	160	106	—	106
1979/80.	160	108	—	1908
1980/81.	160	82	125	207
1981/82.	160	115	62	177
1982/83.	150	114	45	159
1983/84.	150	105	50	155
1984/85.	150	119	37	156
1985/86.	150	116	19	135
1986/87.	150	125	—	125
1987/88.	150	145	—	145
1988/89.	150	161	—	161
Ukupno	1690	1296	338	1634

Prvih godina djelovanja Studija elektrotehnike gotovo 80% upisanih studenata bilo je iz Osijeka. Analiza provedena za šk. godinu 1986/87. pokazala je da je 30% redovitih studenata iz Osijeka, 30% iz bližih i 18% iz ostalih općina slavonsko-baranjske regije, a 22% iz drugih regija u SRH, SAP Vojvodine ili SR BiH. Gledano prema socijalnom statusu roditelja redovnih studenata, 47% studenata je iz radničkih obitelji, 9% iz obitelji poljoprivrednika, 20% je iz službeničkih obitelji, 10% studenata potječe iz umirovljeničkih obitelji ili su im roditelji na privremenom radu u inozemstvu, a 14% studenata je iz obitelji roditelja sa VSS ili VŠS. Ti podaci dovoljno govore o opravdanosti osnivanja studija tehničkih znanosti (s aspekta mogućnosti školovanja najširih socijalnih kategorija stanovništva), kao što na neki način govore i o otvorenosti, odnosno o ugledu Studija u izvanosječkim i izvanslavonskim okvirima.

Do 15. 9. 1988. godine na Studiju je diplomirao 191 student, i to 157 redovnih i 34 studenata uz rad. Za objektivniju analizu treba izuzeti u međuvremenu ispisane studente kao i posljednje četiri školske godine<sup>5</sup>. Na taj način možemo zaključiti da je diplomiralo 338% studenata, i to od redovno upisanih studenata 42,1%, a kod studenata uz rad 14,7%. Jedan od važnih uzroka ovog nepovoljnog stanja treba tražiti i u neodgovarajućim vjetima studiranja u prvim godinama djelovanja Studija<sup>6</sup>, ali i u nedovoljnoj pri-

<sup>4</sup> Samoupravni sporazum o organizaciji i izvođenju nastave na Studiju elektrotehnike u Osijeku (29. 9. 1987) potpisali su: Elektrotehnički fakultet Zagreb, BTNZC Osijek, Ekonomski fakultet i Pedagoški fakultet Osijek, SIZ usmjerenog obrazovanja metalske i elektrostrukture Sl. Brod i Elektrometalski školski centar Osijek. Godine 1987. mijenja se naziv Studija elektrostrojarstva u Studij elektrotehnike.

<sup>5</sup> Vojni rok u JNA i studij traju pet semestara.

<sup>6</sup> U prve dvije godine djelovanja Studija — predavanja su održavana u prostorijama Pravnog i Pedagoškog fakulteta te u prostorijama »Elektroslavonije« i »OLT-a«. Dovošenjem investicije u EMŠC-u izgrađene su dvije predavaonice sa 120 mjesta i četiri dvorane sa po četrdesetak mjesta, što je s opremljenjem laboratorija i dobrom suradnjom sa srednjom školom u EMŠC-u omogućavalo redovnu i kvalitetnu nastavu.

premljenosti učenika srednjih škola za studije tehničkih nauka.<sup>7</sup> Kod izvanrednih studenata osim slabog predznanja kandidata valja istaknuti poznatu činjenicu o vrlo teškom studiranju tehnike uz rad.<sup>8</sup> Tako se dio studenata ispisao sa Studija, a velik broj samo pasivno uživa status izvanrednog studenta. Treba navesti i podatak da se diplomirani studenti ovog Studija redovito lako zapošljavaju i da ih nema na evidencijama SIZ-ova za zapošljavanje,<sup>9</sup> što potvrđuje opravdanost osnivanja Studija s aspekta potreba privrede Osijeka i regije za kadrovima ovog tehničkog profila.

Kada se govori o obrazovnoj djelatnosti Studija, mora se prikazati kako se u pozitivnim okvirima razvijala struktura predavača na ovoj visokoškolskoj instituciji u Osijeku:

**Tablica 2. Pregled upisanih i diplomiranih studenata Studija elektrotehnike u Osijeku (redovni studenti)**

Šk. god.	Upisalo	Ispisalo	»Čista generacija«	Diplomiralo u postocima
1978/79.	106	24	82	52 63,4%
1979/80.	108	51	57	57 68,4%
1980/81.	82	35	47	47 44,7%
1981/82.	115	47	48	48 47,9%
1982/83.	114	43	71	7 16,9%
1983/84.	106	37	68	3 4,0%
1984/85.	119	45	74	— —
1985/86.	116	29	87	— —
1986/87.	125	19	106	— —
1987/88.	145	12	133	
Ukupno	1 135	322	813	157

**Tablica 3. Pregled upisanih i diplomiranih studenata Studija elektrotehnike u Osijeku (studenti uz rad)**

Šk. god.	Upisalo	Ispisalo	»Čista generacija«	Diplomiralo u postocima
1980/81.	125	25	100	23 23%
1981/82.	62	10	52	8 15,4%
1982/83.	45	4	41	2 4,8%
1983/84.	50	11	39	1 2,5%
1984/85.	37	13	24	1 7,1%
1985/86.	19	2	17	— —
Ukupno	338	65	273	34

**Tablica 4. Diplomski radovi studenata Studija elektrotehnike Sveučilišta u Osijeku (prema tematskim područjima)**

Tematsko područje	1981.	1982.	1983.	1984.	1985.	1986.	1987.	1988.	Ukupno
organizacija proizvodnje	11	14	5	4	10	2	4	5	55
konstrukcija	2	8	6	2	2	3	1	—	24
energetika	2	8	10	10	7	7	7	16	67
tehnologija	—	5	8	3	8	2	2	2	29
elektronika	—	—	—	1	3	5	5	2	15
Ukupno	15	35	29	20	30	19	19	25	191

<sup>7</sup> Prema zaključku Skupštine općine Osijek, u toku je izrada Analize o uzrocima nedovoljne uspješnosti studiranja na visokoškolskim ustanovama tehničkih nauka.

<sup>8</sup> Teško je udovoljiti obavezama izvanrednog studija tehnike bez smanjivanja svakodnevnih radnih obaveza, omogućavanja rada u povoljnijoj smjeni, korištenja godišnjeg odmora u potrebno vrijeme, rad koji nije na terenu i sl.

<sup>9</sup> Dana 30. 10. 1985. na evidencijama SIZ-a za zapošljavanje 14 općina regije bilo je 7, a početkom ožujka 1987. godine bila su samo 2 inženjera elektrotehnike (VI/1). Inženjeri elektrotehnike na području regije ne čekaju dugo na zapoš-

Godine 1978. bio je jedan stalno zaposlen nastavnik i deset nastavnika u dopunskom radu, a danas nastavu vode 24 nastavnika u stalnom radnom odnosu i 12 u dopunskom radu. Također je znatno poboljšano znanstveno-nastavno zvanje nastavnika (2 izvanredna profesora, 5 docenata, 15 predavača s magisterijom i 11 asistenata). Posebno se mora istaknuti presudna pomoć i angažman stručnjaka iz privrednih organizacija (među kojima posebno iz »Elektroslavonije«) u realizaciji nastavnog programa iz stručnih elektrotehničkih predmeta.

Poboljšana struktura nastavnika, uvođenje kompjutorizacije u nastavni proces, kao i izdavanje skripata i udžbenika omogućavaju u posljednje tri godine kudikamo višu razinu izvođenja nastave, što će svakako rezultirati i odgovarajućim efektima u boljem znanju i većoj prolaznosti na ispitima te većem postotku diplomiranja studenata.<sup>10</sup>

U sklopu izdavačke djelatnosti na Studiju je izdan jedan udžbenik, deset skripata i zbirka zadataka, četiri zbornika radova i tri brošure.

Posebno valja naglasiti da diplomski radovi studenata ove institucije — zahvaljujući kadrovskom sastavu predavača — redovito rješavaju konkretne stručne probleme iz prakse privrednih organizacija na području regije. U osnovi ovi diplomski radovi pokrivaju pet osnovnih tematskih područja iz ovih nastavnih programa: organizacije proizvodnje, konstrukcije, tehnologije, energetike i elektronike. Kako se vidi iz podataka u tablici 4, najviše diplomskih radova studenti su izradili u oblasti energetike i organizacije proizvodnje. U aneksu, na kraju rada, dajemo pregled diplomskih radova studenata iz područja energetike.

### 2.3. Znanstvenoistraživački rad

U proteklih deset godina znatno je razvijena i poboljšavana znanstvena struktura stalno zaposlenih radnika na Studiju elektrotehnike, što je na odgovarajući način utjecalo i na znanstvenoistraživački rad. U tablici 5. pokazuje se kretanje ove strukture, a u tablici 6. je pregled znanstvenoistraživačkih područja

ljavanje. Mora se naglasiti i podatak da je desetak studenata nakon diplomiranja na Studiju uspješno nastavilo studiranje na VII. stupnju fakulteta u Splitu i Novom Sadu.

<sup>10</sup> Primjena računala u obrazovnom procesu provodi se na Studiju u sklopu više nastavnih predmeta, neposredno ili posredno (kao pomoćno sredstvo za rješavanje problema iz područja elektronike i strojarstva).

kojima se bave stalno zaposleni na Studiju elektrotehnike.

**Tablica 5. Znanstvenoistraživački radnici stalno zaposleni na Studiju elektrotehnike u Osijeku**

Godina	1978.	1981.	1985.	1988.	(15. 9)
Dipl. inž.	—	4	5	5	
Magistar	1	4	6	13	
Doktor	—	—	4	6	
Ukupno	1	8	15	24	

**Tablica 6. Znanstvenoistraživačka područja stalno zaposlenih na Studiju elektrotehnike Sveučilišta u Osijeku**

Područje	1987.	1981.	1985.	1988.
strojarstvo	1	6	6	6
elektrotehnika	—	1	7	10
informatika	—	—	1	2
matematika	—	1	1	4
ekonomika	—	—	—	1
fizika	—	—	—	1
Ukupno	1	8	15	24

Vidimo da je stalno zaposleno 6 doktora, 13 magistara i 5 diplomiranih inženjera (6 iz područja strojarstva, 10 iz elektrotehnike, 2 iz informatike, 4 iz matematike) i po 1 iz fizike i ekonomike.

Treba posebno naglasiti da je ekipiranje znanstvenim kadrom u tehničkim naukama u regionalnim središtima u Jugoslaviji teško provodivo, da je tih kadrova malo, a da je potražnja za njima vrlo velika u svim industrijskim i sveučilišnim centrima. Zbog toga je više natječaja za doktore tehničkih znanosti uz ponudene stanove završilo bez rezultata.<sup>11</sup>

Uz koncentraciju znanstvenih kadrova u razvojnoj politici Studij elektrotehnike oslanja se i na vlastite snage.<sup>12</sup>

Iz ovoga se može zaključiti da u prvim godinama djelovanja Studija nije bilo ni uvjeta ni kadrova koji bi sistematski radili na znanstvenoistraživačkim projektima. Znanstvenoistraživačka djelatnost odvijala se u pojedinačnim slučajevima vlastitog istraživanja u toku izrade magistarskih radova. Poboljšavanjem uvjeta rada, kadrovskom popunom (kako brojem, tako i znanstvenoistraživačkim zvanjima) stvaraju se uvjeti za sistematski znanstvenoistraživački rad. Šest doktora i 13 magistara znanosti stalno zaposlenih na Studiju elektrotehnike objavilo je u posljednjih 5 godina više od 60 znanstvenih i više od 140 stručnih radova u časopisima regije, Republike i u Jugoslaviji, a četvrtina tih radova objavljena je u inozemstvu. Desetak radova vrlo je zapaženo u jugoslavenskim okvirima, a posebno valja istaknuti sudjelovanje dr. Vladimira *Ostovića* i dr. Anaisa *Smailagića*

sa svojim radovima na svjetskim znanstvenim skupovima u SAD i dr. Rusmira *Mahmutćehajića* na evropskim znanstvenim skupovima u Belgiji i Irskoj. Više od 50 radova objavili su i predavači na Studiju koji su u dopunskom radu.

Nadalje, Studij elektrotehnike je uspostavio znanstvenu suradnju s više znanstvenoistraživačkih institucija u Republici i zemlji,<sup>13</sup> a s Visokom tehničkom školom u Bremenu (SR Njemačka) od 1985. godine redovno održava godišnje znanstvene kolokvije.<sup>14</sup> Na natječaju SIZ-a znanosti SR Hrvatske (1987. godine) prihvaćeno je šest projektnih zadataka Studija elektrotehnike:

1. Modeli i metode za planiranje energetske sistema užih (regionalnih) područja,
2. Projektiranje poljoprivrednih strojeva primjenom računala,
3. Modeliranje odabranih dijelova jugoslavenske visokonaponske mreže te analiza teorijskih osnova modela uključenih u EMTP,
4. Razvoj CAD programa za projektiranje električnih strojeva,
5. Simetrije i supersimetrije u subatomske fizici,
6. Razvoj i unapređenje organizacije proizvodnih sistema u strojogradnji.

Osim dvadest četiri istraživača stalno zaposlena na Studiju, u realizaciji ovih projekata uključeno je i dvadesetak stručnjaka — magistara i doktora tehničkih znanosti iz privrednih organizacija i institucija s područja slavonsko-baranjske regije. Znanstvenoistraživački radnici iz ove ustanove inicijatori su i realizatori projekta »Dugoročni razvoj i energetika Osijeka« (koji je ostvaren u suradnji s Jugoslavenskom akademijom znanosti i umjetnosti — Zavod za znanstveni rad, Osijek), kao i projekta regionalnih istraživanja »Efikasnost korištenja energije u privredi i komunalnoj potrošnji s programom plinifikacije slavonsko-baranjske regije« koji se realizira u suradnji sa »Elektroslavonijom« iz Osijeka. Također treba istaknuti i redovito održavanje znanstveno-stručnih seminara na Studiju kojim se znanstveno-stručnoj javnosti regije prezetiraju rezultati istraživanja pojedina ili istraživačkih timova koji djeluju u okviru Studija elektrotehnike.

#### 2.4. Stručni rad i suradnja s privrednim organizacijama

Realizirajući stručne projekte i rješavajući konkretne probleme iz privredne prakse, Studij elektrotehnike je u proteklih pet godina ostvario sredstva koja su bila značajna za financijsku konsolidaciju ove ustanove. U isto vrijeme ovi realizirani poslovi pokazali su visoke stručne i znanstvene reference pojedinih stručnjaka i znanstvenika stalno zaposlenih na Stu-

<sup>11</sup> Nepostojanje odgovarajuće razvijene industrije koja bi pružila dugoročnu sigurnost i perspektivnost znanstvenoistraživačkog rada, poslovanje Studija na granici gubitaka, status više škole i sl. velika su prepreka za vođenje aktivnije kadrovske politike i dovođenje potrebnih znanstvenih radnika iz ove oblasti.

<sup>12</sup> Tako su potkraj 1986. godine — na temelju natječaja SIZ-a znanosti SRH — primljena 2 matematičara i 2 diplomirana inženjera elektrotehnike kao istraživači pripravnici, a 1987. godine na isti način još dva diplomirana inženjera elektrotehnike. Tako je po prosječnoj starosti zaposlenih (sa 34 godine) ova ustanova jedna od najmlađih na Sveučilištu u Osijeku.

<sup>13</sup> Elektrotehnički institut »Rade Končar«, Zagreb; Institut za elektroprivredu Zagreb, Elektrotehnički fakultet, Zagreb; Elektrotehnički fakultet, Ljubljana; Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb; te srodne institucije u Mariboru i Novom Sadu.

<sup>14</sup> Na dosadašnja četiri znanstvena skupa prezentirano je više od 50 radova (objavljenih u posebnim zbornicima).

diju, odnosno vanjskih suradnika Studija. U tablici 7. prikazana je realizacija navedene suradnje s privrednim organizacijama.

Treba naglasiti da je ostvarena uspješna suradnja s nekoliko osječkih i slavonsko-baranjskih organizacija<sup>15</sup> i da su realiziranim poslovima mladi znanstveni radnici ovog Studija stjecali značajna priznanja i izvan područja regije.<sup>16</sup>

**Tablica 7. Poslovi i realizacija suradnje Studija elektrotehnike s privrednim organizacijama**

Godina	Broj ugovora	Realizirani prihod	— tekuće cijene	
			— u tisućama dinara	
			Učešće u ukupnom prihodu Studija (u %)	
1982.	1	—	—	
1983.	3	618	6,0	
1984.	4	417	2,5	
1985.	10	6 397	18,0	
1986.	17	52 580	31,6	
1987.	8	59 344	23,6	

Svoje performanse u oblasti elektrotehnike Studij je osječkoj privredi predstavio i na izložbi »PANOVA 86« (mikromotor i elektronski moduli), a treba spomenuti i izradu priručnika »Racionalno korištenje energije u industriji«, koji su stručnjaci sa Studija elektrotehnike radili po narudžbi Republičkog komiteta za industriju i energetiku, 1985. godine.<sup>17</sup> Suradnja s privrednim organizacijama regije odvija se i putem Savjeta za energetiku Komiteta za privredu općine Osijek, Koordinacionog odbora za energetiku Privredne komore Slavonije i Baranje, Koordinacionog odbora za znanost i razvoj te Odbora za automatsku obradu podataka Privredne komore Slavonije i Baranje, gdje su predstavnici Studija elektrotehnike posebno aktivni.

## 2.5. Opremljenost

Laboratorijska oprema i tehnički instrumenti elementarni su uvjet za znanstveno-obrazovni rad u tehničkim znanostima, što u slučaju osnivanja i djelovanja Studija elektrotehnike nije bilo u početnim godinama odgovarajuće riješeno. Poteškoća u ovom području je donekle prevladavana u suradnji s privrednim organizacijama te u okviru srednjoškolske nastave u EMŠC-u. U kasnijim godinama tehnička opremljenost Studija je poboljšana. Za svoje djelovanje Studij elektrotehnike koristi dvije predavaonice kapaciteta po 140 sjedišta te četiri učionice po 40-ak sjedala. Nadalje, koristi se elektrotehnički laboratorij i laboratorij za računarstvo, kao i 17 kancelarija i nastavnčkih kabineta. Laboratorij za računarstvo opremljen je jednim miniračunalom, s nekoliko terminala i s desetak PC-kompjutora s odgovarajućim

perifernim jedinicama (štampači i ploteri). Biblioteka Studija raspolaže s više od 2 000 knjiga i s više od pedeset domaćih i inozemnih časopisa. Studij raspolaže s više od 800 m<sup>2</sup> poslovnog prostora. Valja još naglasiti: Studij elektrotehnike kao osnovna organizacija udruženog rada Elektrometalskog školskog centra koristi i ostale tehničke kabinete zajedno sa srednjom školom — 8 laboratorija (440 m<sup>2</sup>), te radionice trećeg OOUR-a EMŠC-a »Proizvodna nastava«, čime se postiže efikasnost korištenja postojećeg prostora i tehničke opreme, a u funkciji podizanja kvalitete obrazovnog procesa.<sup>18</sup>

U dosadašnjem razvoju i djelovanju Studija elektrotehnike raspoloživi prostor zbog primjerne suradnje s ostala dva OOUR-a u EMŠC-u zadovoljio je zahtjeve tog perioda, no za veće zamahe i ambicioznije programe obrazovnog i znanstvenog rada potrebno je više materijalnih, prostornih i tehničkih uvjeta za razvoj visokoškolske tehničke institucije.

## 3. ZAKLJUČAK

Osnivanje, razvoj i deset godina djelovanja Studija elektrotehnike Sveučilišta u Osijeku označava nastojanje da se započne proces izmjene kadrovske strukture u privrednim organizacijama na području slavonsko-baranjske regije.

Studij elektrotehnike osnovan je i razvijao se u vrlo teškim materijalnim i kadrovskim uvjetima, što je unaprijed ograničilo domete njegovih dostignuća. Za proteklo razdoblje, s obzirom na kompleksne uvjete u kojima je djelovao, Studij je prošao onu važnu i vrlo tešku etapu početnih nedoumica, materijalnih ograničenja, nastojanja da se formira kadrovska jezgra. Dao je sasvim konkretne rezultate u obrazovnom radu, znanstvenoistraživačkoj djelatnosti i stručnoj suradnji s privrednim organizacijama.

U obrazovnoj djelatnosti Studij je, zaokružen znanstveno-nastavnom koncepcijom, profilirao i realizirao kompletan obrazovni proces usmjerenog obrazovanja (VI/1 stupanj) inženjera elektrotehnike. Struktura upisanih redovnih studenata po mjestu stalnog boravka i socijalnom statusu pokazuje da je osnivanje Studija u potpunosti opravdalo očekivanja o pružanju mogućnosti školovanja najširih slojeva stanovništva. Isto tako se — s ovog aspekta — može zaključiti da je upisivanje studenata iz šireg gravitacijskog područja na Studij stanovito priznanje atraktivnosti ovog obrazovnog profila, kao i određene kvalitete i otvorenosti ovog Studija.

Relativno slaba prolaznost studenata do diplomiranja na Studiju upućuje na stroge kriterije ocjenjivanja, ali i na nedovoljnu pripremljenost učenika za studije tehničkih nauka, kao i na slabosti u odvijanju znanstveno-nastavne djelatnosti na Studiju. U posljednje dvije godine kadrovski uvjeti odvijanja obrazovnog procesa na Studiju umnogome su popravljani, tako da bi u idućem razdoblju to trebalo resul-

<sup>15</sup> »Elektroslavonija«, Osijek; Kombinat »Borovo« i Kombinat »Belišće«, »Vukovarski«, Vukovar; »Privredna avijacija«, Osijek; IPK Osijek — Tvornica šećera.

<sup>16</sup> »Velebit-informatika«, Zagreb; TLK »Boris Kidrič«, Šibenik; »Rade Končar«, Zagreb; »Elektroistra«, Pula; ŽTP, Zagreb i dr.

<sup>17</sup> Knjiga je radena kao priručnik za industrijske organizacije u SRH (u izdanju CDI, Zagreb) u nakladi 10 000 primjeraka.

<sup>18</sup> Isto tako, koristi se biblioteka i čitaonica (160 m<sup>2</sup>), sportska dvorana (650 m<sup>2</sup>), restoran, kopirnica, telefonska centrala i ostale zajedničke prostorije.

tirati većoj osposobljenosti studenata i njihovom boljem uspjehu u studiju.

Praksa je pokazala da se inženjeri elektrotehnike ovog stručnog profila na području regije relativno lako zapošljavaju, što je još jedan dokaz opravdanosti pokretanja, osnivanja i djelovanja Studija.

Znanstvenoistraživački potencijal Studija znatno je poboljšao, tako da je napokon obavljena i registracija Studija kao visokoškolske obrazovne institucije i kao znanstvenoistraživačke organizacije, što je i formalni dokaz uspješne razvojne politike i kadrovske ekipiranja u protekle četiri godine. Konstituirana je znanstvenoistraživačka jezgra koju bi trebalo prije svega sačuvati izgradnjom odgovarajuće društvene klime i pružanjem potrebnih uvjeta i perspektive za daljim usavršavanjem te pružanjem materijalnih uvjeta na razini koja odgovara uvjetima za takve profile u zemlji. Također bi trebalo nastaviti s popunjavanjem i daljim jačanjem znanstvenoistraživačke jezgre u elektrotehnici na području Osijeka i regije. Dio okupljenog znanstvenoistraživačkog kadra izrazito je talentiran i već je mnogim objavljenim radovima u zemlji i inozemstvu dokazao vrhunske kvalitete znanstvenoistraživačkih radnika, što mora imati konkretan odjek u društvenoj valorizaciji samih znanstvenika, kao i u vrednovanju efekata djelovanja Studija te u stvaranju potrebnih uvjeta da se na takav način dokazuju istinske društvene i znanstvene vrijednosti u našem društvu.

Realizirani projekti i riješeni problemi u privrednim organizacijama putem suradnje stručnjaka sa Studija elektrotehnike pokazali su vrlo visoke performanse pojedinih radnika ove ustanove, čime je ostvaren i znatan iznos za financiranje djelovanja Studija na znanstveno-nastavnim zadacima. U ovim su poslovima uz radnike Studija u redovnom radnom odnosu bili angažirani i vrhunski stručnjaci iz drugih industrijskih i sveučilišnih središta, što je još jedan dokaz kvalitete dijela okupljene znanstvenoistraživačke jezgre u ovoj instituciji.

Financijska sredstva, materijalni uvjeti, prostor i opremljenost pružali su maksimalno potrebne uvjete za osnivanje, razvoj i djelovanje Studija. Elektrometalski školski centar u ovome je imao vrlo značajnu ulogu, no opsežni i složeni zadaci visokoškolskog obrazovanja i znanstvenoistraživačkog rada premašuju postojeće mogućnosti što ih pruža organizacijski oblik postojanja i rada Studija elektrotehnike u okviru EMŠC i znanstvenozanesenjački aktivitet nekolicine znanstvenika na ovom Studiju.

S aspekta potreba privrednog i društvenog razvoja Osijek i slavonsko-baranjska regija — koji su po prirodnim resursima iznad prosjeka, a po rezultatima društveno-ekonomskog razvoja ispod prosjeka Republike — zahtijevaju (u sektoru obrazovanja i znanstvenoistraživačkog rada u oblasti elektrometalske industrije) odlučan zaokret prema većim zadacima i većim društvenim ulaganjima u razvoj visokoškolske institucije i znanstvenoistraživačke organizacije u elektrotehnici.

## ANEKS

### Diplomski radovi na studiju elektrotehnike od osnivanja do 15. 9. 1988. iz područja energetike

1. Zabrdac Krsto: Mrežna ton-frekventna komanda — prema kućnih instalacija u RO »Elektroslavonija«, Osijek (1983. g.)
2. Lekšan Damir: Rješenje kompenzacije jalove energije u EMŠC Osijek, (1983. g.)
3. Čolić Nikola: Određivanje električnih parametara za pogon i upravljanje bubnja predilice u RO »Vuteks«, Vukovar (1983. g.)
4. Bodiš Ivica: Planiranje godišnjeg remonta energetike u DIK Đurđenovac (1983. g.)
5. Knežević Zvonimir: Revizija transformatorske stanice 36/10 kV u RO »Elektroslavonija«, Osijek (1982. g.)
6. Mikulić Zlatko: Vrednovanje postojećeg sistema uzemljenja na lokaciji TEKOS Osijek (1982. g.)
7. Kardun Mladen: Zaštita u visokonaponskom postrojenju u RO »Elektroslavonija«, Osijek (1982. g.)
8. Glavaš Nedeljko: Eksploatacija i održavanje 10 kV vodova u RO »Elektroslavonija«, Osijek (1982. g.)
9. Kovačević Miroslav: Definiranje granica ekonomske opravdanosti ulaganja u kompenzacione uređaje u SOUR-u OLT Osijek, RO »Metal« Brijest (1982. g.)
10. Tandara Srećko: Izrada podloga za projekt unapređenja korištenja električne energije u EMŠC, Osijek (1982. g.)
11. Gerovac Željko: Održavanje toplinskih postrojenja »Toplane Osijek« metodom po stanju (1982. g.)
12. Čuća Zoran: Popravljanje faktora snage u napajanju električnom energijom EMŠC (1981. g.)
13. Bošnjak Ivan: Zaštita transformatora i ind. traf. stanica 10/0,4 kV SOUR OLT« (1982. g.)
14. Zetović Zdravko: Agregat nužne struje za RO »Lijev« SOUR OLT Osijek (1981. g.)
15. Špoljar Željko: Pristup u stvaranju metoda za funkcionalna ispitivanja dijelova pomoćnog postrojenja TS 110/35 kV u RO »Elektroslavonija«, Osijek (1983. g.)
16. Batković Filip: Elektromotorni pogoni automatske linije kalupovanja u RO »TLK« SOUR-a OLT Osijek (1983. g.)
17. Pivac Milenko: Sprečavanje prekoračenja maksimalno angažirane el. snage u Tvornici šećera Osijek (1983. g.)
18. Často Macan: Rješenje kompenzacije jalove energije u OOURU Tvornice iver-ploča Vladislavci (1983. g.)
19. Poljak Vlatko: Struktura potrošnje električne energije u SOUR IMK »Slavonija« i njezin utjecaj na faktor snaga elektroenergetskog sistema (1983. g.)
20. Zemljak Đuro: Glavni projekt elektromotornog razvoda na objektu u kombinatu Belišće (1983. g.)
21. Vidaković Zvonimir: Idejni projekt napajanja električnom energijom radio-relejne stanice »Kapovac«, RO PTT Osijek (1983. g.)
22. Nemet Ivan: Poboljšanje korištenja energije u sušari zrna uljarica i žitarica u IPK Osijek OOUR Žitar, Donji Miholjac (1983. g.)
23. Ileš Krunoslav: Djelovanje, puštanje u rad i način održavanja frekvencijski reguliranih strojeva u Kombinaru Belišće (1983. g.)
24. Rozing Franjo: Rekonstrukcija razvodne ploče za napajanje EMP preše za uljarice u Tvornici ulja IPK Osijek (1985. g.)
25. Marenić Dragan: Elementi za postavljanje projektnog zadatka klimatizacije prostora (1985. g.)
26. Seleši Željko: Podloga za projekt otprašivača u OOUR »3. oktobar« Čačinci, PPK Orehovica (1985. g.)
27. Main Željko: Tropolno metalom oklopljeno postrojenje izolirano plinom sf/o u RO »Elektroslavonija« Osijek (1985. g.)



28. Benović Josip: Pomoćni istosmjerni napom u postrojenjima 35/10 kV »Elektroslavonija«, Osijek (1984. g.)
29. Obradović Vlatko: Metode za ispitivanje pogonskog stanja energetske transformatora u RO »Elektroslavonija«, Osijek (1984. g.)
30. Janečić Zvonko: Kompenzacija jalove energije (1984. g.)
31. Klobučar Ivica: Meko upuštanje trofaznog asingronog kaveznog motora za pogon tokarskog stroja u Kombinat u Belišće (1984. g.)
32. Ramljak Tihomir: Problemi eksploatacije tipa BOSCO-3 u Industriji šećera i vrenja »Boris Kidrič — Županja (1984. g.)
33. Borić Miroslav: Utjecaj spojnih vodiča u sekundarnim krugovima naponskih mjernih transformatora za pogrešku mjerenje el. energije.
34. Pauzar Srećko: Elektromagnetska spojka (1983. g.)
35. Martinović Predrag: Zaštita transformatora (1987. g.)
36. Maloča Ivan: Djelovanje transformatorske stanice 10/0,4 kV s dva paralelno spojena transformatora snage 630 KVA u RO »Elektroslavonija«, Osijek (1986. g.)
37. Delić Božidar: Prijedlog rješenja rezervnog napajanja RTV odašiljača »Belje« (1986. g.)
38. Golubić Branko: Podloge za projekt pripreme sanitarne vode uz korištenje solarne energije (1986. g.)
39. Biondić Ivan: Podloga za projektni zadatak eksplozije zaštite silosa PPK Orahovica (1986. g.)
40. Bandić Ivica: Uvjeti rada transformatora u paralelnom spoju u RO »Elektroslavonija«, Osijek (1986. g.)
41. Angebrant Krešimir: Racionalizacija korištenja energije na svinjogojskim farmama definirana projektnim rješenjem RO »Građevinar«, Vukovar (1986. g.)
42. Mendroš Miroslav: Rekonstrukcija transformatorske stanice 10/0,4 kV »Feričanci 2« (1986. g.)
43. Helbih Antun: Analiza rada parnog kotla br. 5568 u OOUR Tvornica šećera i kandita Osijek (1985. g.)
44. Lukačević Franjo: Racionalizacija korištenja el. energije u DI »Stjepan Geli« Đakovo (1985. g.)
45. Benković Mijo: Analiza rada sušare za zrno »Essiccation scolari« u IPK Osijek (1985. g.)
46. Nikić Željko: Racionalizacija korištenja el. energije u RO »Tvornica šećera« Beli Manastir (1985. g.)
47. Medved Miroslav: Zaštita od preopterećenja i kratkog spoja u elektromagnetskim postrojenjima u RO »Elektroslavonija«, Osijek (1985. g.)
48. Raić Nikola: Suvremena primjena sumpor-heksaflorida u izvedbama visokonaponskih prekidača (1987. g.)
49. Sučević Željko: Specifičnosti korištenja ZnO odvodnika u zaštiti elektroenergetskih postrojenja od prenapona, (1987. g.)
50. Panić Dragan: Suvremena izvedba i primjena visokonaponskih mahovljenih prekidača (1987. g.)
51. Horvatiček Mirko: Energetska bilanca SOUR-a Kombinat Belišće OOUR »Energetika« (1987. g.)
52. Masle Predrag: Kompenzacija jalove energije te druge mogućnosti racionalizacije korištenja električne energije u OOUR-u »Žitoslavonija« — Silos Osijek (1987. g.)
53. Hajdin Silvio: Suvremene izvedbe i praktična primjena pneumatskih prekidača visokonaponskim rasklopnim postrojenjima (1987. g.)
54. Petričić Željko: Analiza djelovanja električne energije na čovjeka s osvrtom na principe zaštite u elektroenergetskim postrojenjima (1987. g.)
55. Predović Zoran: Rekonstrukcija EMP puža i ugradnja FRAM-a u pogon za pripremu papirne mase u Kombinat u Belišće (1987. g.)
56. Petrović Ivica: Uzemljenje postrojenja u uvjetima efikasnog tretiranja neutralne točke (1987. g.)
57. Bošnjak Zdenko: Uloga i izvedbe uzemljivačkih sistema u elektroenergetskim postrojenjima (1987. g.)
58. Vuković Zdravko: Rekonstrukcija 6,3 kV-nog industrijskog elektroenergetskog postrojenja (1987. g.)
59. Bakač Alfred: Elementi projektnog zadatka potreba komprimiranog zraka u RO Tvornica cementa Našice (1988. g.)
60. Glavaš Zlatko: Proračunavanje i mjerenje parametra nadzemnog voda (1988. g.)
61. Modrić Goran: Regulacija brzine vrtnje istosmjernih nezavisno uzbuđenih EM na stroju za brušenje gumenih valjaka u Kombinat u Belišće (1988. g.)
62. Radovanović Boris: Fizikalna slika električnog luka (1988. g.)
63. Omrčen Željko: Modeliranje transformatora pomoću računala (1988. g.)
64. Devčić Đuro: Racionalizacija korištenja električne energije u OOUR »Rapid« Virovitica (1988. g.)
65. Matas Željko: Mogućnosti selektivne signalizacije i odvajanja kvara u distributivnim mrežama (1988. g.)
66. Mišević Dobrica: Analiza mogućnosti korištenja drvnih otpadaka u parnim kotlovima DI »Gaj«, P. Slatina (1988. g.)
67. Konstanjevac Vilim: Regulator napona 3–15 V sa ograničenjem struje 1 A (1988. g.)

**ELECTROTECHNICAL STUDY ON UNIVERSITY OF OSIJEK FUNCTION OF EDUCATION AND SCIENTIFIC EXAMINATION IN ELECTRIC POWER GENERATION**

In the paper are presented results as well as development problem of electrotechnical study in Osijek.

**DAS STUDIUM DER ELEKTROTECHNIK IN OSIJEK IN DER FUNKTION DER AUSBILDUNG DES TECHNISCHEN PERSONALS UND DER WISSENSCHAFTLICHEN FORSCHUNGSARBEIT IN DER ELEKTROENERGETIK**

Der Artikel resümiert übersichtlich die Arbeitsergebnisse und die Probleme der weiteren Entwicklung des Studiums der Elektrotechnik in Osijek.

**ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ УНИВЕРСИТЕТОМ г. ОСИЕК С ЦЕЛЬЮ ОБРАЗОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ КАДРОВ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ**

Статья весьма наглядно обобщает результаты работ и проблемы дальнейшего развития изучения электротехники в г. Осиеке.

Naslov pisaca:

**Mr. Milan Ivanović, dipl. ecc.  
Mr. Tihomil Rausnic, dipl. inž.  
Komitet za privredu Zajednica  
općina Osijek  
54000 Osijek, Trg slobode 1,  
Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1988–09–29



## „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

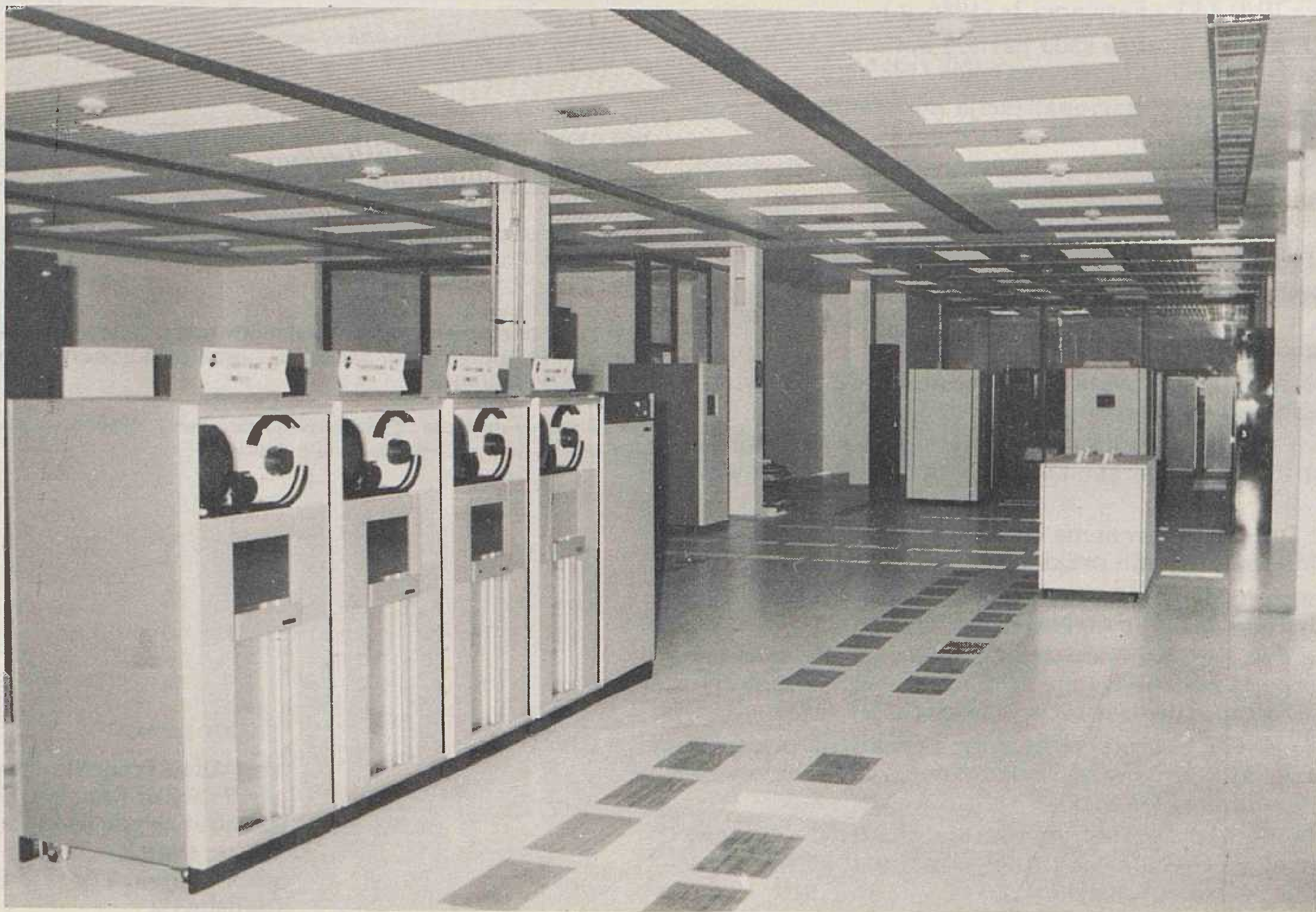
SPONZOR-SUORGANIZATOR  
**UNIVERZIJADE'87**

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

# POTENCIJAL DOPUNSKIH IZVORA ENERGIJE SR HRVATSKE

Mr. Vladimir Potočnik, Zagreb

UDK 620.91

PREGLEDNI RAD

Ovo je prvi pokušaj zbirnog bilanciranja dopunskih izvora energije za SR Hrvatsku. Rezultati pokazuju da bi uloga dopunskih izvora energije u SR Hrvatskoj, koja je inače siromašna izvorima primarne energije, mogla biti mnogo veća od dosadašnje.

**Ključne riječi:** dopunski izvori, uljni škriljevci, obnovljivi izvori, racionalno korištenje energije.

## UVOD

Energetsku situaciju SR Hrvatske karakterizira izrazito siromaštvo primarnih energenata prema dosada utvrđenim rezervama [1]. Bilančne rezerve primarne energije SR Hrvatske po stanovniku su manje za:

- oko 6 puta od prosjeka Jugoslavije
- oko 32 puta od prosjeka svijeta.

Odnosno relativni odnosi bilančnih rezervi primarne energije po stanovniku iznose:

SVIJET : JUGOSLAVIJA : HRVATSKA = 32 : 6 : 1.

Tehnički iskoristive vodne snage u SR Hrvatskoj iskorištene su s oko 50%, a rezerve urana nisu pronađene. Korištenje obnovljivih izvora energije je zanemarivo, a uljni škriljevci, za koje se pretpostavlja da postoje u znatnim količinama (Lika) ne koriste se, niti su rezerve istražene.

Godišnja potrošnja primarne energije po stanovniku [5] iznosila je 1983. godine (GJ/god, stan):

- Hrvatska 82
- Jugoslavija 67,4
- svijet 52,7

odnosno relativni odnosi potrošnje primarne energije po stanovniku:

SVIJET : JUGOSLAVIJA : HRVATSKA : 0,64 : 0,82 : 1.

Ako se postave omjeri bilančnih rezervi i godišnje potrošnje primarne energije dolazimo do približnih odnosa:

SVIJET : JUGOSLAVIJA : HRVATSKA : 50 : 7 : 1.

To znači da bi se potrošnjom primarne energije iz 1983. godine bilančne rezerve primarne energije SR Hrvatske potrošile u 50 puta kraćem roku od svjetskog prosjeka, odnosno u 7 puta kraćem roku od Jugoslavije!

U 1986. uvezeno je iz drugih republika i inozemstva oko 35% primarne energije, a prema [1] planira se povećanje udjela uvoza:

- 2000. godine oko 40%
- 2020. godine oko 55%.

Novija istraživanja su pokazala da se energija u Hrvatskoj, kao i u Jugoslaviji, uvelike neracionalno iskorištava ([2] i [3]).

U prilog toj tvrdnji govore i sljedeća dva pokazatelja:

- prema potrošnji energije po jedinici društvenog proizvoda nalazimo se u svjetskom vrhu [4], i ako ne po jedinici prirodne proizvodnje
- prema udjelu potrošnje skupe električne energije u ukupnoj potrošnji energije nalazimo se također u svjetskom vrhu.

Neracionalno korištenje energije pridonijelo je povećanom zagađivanju okoliša, naročito zraka dimnim plinovima (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> itd.), za koje se smatra da između ostalog izaziva umiranje šuma. Posljednja istraživanja pokazuju da se oko 25% stabala u šumama SR Hrvatske suši.

Sve što je ovdje rečeno o energetskej situaciji SR Hrvatske — siromaštvo primarnih izvora energije, neracionalno korištenje energije itd. — govori da se SR Hrvatska u budućnosti treba energičnije usmjeriti na korištenje dopunskih izvora energije kojima raspolaže, a koji su dosada bili zanemareni.

Ovaj je rad pokušaj bilanciranja dopunskih (ili nekonvencionalnih) izvora energije SR Hrvatske svrstanih u tri kategorije:

- racionalno korištenje energije (RKE)
- obnovljivi izvori energije
- uljni škriljevci.

Pritom je važno napomenuti da je RKE svrstano među izvore energije zato što je svaka ušteda energije energetski adekvatna novom izvoru energije.

## NAČIN BILANCIRANJA DOPUNSKIH IZVORA ENERGIJE

Za dopunske izvore, koji se ovdje razmatraju, uobičajeno je bilanciranje na razne načine. Kod obnovljivi-

vih ili neiscrpivih izvora energije razmatraju se godišnji energetske potencijali, kod RKE godišnje uštede energije, a kod fosilnih goriva (uljni škriljevci) resursi ili geološke rezerve i bilančne rezerve, koje se iscrpljuju za pretpostavljeni broj godina eksploatacije.

Da bi se mogli uspoređivati ovdje razmatrani dopunski izvori energije, odabrane su tri kategorije njihovog energetskog potencijala, za koje su tumačenja dana u tablici 1.

Tablica 1. Energetski potencijali dopunskih izvora energije

Energetski potencijal	RKE	Obnovljivi izvori	Uljni škriljevci
teorijski (resursi)	teorijski moguće uštede	bruto-potencijal	geološke rezerve
tehnički iskoristivi (izvori)	tehnički iskoristive uštede energije	tehnički iskoristivi potencijal	bilančne rezerve
ekonomski iskoristivi	ekonomične uštede	ekonomski iskoristivi potencijal	ekonomski eksploataibilne rezerve

Teorijski potencijal primarnog energenta jest njegov ukupno raspoloživi potencijal za korištenje.

Tehnički iskoristivi potencijal je dio teorijskog potencijala koji se može koristiti raspoloživim tehnologijama uz dana ograničenja okoliša.

Ekonomski iskoristivi potencijal je dio tehnički iskoristivog potencijala, koji se najviše isplati za društvo u cjelini.

### RACIONALNO KORIŠTENJE ENERGIJE (RKE)

Programi racionalnog korištenja energije razrađeni su i provode se u razvijenim zemljama nakon prvog »naftnog šoka« 1973. godine, a intenzivirani su nakon drugog »naftnog šoka« i akcidenta u NE Otok tri milje SAD (1979. godine), koji je uz ostale razloge zaokročio brzi razvoj nuklearne energije u svjetskim razmjerima. Postignuti rezultati u razvijenim zemljama, posebno onim koje ovise o uvozu primarnih energenata impresivni su. Zaustavljen je dotadašnji brzi rast potrošnje energije, negdje je čak i smanjena, potrošnja energije po jedinici društvenog proizvoda u pravilu je smanjena (SR Njemačka 1987/1973. za 21%), ovisnost o uvozu nafte također je smanjena, što se također ima pripisati i u tom razdoblju izgrađenim nuklearnim elektranama, itd. Pad cijene nafte 1986. godine nešto je usporio aktivnosti na RKE u razvijenom svijetu, ali ne i zaustavio s obzirom na produženi zastoj u razvoju nuklearne energije (Černobil) i naraslu svijest javnosti o potrebi zaštite okoline od zagađivanja.

U manje razvijenom dijelu svijeta, koji redovito troši i manje energije po stanovniku od razvijenoga, programi RKE su kasnili ili uopće nisu primjenjivani, ovisno o stupnju razvoja i potrošnji energije.

U Jugoslaviji je 1980. godine donesen »Program dugoročnih mjera za racionalizaciju, supstituciju i štednju energije«, koji je noveliran 1987. godine [6].

U Hrvatskoj se aktivnosti na RKE odvijaju nekoliko godina, a upravo je usvojen »Program RKE« [7].

Od 1983. do 1988. je prema [1] uštedeno oko 360 000 tona ekvivalentne nafte, što čini nešto manje od 1% potrošnje primarne energije u Hrvatskoj u tom razdoblju. Razlozi kašnjenja primjene RKE u Hrvatskoj, kao i drugdje, između ostalog su u:

- preniskim cijenama energije
- disparitetima cijena pojedinih energenata (električna energija je bila prejeftina u odnosu na druge energente)
- tarifnom sistemu za električnu energiju, koji kroz relativno visoku osnovnu cijenu snage stimulira veću (neracionalnu) potrošnju itd.

### Energetski potencijal RKE

RKE se može primijeniti u svim fazama toka energije: od dobivanja i transformacije do potrošnje energije.

Za ilustraciju toka energije prikazan je na slici 1. pojednostavljeni Sankeyev dijagram toka energije za SR Hrvatsku (1985. godine), izrađen na osnovi podataka iz [1], [2], [3] i [8]. Budući da se podaci nešto razlikuju, uzete su srednje zaokružene vrijednosti. Značenje pojedinih izraza na slici 1. je kako slijedi:

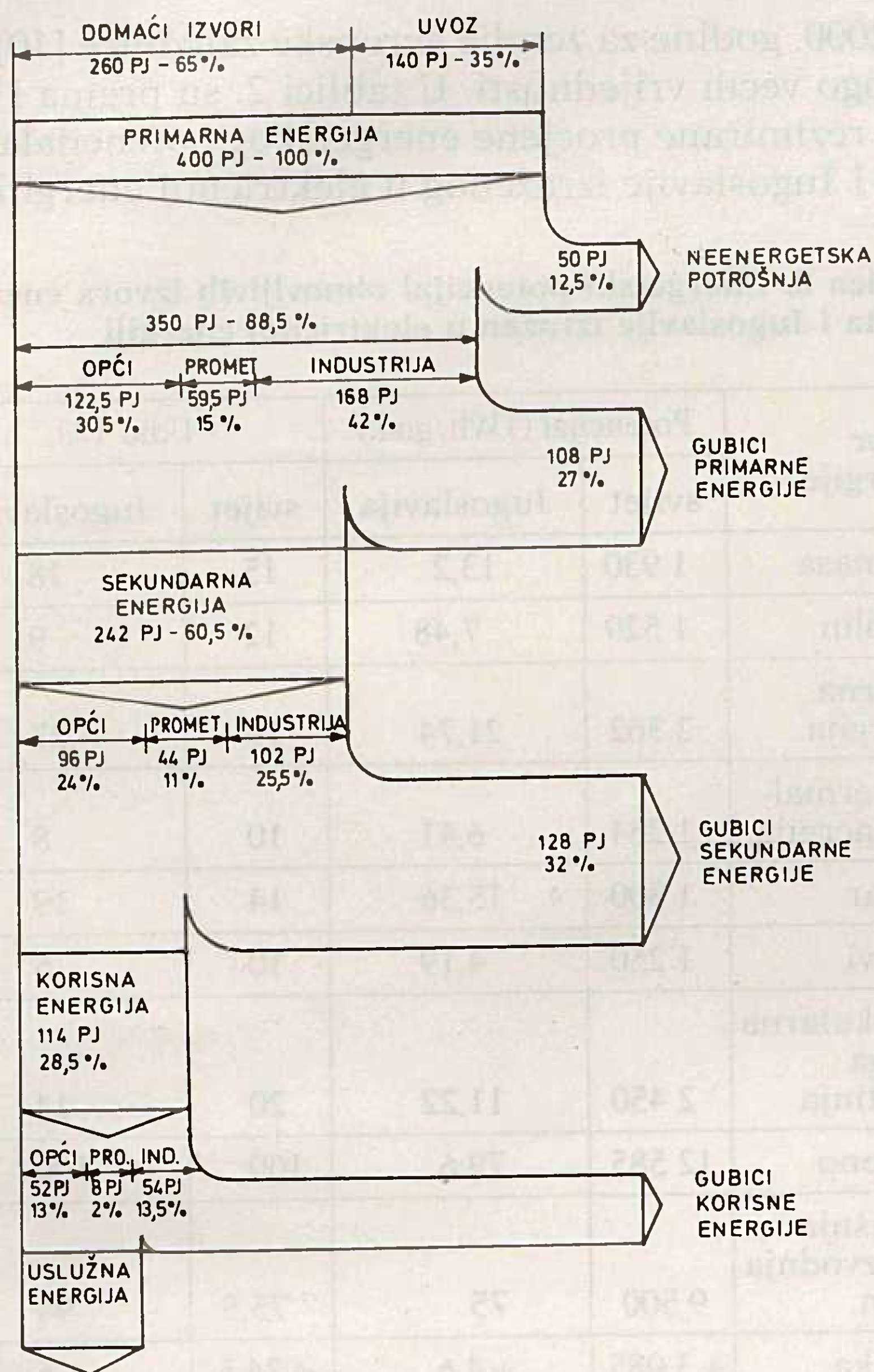
- primarna energija: fosilna goriva, uran, vodne snage, ostali primarni energenti i uvoz električne energije
- neenergetska potrošnja: potrošnja fosilnih energenata kao sirovina u industriji
- gubici primarne energije: vlastiti potrošak energije za dobivanje energije, gubici transformacije i transporta primarne energije
- sekundarna energija: energija predana potrošačima u obliku energenata (ugljen, naftni derivati, plin, električna energija, para, topla voda i sl.)
- gubici sekundarne energije: gubici transformacije i transporta sekundarne energije
- korisna energija: energija, što je korisno upotrebjavaju potrošači (mehanički rad, grijanje, hlađenje, rasvjeta itd.)
- gubici korisne energije: gubici koje bi potrošači mogli smanjiti optimiranjem potrošnje energije
- uslužna energija: udio korisne energije optimalno potrebne za zadovoljavanje energetskih potreba potrošača.

Na dijagramu su također prikazani udjeli primarne i sekundarne energije po sektorima potrošnje energije:

- opći: domaćinstva, uslužne djelatnosti, građevinarstvo, šumarstvo i poljoprivreda
- promet: cestovni, šinski, vodeni i zračni
- industrija.

Uspoređujući taj dijagram sa sličnim dijagramima za razvijene zemlje, mogu se ustanoviti razlike zanimljive za RKE:

- neenergetska potrošnja energije u Hrvatskoj (12,5%) znatno je viša nego u razvijenim zemljama (SR Njemačka 1984. oko 7%),



Slika 1. Sankeyev dijagram toka energije za SR Hrvatsku 1985. godine

- udio potrošnje energije u industriji prosječno je visok u odnosu prema razvijenim zemljama, i
- gubici energije u svim fazama i u svim sektorima su prosječno visoki u odnosu prema razvijenim zemljama.

Iz toga proizlazi da je potencijal RKE u Hrvatskoj značajan usprkos činjenici da je potrošnja energije po stanovniku znatno niža u razvijenim zemljama. Predložen je niz mjera u [6] i [7] za realizaciju energetskog potencijala RKE u svim fazama i sektorima toka energije.

Na osnovi iskustava iz razvijenih zemalja kao i početnih iskustava kod nas može se ocijeniti da je dosljednim provođenjem mjera RKE moguće ostvariti godišnje uštede energije u odnosu na ukupnu energiju koja bi se potrošila bez tih mjera, izražene kao potencijal RKE:

teorijski	4% god.
tehnički	2% god.
ekonomski	1% god.
sadašnje korištenje [1]	oko 1% god.

Razvoj potrošnje primarne energije s tim stopama rasta prikazan je na slici 2. zajedno s razvojem potrošnje bez RKE prema [1].

Kao što se vidi iz slike 2, s procijenjenim tehnički iskoristivim potencijalom RKE moglo bi se oko 2000. godine postići zaustavljanje rasta ukupne energije, što je u mnogim razvijenim zemljama postignuto iza 1973. godine.

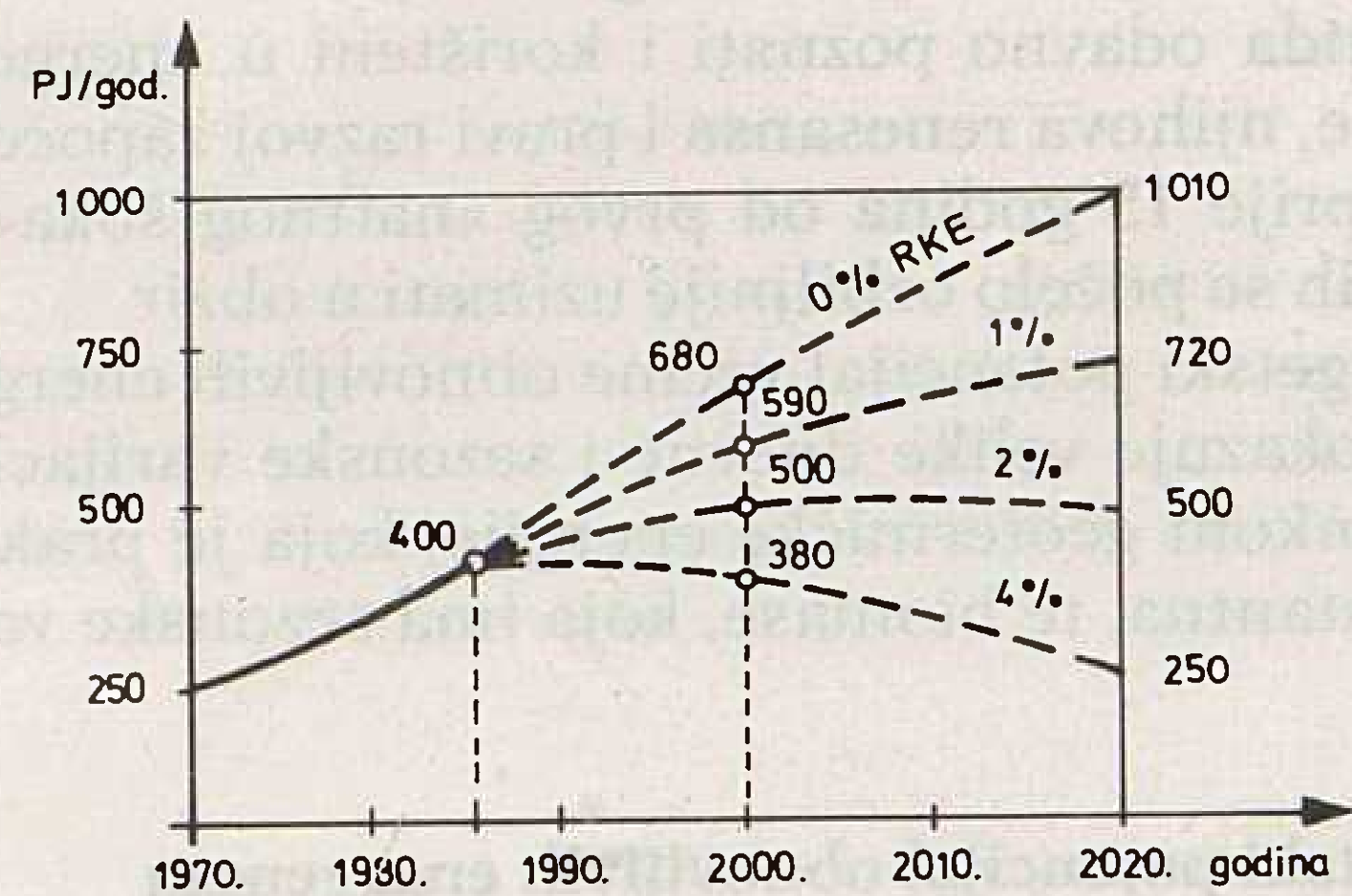
Ekonomičnost RKE odnosno ušteda energije može se ocjenjivati uobičajenim metodama usporedbe cijena uštedene i novoprodukovane energije ili na osnovi vrijednosti uštedenog goriva i beneficija za smanjeno zagađivanje okoliša. Za brzu ocjenu ekonomičnosti uštede energije služi amortizacijsko razdoblje uštede  $Z$ :

$$Z = \frac{I}{U} \text{ (god.)}$$

$I$  (dinara) — investicija u uštedu  
 $U$  (dinara/god.) — godišnja ušteda.

Ako je  $Z > 2,5$  godine, potreban je detaljniji ekonomski proračun opravdanosti uštede energije.

Ako je  $Z < 2,5$  godine, ne treba detaljniji ekonomski proračun — ušteda se isplati.



Slika 2. Razvoj potrošnje primarne energije u SR Hrvatskoj s racionalnim korištenjem energije (RKE) i bez njega

Kao primjer RKE navedimo studiju sanaciju toplinske izolacije kotlova i parovoda u jednom industrijskom kombinatu [9]. Termovizijskim snimanjem postojeće toplinske izolacije ustanovljeno je da su toplinski gubici kroz izolaciju znatno viši od optimalnih. Provedena analiza pokazala je da se uštedom goriva (oko 3%) zamjena izolacije isplati za oko pola godine.

## OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Obnovljivi izvori energije, interesantni za Hrvatsku, jesu:

- biomasa (poljoprivredni, drvni i komunalni otpaci),
- solarna energija (aktivna i pasivna),
- geotermička energija (hidrogeotermija do 3 km dubine),
- energija vjetra,
- male vodne snage (male HE i neiskorišteni izgrađeni vodni padovi),
- morski valovi,
- ostali (korištenje topline okoliša toplinskim pumpama itd.).

Osim naziva obnovljivi, za te izvore energije koriste se i drugi nazivi, kao što su alternativni, nekonvencionalni, novi, regenerativni, dodatni ili neiscrpivi izvori energije. Svaki od tih naziva ocrta određenu karakteristiku ili stav prema tim izvorima energije. Naziv dodatni izvori odnosi se na sadašnjost i bližu

budućnost, a alternativni izvori vjerojatno na dalju budućnost.

U svakom slučaju era intenzivnijeg korištenja obnovljivih energenata počela je bez obzira na naziv.

Zajedničke karakteristike obnovljivih energenata u odnosu na fosilne i nuklearne su:

- tehnički i ekonomski iskoristivi energetske potencijal se obnavlja stalno, odnosno praktički su neiscrpivi
- ekološki su povoljniji jer manje zagađuju i ugrožavaju okoliš
- znatno manje su energetske gustoće, pa stoga njihove energetske transformacije zauzimaju veći prostor i zahtijevaju više investicije odnosno investicijske troškove
- pogonski troškovi su mnogo niži
- premda odavno poznati i korišteni u energetske svrhe, njihova renesansa i pravi razvoj započeli su tek prije 15 godina od prvog »naftnog šoka«, otkad ih se počelo ozbiljnije uzimati u obzir
- energetske potencijal većine obnovljivih energenata pokazuje velike dnevne i sezonske varijacije, s iznimkom geotermičke energije, koja je praktički konstantna, te biomase, koja ima sezonske varijacije.

### Energetski potencijal obnovljivih energenata

Bilanciranje energetske potencijala obnovljivih energenata vrlo je složen zadatak, ovisan o brojnim parametrima, pa se stoga i procjene potencijala kreću u vrlo širokom rasponu — od samo nekoliko posto paušalne procjene za Hrvatsku [1], preko 5 ÷ 6%

do 2000. godine za zemlje evropske zajednice [10], do mnogo većih vrijednosti. U tablici 2. su prema [12] i [13] rezimirane procjene energetske potencijala svijeta i Jugoslavije izraženog u električnoj energiji.

**Tablica 2. Energetski potencijal obnovljivih izvora energije svijeta i Jugoslavije izražen u električnoj energiji**

Izvor energije	Potencijal (TWh/god.)		Udio (%)	
	svijet	Jugoslavija	svijet	Jugoslavija
biomasa	1 930	13,2	15	18
bioplina	1 529	7,48	12	9
solarna energija	2 362	21,74	19	27
geotermalna energija	1 264	6,41	10	8
vjetar	1 800	15,36	14	19
valovi	1 250	4,19	10	5
muskularna snaga životinja	2 450	11,22	20	14
ukupno	12 585	79,6	100	100
sadašnja proizvodnja el. en.	9 500	75	75,5	94
razlika	+ 3 085	+4,6	+ 24,5	+ 6

U tablicu 2. unesena je i muskularna snaga životinja, koja se obično ne prikazuje u energetske bilancama, ali je interesantna zbog visokog iznosa.

**Tablica 3. Bilanca obnovljivih izvora energije SR Hrvatske (PJ/god.)**

Izvor energije	Sadašnje korištenje	Potencijal			Primjedba	
		ekonomski	tehnički	teorijski		
a) B I O M A S A	a1. poljoprivredni otpaci — ratarstvo	0,1	10	15	50	
	a2. poljoprivredni otpaci — stočarstvo	—	2	3	10	
	a3. komunalni kruti otpaci	—	4	6	15	
	a4. komunalne otpadne vode	—	1	2	5	
	a5. drvni otpaci	0,3	3	4	10	
	ukupno	0,4	20	30	90	T + E
b)	sunce	0,2	3	90	48 000	T + E
c)	geometrija	0,3	14	100	4 900	T + E
d)	vjetar	—	5	15	350	E
e)	male HE	—	8	10	20	E
f)	valovi	—	5	10	100	E
g)	ostali	0,1	2	5	20	T
	sveukupno	1	57	260	53 480	
	udio u potrošnji energije 1985. (oko 400 PJ/god.)	0,25%	14,3%	65%	134 puta	

Primjedba T — korištenje za proizvodnju toplinske energije  
E — korištenje za proizvodnju električne energije

Radi usporedbe, u tablici 2. navodi se i sadašnja proizvodnja električne energije. Vidi se da po toj procjeni potencijal obnovljivih izvora energije u svijetu i kod nas premašuje sadašnju proizvodnju električne energije. To bi odgovaralo oko 35% od primarne energije u Jugoslaviji, odnosno oko 30% bez musku-larne snage.

Na osnovi brojnih podataka iz literature [11], [12], [13] itd. učinjeni su proračuni i procjene potencijala obnovljivih izvora energije u Hrvatskoj. Rezultati su prikazani u tablici 3.

Napomene uz tablicu 3:

- Potencijali su zbog mogućnosti usporedbe s fosilnim izvorima energije smanjeni u omjerima stupnjeva pretvorbe obnovljivih i fosilnih energenata.
- Teorijski potencijali sunca, geotermije i vjetra smanjeni su na oko 1/3 originalnih vrijednosti da bi se mogli sumirati.

Kao što se vidi iz tablice 3. udio obnovljivih izvora u potrošnji energije Hrvatske mogao bi biti značajan, što se može objasniti činjenicom da su praktički svi prisutni u natprosječnom iznosu. Treba, također, imati na umu da svaki postotak povećanja udjela obnovljivih izvora energije znači za Hrvatsku smanjenje zagađivanja atmosfere.

Odnosi sadašnjeg korištenja i potencijala su prema tablici 3:

- sadašnje korištenje predstavlja oko 0,4% tehničkog odnosno 1,8% ekonomskog potencijala
- ekonomski potencijal predstavlja oko 0,1% teorijskog odnosno 22% tehničkog potencijala
- tehnički potencijal predstavlja oko 0,5% teorijskog potencijala

## ULJNI ŠKRILJEVCI

Uljni škriljevci su sedimentno stijenje s više ili manje organske tvari (kerogen), koja izgaranjem daje toplinu i lako se termički razlaže na tekuća goriva i visokokalorični plin. Smatra se da su uljni škriljevci nastali taloženjem planktona i fitoplanktona u oceanima i morima, te njihovom razgradnjom bez prisutnosti kisika na morskom dnu u razdoblju od drevnog paleozoika do tercijara [14].

Geološke rezerve uljnih škriljevaca ogrjevne vrijednosti veće od 4,2 MJ/kg do dubine 2 000 metara u svijetu prema stanju istraživanja do 1975. godine prikazane su u tablici 4 [14].

**Tablica 4. Svjetske geološke rezerve uljnih škriljevaca  $H_u > 4,2$  MJ/kg do dubine 2 000 m (stanje 1975.)**

Područje	Rezerve ( $10^9$ tona)
Amerika	450 000
SSSR	2 587
Azija	434
Zapadna Evropa	127
Afrika	4
Svijet	Preko 455 000

Kao što se vidi kudikamo najveće poznate rezerve su u Americi (98,9%), i to:

SAD  $431\,000 \cdot 10^9$  tona (94,7%)  
Brazil  $16\,000 \cdot 10^9$  tona.

Procjenjuje se da svjetske rezerve uljnih škriljevaca energetski potencijalom ne zaostaju za naftom i plinom zajedno [14].

Uljni škriljevci se mogu koristiti na dva načina:

- izravnim izgaranjem za proizvodnju energije
- preradom u naftu i druge sirovine.

Drugi postupak je još preskup, pa se nije razvio i proširio.

Izravno izgaranje škriljevaca za proizvodnju energije u termoelektranama i toplanama najviše se razvilo u Estoniji u SSSR-u (oko 3 100 MW i 18 TWh u 1986. godini), a razvija se u Rumunjskoj i Izraelu. U SSSR-u se koriste škriljevci s ogrjevnom vrijednošću većom od 6 MJ/kg, a takve rezerve tamo predstavljaju oko polovinu od geoloških rezervi. Gubici pri dobivanju škriljevaca iznose oko 20%.

I kod nas se pretpostavlja da za naše prilike postoje znatne rezerve uljnih škriljevaca u Srbiji, Makedoniji i Hrvatskoj. Procjene se kreću oko  $11 \cdot 10^9$  tona, a to predstavlja energetski potencijal veći od naših rezervi nafte i plina [15]. U Srbiji se uljni škriljevci koriste kao gorivo u ciglarskoj i cementnoj industriji [16].

Pretpostavlja se da su u Hrvatskoj nalazišta uljnih škriljevaca raspoređena u Lici, Dalmaciji i Istri. Smatra se da je Lika najperspektivnija. Tamo je kod Baljevca prije i neposredno poslije rata radila »minirafinerija« koja je iz uljnih škriljevaca godišnje proizvodila 2,5 tone ulja za liječenje. Dosadašnja vrlo skromna istraživanja, koja su u toku (INA), identificirala su dva nalazišta:

- brdo Poštak kod Gračaca i
- Koreničko vrelo ( $H_o = 8,6 \div 20$  MJ/kg).

Neslužbena procjene rezervi bazirane na starim izvještajima kreću se za Poštak oko  $5,5 \cdot 10^9$  tona i Koreničko vrelo oko  $80 \cdot 10^9$  tona. Očekivani raspon donjih ogrjevnih vrijednosti se pretpostavlja od  $4 \div 10$  MJ/kg (prosjek 7 MJ/kg).

Na osnovi tih podataka proračunat je energetski potencijal uljnih škriljevaca u Hrvatskoj, a rezultati su prikazani u tablici 5.

**Tablica 5. Pretpostavljeni energetski potencijal uljnih škriljevaca u SR Hrvatskoj**

Vrsta potencijala	Rezerve ( $10^9$ t)	Godišnja proizvodnja za 100 god. ( $10^9$ t/god.)	Energetski potencijal (PJ/god.)
teorijski	4,4	44	308
tehnički iskoristivi	1,5	15	105
ekonomski iskoristivi	0,75	7,5	52,5

Kao što se vidi iz tablice 5, pretpostavljeno je da je 34% teorijskog potencijala tehnički iskoristivo, a od toga 50% ekonomski iskoristivo.

## BILANCA DOPUNSKIH IZVORA ENERGIJE

Na temelju izloženih razmatranja sastavljena je bilanca dopunskih izvora energije prikazana u tablici 6.

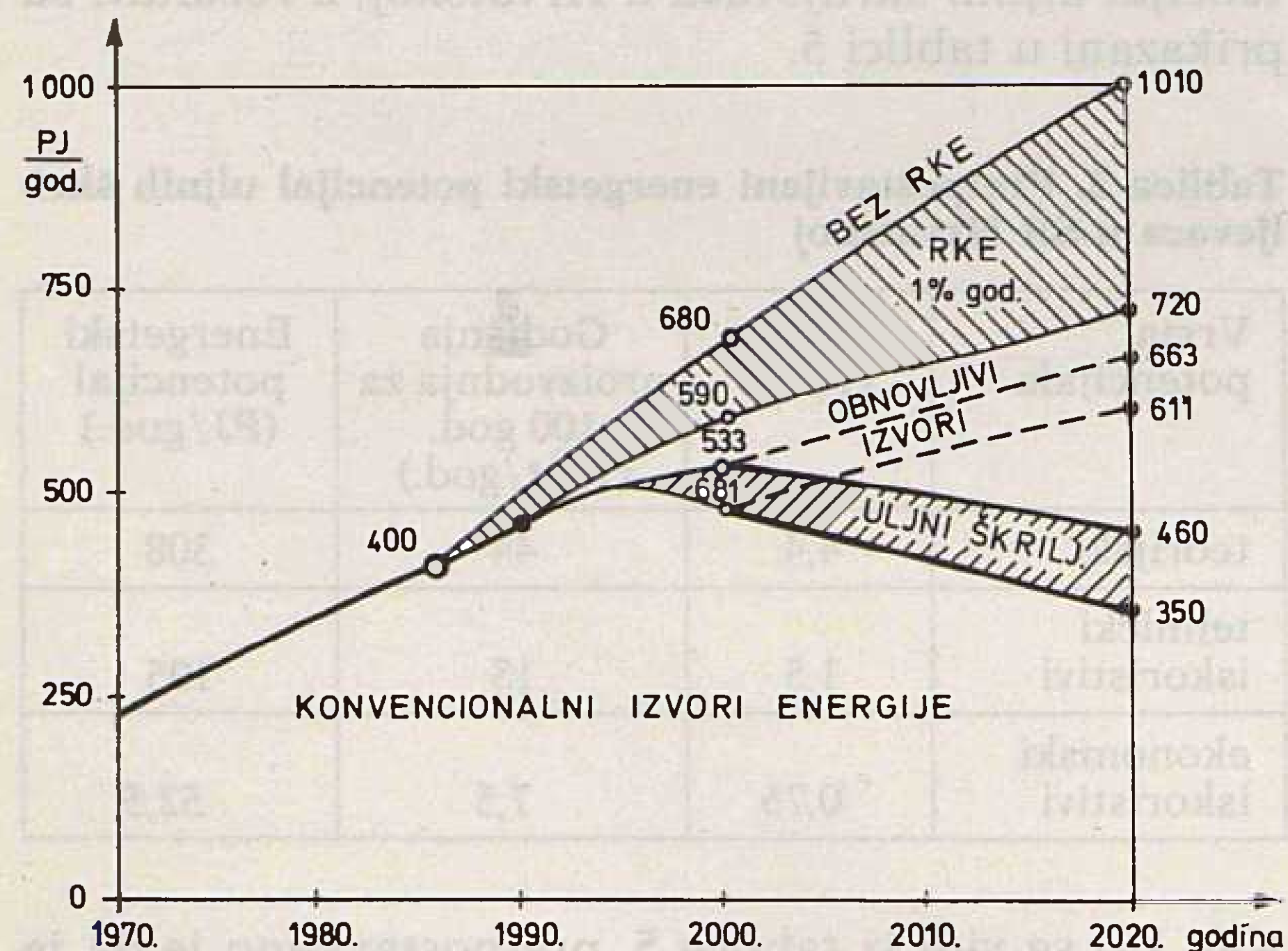
Tablica 6. Bilanca dopunskih izvora energije SR Hrvatske (PJ/god.)

Izvor energije	Sadašnje korištenje	Potencijal		
		Ekonomski iskoristivi	Tehnički iskoristivi	Teoretski
racionalno korištenje energije	15*	2 000 : 90* 2 020 : 290	180* 510	300* 760
obnovljivi energenti	1	57	260	53 480
uljni škriljevci	0	52,5	105	308
Ukupno	16	2 000 : 199,5 2 020 : 399,5	545 875	54 088 54 448
udio u potrošnji energije 2000. g. (oko 680 PJ/god.)	0,9	29%	80%	8 000%
ibid 2020. g. (oko 1 010 PJ/god.)	0,6%	40%	87%	5 400%

\* Kumulativno (slika 2)

Za ilustraciju podataka iz tablice 6. prikazana je na slici 3. struktura ukupno potrebne energije u Hrvatskoj za pretpostavljeni scenarij, po kojem se stalno koristi ekonomski potencijal RKE od 1% god., korištenje obnovljivih izvora energije i uljnih škriljevaca započinje 1990. godine i odvija se do 2000. godine u okviru ekonomski iskoristivog potencijala, a od 2000–2020. godine povećava se od ekonomski do tehnički iskoristivog potencijala. Po tom scenariju, kao što se vidi iz slike 3, konvencionalni izvori energije u apsolutnom iznosu rastu negdje do 2000. godine, a zatim se počinju smanjivati.

Naravno da su mogući i drugi scenariji, s manjim ili većim učešćem tzv. dopunskih izvora energije. No, bez obzira na to, iz tablice 6. i slike 3. može se zaključiti da bi uloga tih izvora u energetici Hrvatske mogla u budućnosti biti značajna. U kojoj mjeri će se to ostvariti, ovisi ponajviše o sredstvima koja će se ulagati u njihov razvoj i intenzivnije korištenje.



Slika 3. Struktura ukupno potrebne energije u Hrvatskoj

Kao što se vidi iz tablice 6. i slike 3, najveći potencijal leži u racionalnom korištenju energije, zatim u obnovljivim izvorima energije i u uljnim škriljevcima. U principu taj redoslijed vrijedi i sa stajališta ekonomičnosti i ekološke povoljnosti, što se ogleda i u odnosima njihova sadašnjeg korištenja.

Kao primjer navodimo kretanje planirane i ostvarene potrošnje električne energije u SR Hrvatskoj u 1986. i 1987. godini, prikazane u tablici 7. prema [3] i [5].

Tablica 7. Planirana i ostvarena potrošnja električne energije u SR Hrvatskoj

Godina		1985.	1986.	1987.
Planirano	potrošnja (TWh)	14,3	14,91	15,54
	stopa rasta (%)		4,24	4,24
Ostvareno	potrošnja (TWh)	14,3	14,47	14,77
	stopa rasta (%)		1,2	2,1
Razlika	potrošnja (TWh)		-0,44	-0,77
	stopa rasta (%)		-3,04	-2,14

Iz tablice 7. vidi se da su ostvarene znatno niže stope rasta električne energije nego što je planirano, što treba pripisati racionalnijem korištenju energije pod utjecajem ispravljanja dispariteta cijena između pojedinih energenata, odnosno bržem rastu cijena električne energije.

## ZAKLJUČAK

Razmatrani dopunski izvori energije — racionalno korištenje energije, obnovljivi izvori energije i uljni škriljevci — mogli bi zauzeti mnogo značajnije mjesto u energetske bilancama SR Hrvatske nego što im to službeni planovi pripisuju.

S ekonomski iskoristivim potencijalom mogli bi pokriti oko 30% ukupne potrošnje energije u 2000. godini, odnosno 40% u 2020. godini. Službeni planovi predviđaju znatno manje vrijednosti! Tehnički iskoristivi potencijal im je viši od dva puta veći od ekonomski iskoristivoga.



Premda se rezultati ove analize temelje na određenim pretpostavkama, koje zahtijevaju dalja detaljnija istraživanja, nesumnjivo je da je s obzirom na izrazitu oskudicu primarnih energenata u SR Hrvatskoj potrebno mnogo više pažnje i sredstava nego dosada upotrijebiti za istraživanja, razvoj i korištenje tih dopunskih izvora energije. Veće korištenje dopunskih izvora energije znači ne samo smanjivanje uvoza primarnih energenata nego i znatno smanjivanje zagađivanja okoliša, a razvoj odgovarajućih tehnologija, koje su lako dostupne našoj industriji, znači povećanje eksportnih mogućnosti domaće industrije.

## LITERATURA

- [1] Osnove dugoročnog razvoja energetike SR Hrvatske, RKEIRZ Zagreb, 12. 1987.
- [2] B. VUK, N. BILČAR, I. ŠIMURINA: »Efikasnost korištenja energije u industriji«, Institut za elektroprivredu Zagreb, 4. 1987.
- [3] D. PEŠUT, J. TOPIĆ: »Analiza potrošnje energije u Jugoslaviji i SR Hrvatskoj«, Energija 37 (1988), br. 2 i br. 3.
- [4] D. KRIŠKOVIĆ: »Korelacija proizvodnje električne energije i nacionalnog produkta u vremenskom rasponu«, X Kongres o energiji, Opatija, 4. 1988.
- [5] Statistički pregled elektroprivrede SR Hrvatske, Energija 35 (1986), br. 6.
- [6] Program dugoročnih mjera za racionalizaciju, supstituciju i štednju energije, Beograd 1987.
- [7] Program racionalnog korištenja energije, RKEIRZ Zagreb, 7. 1988.
- [8] D. SEIFRIED: »Gute Argumente: Energie«, Verlag C. H. Beck München 1986.
- [9] V. POTOČNIK, Belišće-Bel: »Studija racionalizacije toplinskih gubitaka parnih kotlova i parovoda«, Elektroprojekt Zagreb, 1988.
- [10] V. KANDIJA: »Nuklearna energija u energetskej politici evropske zajednice«, Energija 37 (1988.) br. 3.
- [11] H. POŽAR: »Izvori energije«, SNL Zagreb, 1980.

- [12] I. KOLIN: »Vrednovanje geotermalnih izvora u svijetu«, Savjetovanje »Racionalno korištenje, projektiranje i eksploatacija energetskih postrojenja i instalacija«, Poreč, 3. 1988.
- [13] I. KOLIN: »Značaj geotermalne energije u Jugoslaviji«, X. kongres o energiji, Opatija 4. 1988.
- [14] J. A. RUNDIGIN: »Niskotemperaturne žiganije slanice«, Energoatomizdat, Lenjingrad, 1987.
- [15] B. PETROVIĆ: »Jesu li škriljci nasljednici nafte«, Vjesnik 5. 3. 1988.
- [16] I. R.: »Nalazišta uljnih škriljevaca«, Energija 36 (1987), br. 5.

## POTENCIAL OF ALTERNATE POWER SOURCES IN SR CROATIA

In the paper is presented a first balance of alternate power sources in SR Croatia. Results present good prospects of alternate power sources in SR Croatia, that is poor in prime power sources.

## POTENTIAL DER ERGÄNZENDEN ENERGIEQUELLEN DER SR KROATIEN

Dies ist der erste Versuch eines Bilanzaufstellens der zusätzlichen Energiequellen für die SR Kroatien. Die Ergebnisse zeigen, daß die Rolle der zusätzlichen Energiequellen in der SR Kroatien die sonst arm an Quellen der primären Energie ist, größer als die bisherige sein könnte.

## ПОТЕНЦИАЛ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ СР ХОРВАТИИ

Это первая попытка суммарного подведения баланса дополнительных источников энергии для СР Хорватии. Результаты показывают, что роль дополнительных источников энергии в СР Хорватии, бедной, вообще говоря, источниками первичной энергии, может быть гораздо больше вышедшей до сих пор.

Naslov pisca:

**Mr. Vladimir Potočnik, dipl. inž.  
Elektroprojekt  
Proleterskih brigada 37  
41000 Zagreb, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1988-07-28

**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 telekomunikacio-  
nih uređaja, te svojim vozilom marke

**Kaelble**

i prikolicom

**Scheuerle**

prevozi teški teret do 120 tona.

---

**OUR ELEKTROPRENOS - ZAGREB**

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

# NEKA SAZNANJA O KOORDINACIJI IZOLACIJE OKLOPLJENIH POSTROJENJA IZOLIRANIH PLINOM SF<sub>6</sub>

Dr. Ivo Uglešić, Zagreb

UDK 621.315.61

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U koordinaciji izolacije SF<sub>6</sub> postrojenja bitna je zaštita od atmosferskih prenapona. Metode koordinacije izolacije koriste proračune na modelima. Ispitani su razni utjecaji modeliranja na rezultate proračuna. Na postavljenom modelu provedeni su proračuni ispitivanja izvedenih postrojenja udarnim naponom. Pritome se došlo do nekih saznanja važnih za ispitivanja.

**Ključne riječi:** koordinacija izolacije, SF<sub>6</sub> postrojenje, atmosferski prenaponi, modeli, proračuni.

## 1. UVOD

Elektronegativni plin SF<sub>6</sub> koji služi kao izolator u postrojenju podnosi sklopne, a pogotovo dugotrajne prenapone. Volt-sekundu karakteristiku plina SF<sub>6</sub> prelaze jedino atmosferski prenaponi i prenaponi nastali zbog povratnih preskoka prilikom uklapanja i isklapanja rastavljača. Ovi posljednji imaju vrlo velike strmine čela, a po iznosu mogu nekoliko puta prijeći iznos pogonskog napona. Međutim, prevladava mišljenje da, zbog njihova ekstremno kratkog trajanja, ne treba poduzimati posebne zaštitne mjere u postrojenjima. Ostaje da se kod koordinacije izolacije SF<sub>6</sub> postrojenja dovoljno pažnje posveti zaštiti od atmosferskih prenapona. Čak se smatra da bi se dobrom zaštitom od atmosferskih prenapona stvorili preduvjeti za smanjenje stupnja izolacije opreme.

Princip zaštite SF<sub>6</sub> postrojenja od atmosferskih prenapona drugačiji je negoli pri zaštiti klasičnih ras-klopnih postrojenja.

Kod potonjih se ponajprije štiti energetski transformator kao najskuplji dio opreme, a zaštita ostalih dijelova postrojenja razmatra se nakon toga. Kod zaštite SF<sub>6</sub> postrojenja, isto tako kao kod zaštite energetskog transformatora, važna je i zaštita samog postrojenja. Oštećenja i kvarovi koje uzrokuju prenaponi u oklopljenim postrojenjima vrlo su neugodni i skupi za uklanjanje. Zato se u zaštiti SF<sub>6</sub> postrojenja odvodnici prenapona redovito postavljaju ispred postrojenja. Ako se radi o postrojenju manjih dimenzija, tada odvodnik prenapona koji je postavljen ispred postrojenja štiti postrojenje i priključeni transformator. Kod postrojenja većih dimenzija može se dogoditi da se transformator ne nalazi u zaštitnoj zoni odvodnika. Tada je potrebno postaviti dodatni odvodnik prenapona ispred transformatora. Kada zbog nedostatka prostora to nije moguće učiniti, pribjegava se drugačijim rješenjima. Obično se koriste oklopljeni odvodnici prenapona, koji se priključuju unutar

postrojenja. Ovi su odvodnici skuplji od klasičnih izvedbi odvodnika, ali je ponekad njihova upotreba neizbježna.

## 2. ZAŠTITA OD ATMOSFERSKIH PRENAPONA

Postupak izbora prenaponske zaštite sastoji se u odabiranju odgovarajućeg odvodnika prenapona, nakon čega se provjerava da li je uz odabrani odvodnik zadovoljen izolacijski nivo postrojenja, ili se utvrđuje koji je izolacijski nivo postrojenja potreban uz odabrani odvodnik.

Danas postoji i mišljenje da bi se prenaponska zaštita svih novoprojektiranih postrojenja trebala zasnovati na cink-oksidovim (ZnO) odvodnicima prenapona [1]. Upute za izbor odgovarajućeg ZnO odvodnika daje proizvođač odvodnika prenapona.

Potrebni izolacijski nivo postrojenja može se odrediti empirijskim, determinističkim ili stohastičkim metodama.

Empirijske metode mogu se iskoristiti za jednostavnije konfiguracije postrojenja, kod kojih se, uz pomoć postojećih proračuna za slična postrojenja, može na osnovi iskustava odrediti prenaponska zaštita.

Determinističke metode polaze u proračunima od najnepovoljnijih mogućih prilika. Poremećaj se predstavlja strujnim ili naponskim valom. Kod udara groma u dalekovod na većoj udaljenosti od postrojenja (»udaljeni udar«) poremećaj je predstavljen naponskim valom. Ovako će se računati uvijek kada se smatra da je dalekovod ispred postrojenja dovoljno dobro zaštićen od direktnog udara u fazni vodič, kao i od povratnog preskoka s zaštitnog užeta na fazni vodič, ili obrnuto. To će biti onda kada je otpor uzemljenja nekoliko stupova od postrojenja dovoljno malen. Kod udara munje u dalekovod u neposrednoj blizini postrojenja (»bliski udar«) poremećaj je predstavljen strujnim valom. Pritom se redovi-

to razmatra povratni preskok, iako se nekada proračun provodi i za izravni udar. [2].

Poznate su i statističke metode koordinacije izolacije SF<sub>6</sub> postrojenja [3, 4, 5, 6]. Tu se obično koristi metoda Monte-Carlo, za odabir parametara proračuna poput polariteta, oblika i amplitude strujnog vala, mjesta udara, konfiguracije postrojenja i slično. Kao rezultat dobija se vjerojatnost kvara postrojenja u jednog godini.

Dosada su u praksi najviše korišteni deterministički proračuni, pa je njihova prednost ta da su potvrđeni iskustvom u pogonu.

Za vjerodostojnost rezultata determinističkog ili statističkog proračuna bitan je model u proračunu. Važno je poznavati utjecaje pojedinih parametara na rezultate proračuna, tako da se bitni parametri što točnije odrede.

### 3. UTJECAJ SLOŽENOSTI MODELA NA REZULTATE PRORAČUNA

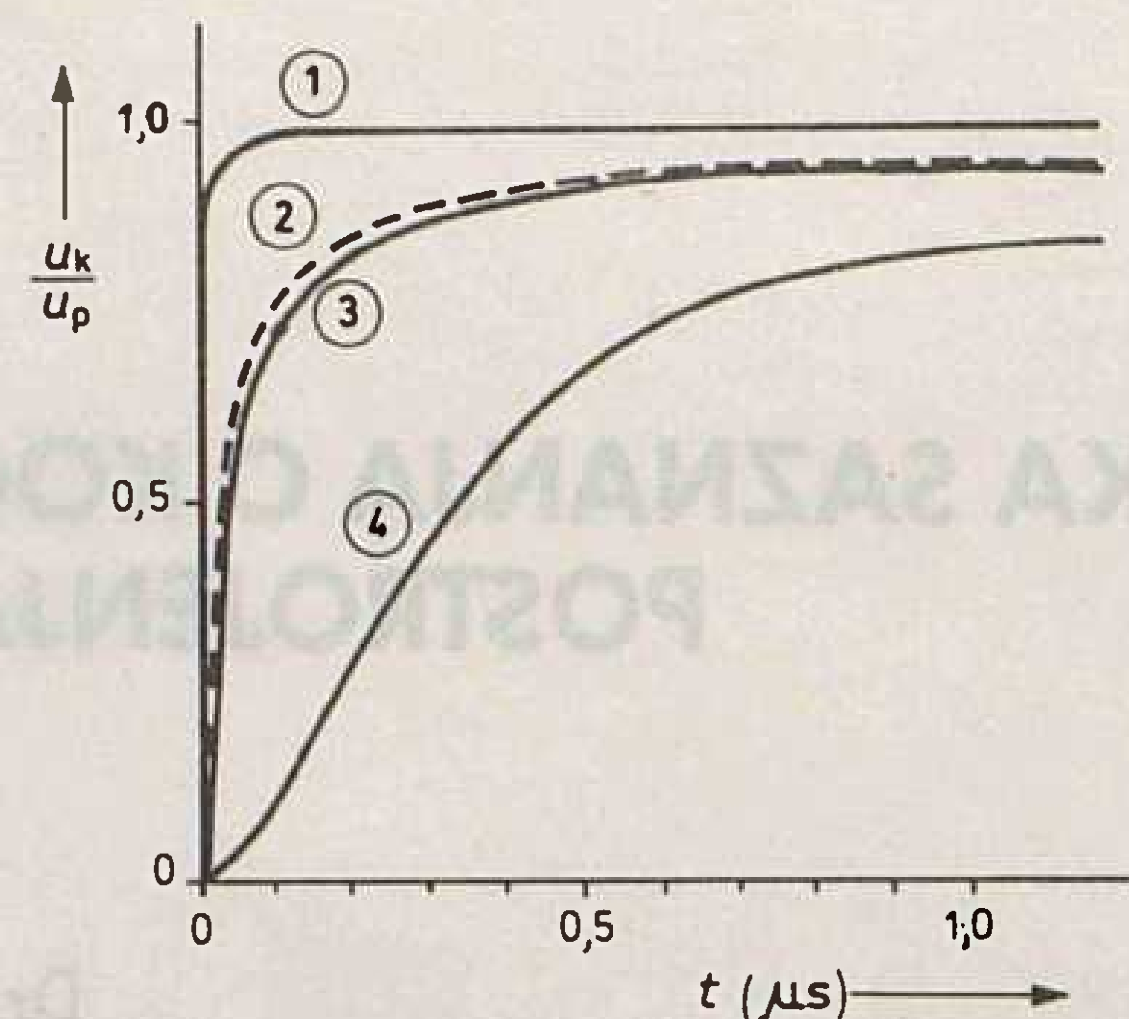
Pri proračunu treba modelirati dijelove dalekovoda i postrojenja, odvodnik prenapona, energetski transformator, te kabel ako je postrojenje preko njega priključeno na mrežu. Kada se radi o povratnom preskoku, nužno je poznavati valne otpore zaštitnog užeta, faznog vodiča i stupa dalekovoda, preskočnu karakteristiku izolatora, kao i impulsnu impedanciju uzemljivača. Kabel, sabirnice i dijelovi SF<sub>6</sub> postrojenja modeliraju se valnim otporima. Energetski transformator predstavlja se ekvivalentnim impulsnim kapacitetom. Odvodnik prenapona modelira se kao nelinearni otpor s poznatom strujnonaponskom karakteristikom.

#### 3.1. Frekvencijska ovisnost parametara

Strmine čela vala atmosferskih prenapona mogu biti vrlo velike. Posebno su vrlo strmi prenaponi koji se stvaraju nakon povratnog preskoka ili nakon proboja u plinu SF<sub>6</sub>. Zato parametre sistema treba modelirati u vrlo širokom frekventnom opsegu — do kojih 100 MHz.

Provedena je analiza utjecaja frekvencijske zavisnosti parametara sistema na rezultate proračuna. Na slici 1. prikazano je izobličenje i prigušenje pravokutnog vala nakon prolaska različitim vrstama vodiča dugog 1 000 m, prema [7]. Može se uočiti da jednofazni nadzemni vod i oklopljeni vodiči ne uzrokuju velika izobličenja. Pogotovo je za kraće duljine to zanemarivo. Najveći utjecaj uzrokuje energetski kabel, pa bi njegovu frekventnu zavisnost trebalo uzeti u obzir. Proračuni su pokazali da su iznosi prenapona nešto niži, a njihove strmine blaže kada se uzima u obzir frekventna ovisnost parametara kabela. Međutim, bitni utjecaji na rezultate proračuna uočavaju se tek kada je postrojenje priključeno preko kabela većih duljina (kilometar ili više).

Impulsna impedancija uzemljivača je frekvencijski i strujno zavisna. Jedan strujno zavisna model, koji se može iskoristiti za različite tipove uzemljivača, po-



Slika 1. Odziv vodiča dugog 1 000 m na napon jedinične funkcije: 1. oklopljeni vodič s aluminijem oklopom — 2. oklopljeni vodič s čeličnim oklopom — 3. jednofazni nadzemni vod — 4. energetski kabel

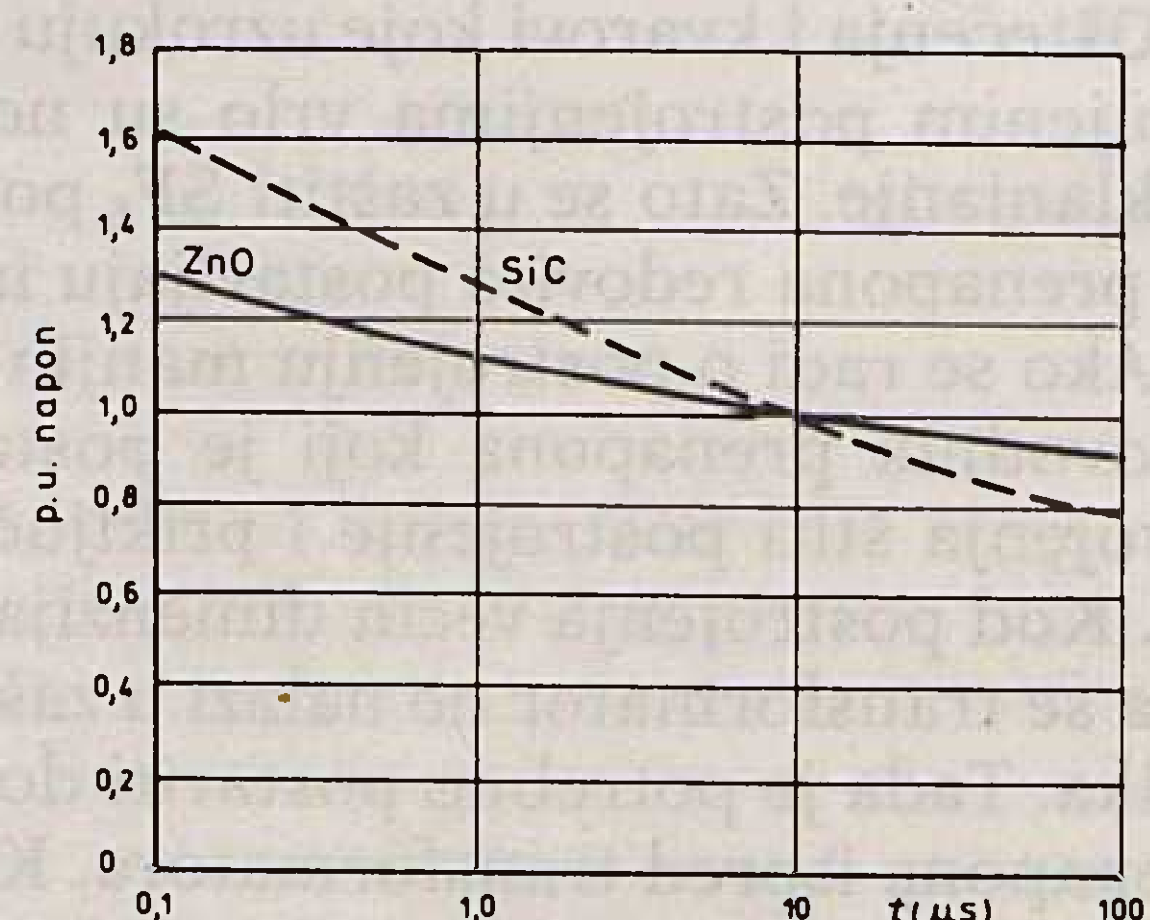
stavio je Popolansky na osnovi rezultata niza mjerenja. Međutim, nepovoljniji rezultati dobivaju se kada se za proračune iskoristi frekvencijsko zavisna model prstenastog uzemljivača, kakav je prikazan na slici 3.

#### 3.2. Model odvodnika prenapona

Nelinearnom strujnonaponskom karakteristikom mogu se predstaviti ventilni (SiC) odvodnici ili cink-oksidi (ZnO) odvodnici prenapona. SiC odvodnici, koji predstavljaju zaštitu najvećeg broja postojećih postrojenja, imaju iskrište tako da pri proračunu treba uzeti u obzir i karakteristiku prorađnog napona iskrišta.

Podatke o nelinearnoj karakteristici odvodnika daje proizvođač na osnovi ispitivanja strujom oblika 8/20 μs. Atmosferski prenaponi mogu imati mnogo kraću duljinu trajanja čela vala od 8 μs. Uz kraće trajanje čela vala, a uz istu amplitudu, bit će preostali napon odvodnika viši. Ovo povišenje dolazi do izražaja to više što je strmina struje veća, a kod SiC odvodnika ono je izraženije negoli kod odvodnika ZnO. U vezi s tim provedena su eksperimentalna ispitivanja [8]. Ako je struja veća strmine od one za koju je dana i-u karakteristika, onda se preostali napon odvodnika množi korekcijskim faktorom [9 — slika 2]. Ti su podaci dobiveni pokusima strujom 10 kA za različite duljine trajanja čela vala.

Model odvodnika s korigiranom i-u karakteristikom upotrijebljen je u jednom proračunu gdje je računa-

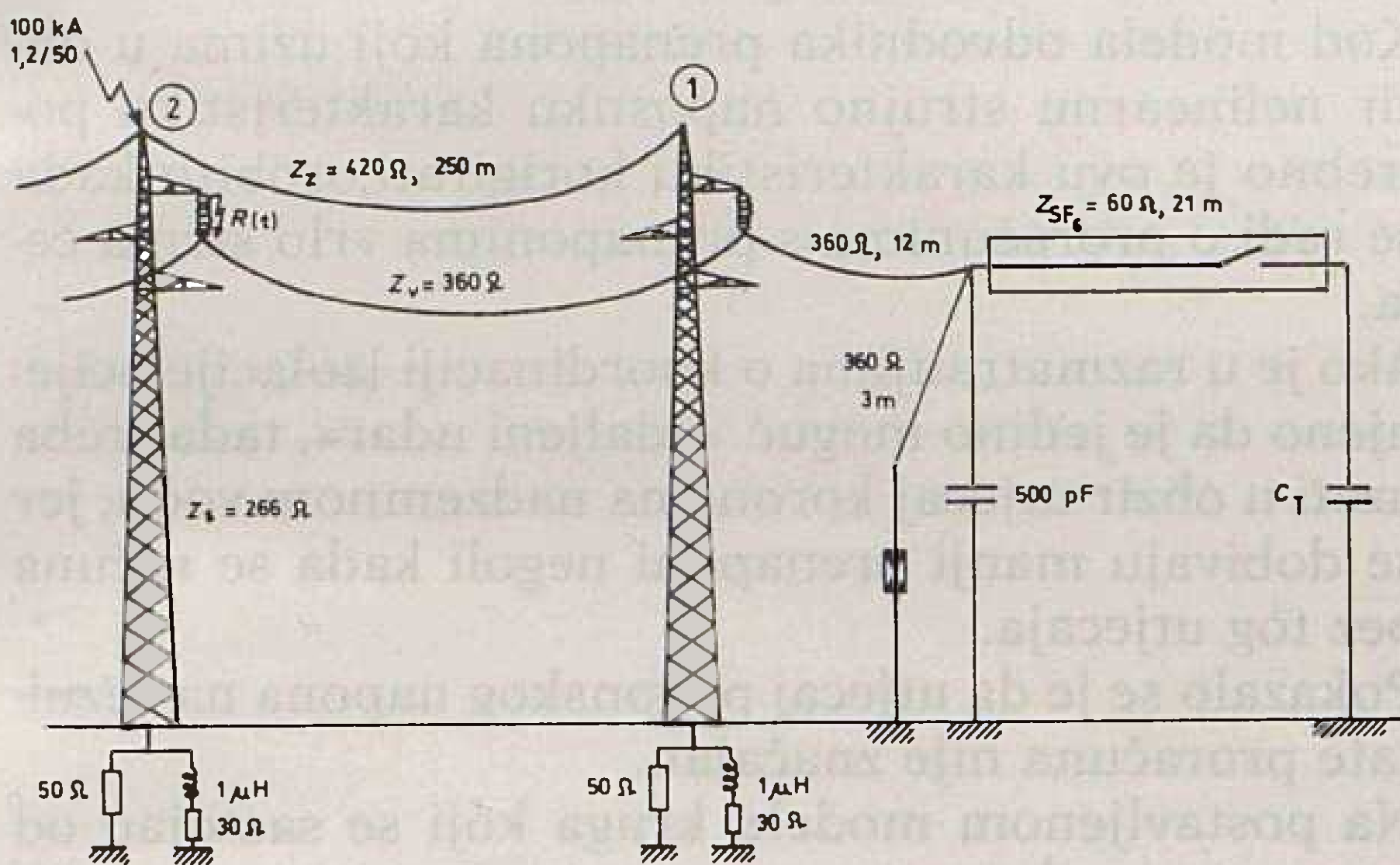


Slika 2. Povećanje preostalog napona za strujni val amplitude 10 kA kod SiC i ZnO odvodnika

to sa strujom groma vrlo velike strmine (oblik vala 0,1/20  $\mu$ s). Maksimalan napon na transformatoru bio je 22% veći nego onda kada ta karakteristika nije bila korigirana.

### 3.3. Utjecaj pogonskog napona

Na sklopu sa slike 3. promatran je utjecaj napona pogonske frekvencije na odvijanje prijelazne pojave u postrojenju 110 kV. Pretpostavljeno je da u času nastanka povratnog preskoka na fazni vodič napon ima maksimalnu vrijednost suprotnog polariteta. Za proračun je odabrana vrijednost struje groma od 100 kA, čija je vjerojatnost između 1 – 4%, prema raspodjelama koje daju različiti autori. Oblik vala je standardni 1,2/50  $\mu$ s. Grom udara u drugi stup, na kojem dolazi do povratnog preskoka. Prvi stup ispred postrojenja ima nešto niži otpor uzemljenja. Preskok na fazni vodič nastaje kada prenapon prijeđe V-t karakteristiku izolatora stupa. Zaštitni i fazni vodiči, te stup dalekovoda predstavljeni su valnim impedancijama s naznačenim vrijednostima. SiC odvodnik prenapona priključen je ispred postrojenja. Kapacitet provodnog izolatora je 500 pF. Valni otpor SF<sub>6</sub> postrojenja iznosi 60 oma. Rastavljač ispred transformatora je otvoren. U takvoj konfiguraciji pojavljuju se maksimalni prenaponi.

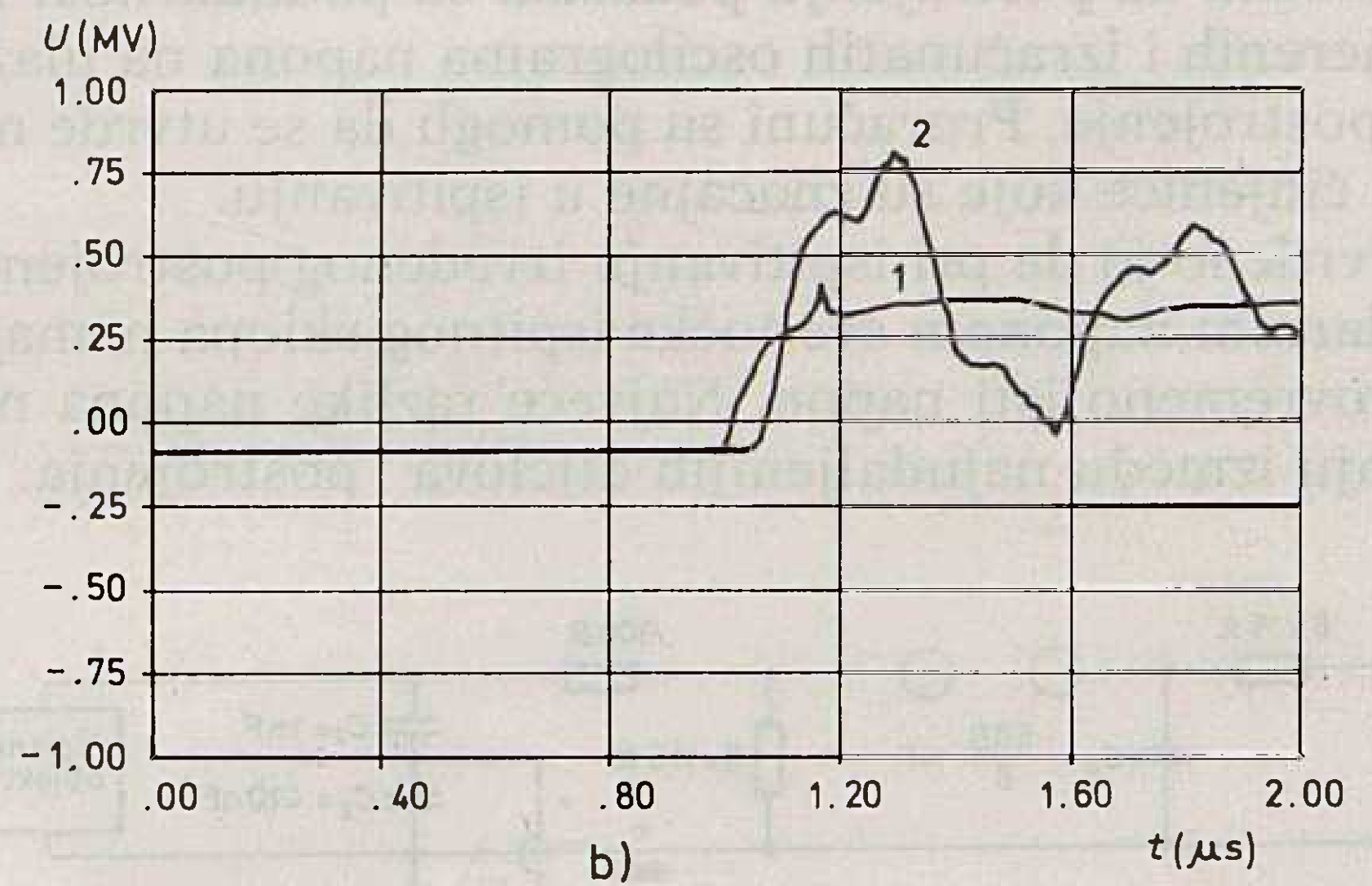
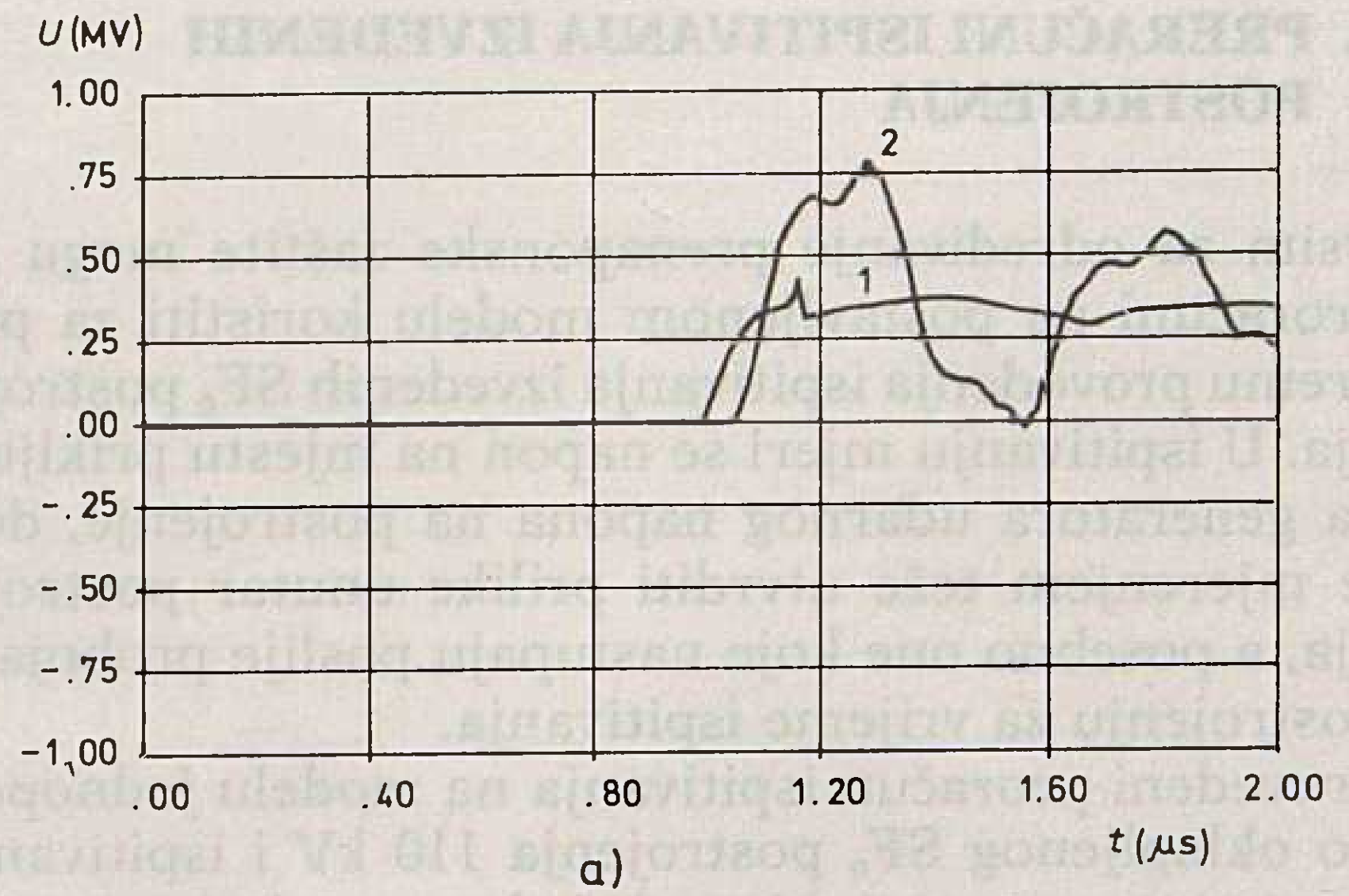


Slika 3. Udar groma u drugi stup od rasklopnog postrojenja

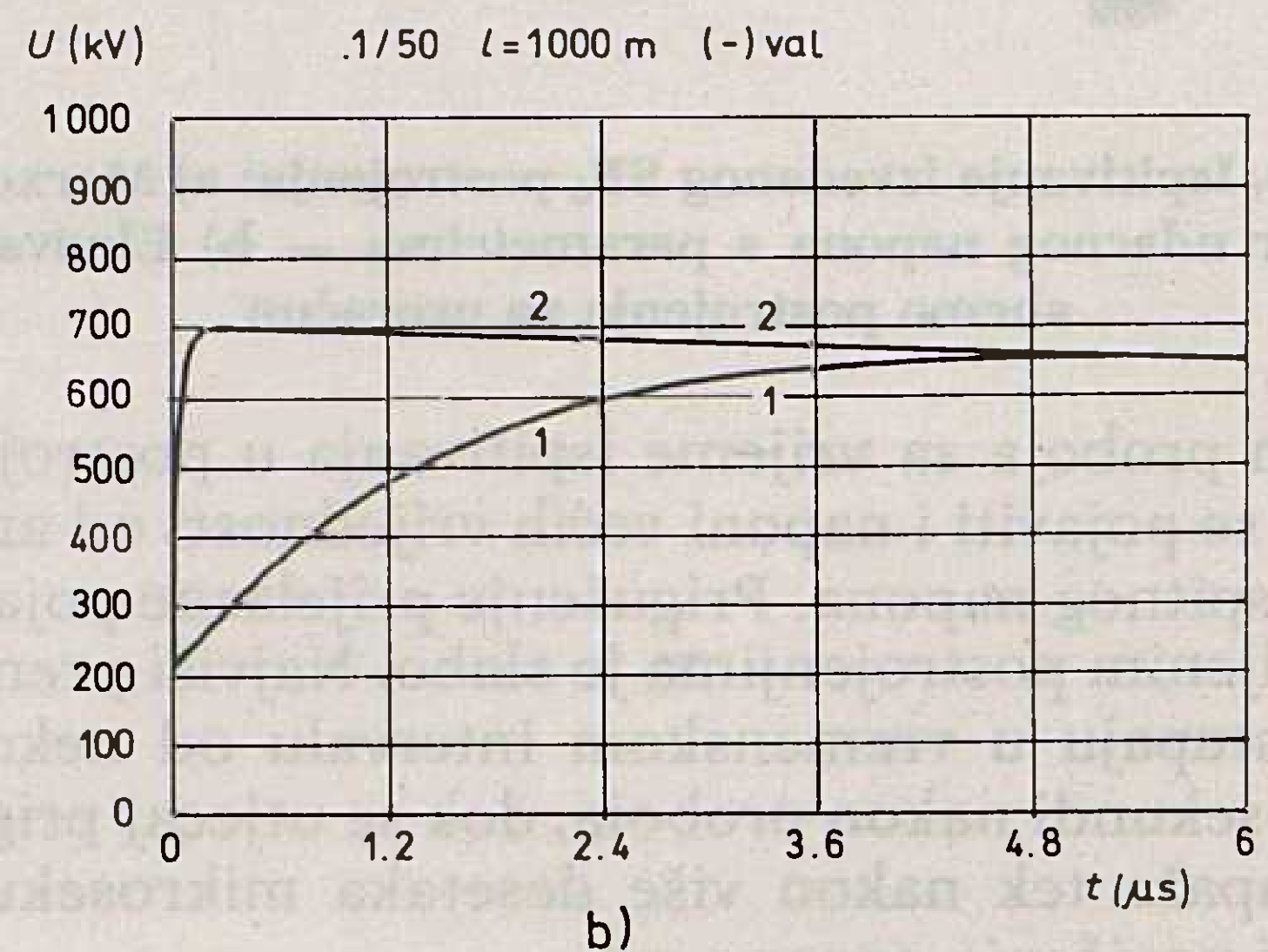
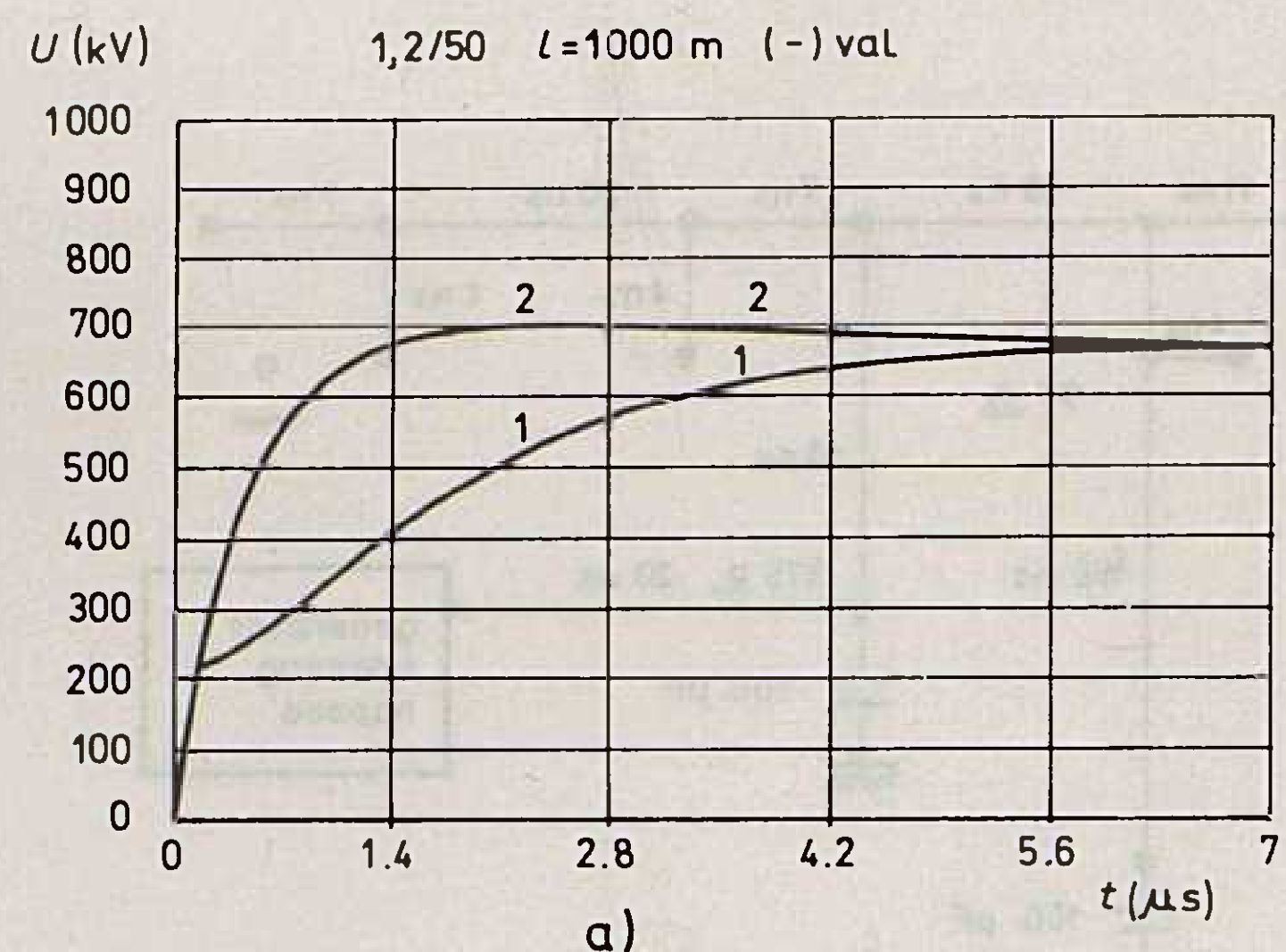
Na slici 4. dani su oscilogrami napona za primjere kada nije uzet i kada je uzet u obzir utjecaj pogonskog napona. Uočljivo je da su maksimalan iznos i oblik prenapona u postrojenju praktički isti u oba slučaja, pa utjecaj pogonskog napona nije značajan.

### 3.4. Utjecaj korone na prenapone

Utjecaj korone na izobličenje i prigušenje putnog vala osobito se očituje kod udaljenog udara. Tom prilikom putni val mora prijeći i nekoliko kilometara prije ulaska u postrojenje. Sa slike 5. prema [10], može se uočiti izobličenje čela naponskog vala. Strmiji valovi su znatno izobličeni i prigušeni već i nakon prolaska manjih duljina nadzemnim vodovima. Ako je kod proračuna uzet u obzir utjecaj korone, bit će i prenaponi u postrojenju niži negoli kad se računa bez tog utjecaja.



Slika 4. Prenaponi izazvani strujom groma 100 kA: a) Oscilogrami napona bez utjecaja pogonskog napona — b) Oscilogrami napona uz utjecaj pogonskog napona — 1. napon na odvodniku prenapona — 2. napon u SF<sub>6</sub> postrojenju



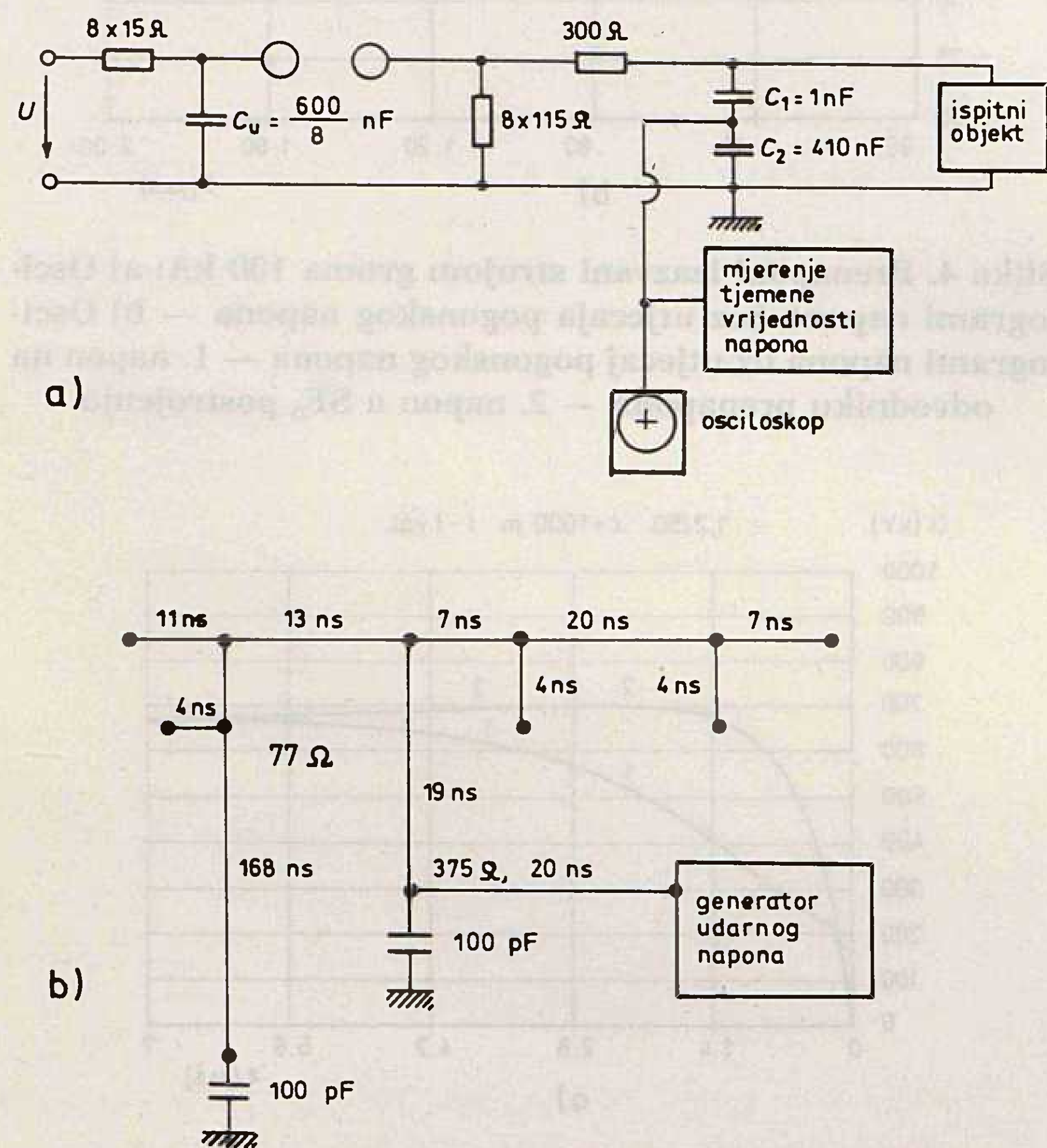
Slika 5. Prigušenje i izobličenje naponskog vala uzrokovano koronom na nadzemnom vodu dugom 1 000 m: a) val 1,2/50  $\mu$ s — b) val 0,1/50  $\mu$ s — 1. oblik vala na kraju voda — 2. oblik vala na početku voda

#### 4. PRERAČUNI ISPITIVANJA IZVEDENIH POSTROJENJA

Osim za određivanje prenaponske zaštite mogu se proračuni na postavljenom modelu koristiti za pripremu provođenja ispitivanja izvedenih SF<sub>6</sub> postrojenja. U ispitivanju mjeri se napon na mjestu priključka generatora udarnog napona na postrojenje, dok je mjerenjem teže utvrditi prilike unutar postrojenja, a posebno one koje nastupaju poslije proboja u postrojenju za vrijeme ispitivanja.

Provedeni proračun ispitivanja na modelu jednopolno oklopljenog SF<sub>6</sub> postrojenja 110 kV i ispitivanja izvršena na postrojenju pokazala su podudarnost izmjerenih i izračunatih oscilograma napona na ulazu u postrojenje. Proračuni su pomogli da se utvrde neke činjenice koje su značajne u ispitivanju.

Utvrđeno je da pri ispitivanju izvedenog postrojenja udarnim naponom sve točke ispitnog sklopa nemaju istovremeno isti napon. Najveće razlike napona nastaju između najudaljenijih dijelova postrojenja.



Slika 6. Ispitivanje izvedenog SF<sub>6</sub> postrojenja: a) Marxov generator udarnog napona s parametrima — b) Ekvivaletna shema postrojenja za proračun

Nakon proboja za vrijeme ispitivanja u postrojenju mogu se pojaviti i naponi većih vrijednosti od amplituda ispitnog napona. Prigušenje prijelazne pojave u oklopljenim postrojenjima je slabo. Najviši prenaponi nastupaju u vremenskom intervalu od nekoliko mikrosekundi nakon proboja, dok se utjecaj prigušenja zapaža tek nakon više desetaka mikrosekundi. Uzroci povišenja napona su:

- različiti valni otpori dijelova SF<sub>6</sub> postrojenja,
- granjanja postrojenja s kratkim odvojcima
- koncentrirani kapaciteti unutar postrojenja.

Izjednačavanjem vrijednosti valnih otpora pojedinih dijelova postrojenja mogu se smanjiti prenaponi nakon proboja. Na ostale navedene uzroke, koji izazivaju prenapone, teže je utjecati; na njih treba obratiti pažnju u svakom pojedinom slučaju. Recimo, može se odabrati takva konfiguracija pri ispitivanju u kojoj će, dođe li do proboja, prenaponi biti najmanji.

#### 5. ZAKLJUČAK

Za koordinaciju izolacije oklopljenih SF<sub>6</sub> postrojenja najvažnija je zaštita od atmosferskih prenapona. Uz dobro provedenu zaštitu stvaraju se preduvjeti za smanjenje stupnja izolacije postrojenja.

Postupak izbora prenaponske zaštite sastoji se u odabiru odgovarajućeg odvodnika prenapona, a zatim se nekom metodom određuje izolacijski nivo postrojenja. Različite metode koordinacije izolacije postrojenja počivaju na proračunima za koje treba postaviti odgovarajući model. Radi stvaranja što vjernijeg modela važno je poznavati razne utjecaje, tako da se bitni utjecaji mogu što bolje obraditi.

Analizom frekvencijske ovisnosti parametara utvrđeno je da ovu zavisnost treba uzeti u obzir kod kabela većih duljina (nekoliko kilometara), a isto tako kod impedancije uzemljivača. Frekvencijska ovisnost ostalih parametara slabo je izražena.

Kod modela odvodnika prenapona koji uzima u obzir nelinearnu strujno naponsku karakteristiku potrebno je ovu karakteristiku korigirati, osobito kada se radi o proračunima s prenaponima vrlo strma čela.

Ako je u razmatranjima o koordinaciji izolacije ocijenjeno da je jedino moguć »udaljeni udar«, tada treba uzeti u obzir utjecaj korone na nadzemnom vodu, jer se dobivaju manji prenaponi negoli kada se računa bez tog utjecaja.

Pokazalo se je da utjecaj pogonskog napona na rezultate proračuna nije značajan.

Na postavljenom modelu kruga koji se sastojao od generatora udarnog napona i dijelova SF<sub>6</sub> postrojenja proračunima su simulirana stvarna ispitivanja udarnim naponom. Utvrđeno je da pri ispitivanju svi dijelovi postrojenja nemaju istovremeno isti napon. U slučaju proboja u postrojenju za vrijeme ispitivanja mogu se javiti visokofrekventne oscilacije viših amplituda od amplitude ispitnog napona. Utvrđeni su i navedeni uzroci ove pojave. Pri ispitivanju izvedenih SF<sub>6</sub> postrojenja treba odabirati takve konfiguracije kod kojih će, dođe li do proboja u postrojenju, nastali prenaponi biti što manji.

#### LITERATURA

- [1] ALVINSSON R., ERIKSSON R., HELLMAN P. A., PETTERSSON K.: »A Systematic Approach to Lightning Insulation Coordination for GIS with ZnO Arresters«, CIGRE 33-04, Paris, 1984.
- [2] HANADA C. N., ASANO M., BORGONOVO G., ELLI E., GARBERO L., EBERSOHL G., VOISIN G.: »Fast Transient Overvoltages in Porto Primavera 420 kV SF<sub>6</sub> Insulated Substation«, CIGRE 33-14, Paris, 1984.

- [3] COOPER J. H., HILEMAN A. R.: »A Probabilistic Approach in Estimating the BIL for 1200 kV Gas Insulated Stations«, CIGRE 33-02, Paris, 1982.
- [4] BOECK W., GROGER F., LUXA G. F. GORABLENKOW J., WECK K. H., STOLZ W.: »Insulation Co-ordination for SF<sub>6</sub> Insulated Substation«, CIGRE 33-09, Paris, 1984.
- [5] DRECHER G., KOETTNITZ K., MOSCH W., SCHWARZ J., BAUER H., HAUSCHILD W.: »Statistical Calculation of Overvoltages and Breakdown — Voltage — Time — Characteristics As a Contribution to the Insulation Co-ordination of GIS«, CIGRE 33-05, Paris, 1982.
- [6] GROGGER F.: »Statistische Isolationskoordination SF<sub>6</sub> — isolierter Schaltanlagen fuer Blitzueberspannungen«, Disertacija, TU Muenchen, 1984.
- [7] BRAUNER G.: »Simulation des Verhaltens von metallgekapselten Schaltanlagen und Freiluft-Schaltanlagen bei Blitzueberspannungen«, Disertacija, TU Darmstadt, 1976.
- [8] SEKSHUNG E. C.: »Influence of Rate-of-Rise on Distribution Arrester Protective Characteristics«, IEEE transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-98, 1979, 519-526.
- [9] SAKSHUNG E. C., KRESGE J. S., MISCHE S. A., Jr.: »A New Concept in Station Arrester Design«, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-96, 1977, 647-656.
- [10] UGLEŠIĆ I.: »Specifičnosti rasklopnih postrojenja izoliranih sumpornim heksafluoridom s obzirom na utjecaje izazvane atmosferskim prenaponima«, Disertacija, ETF, Zagreb, 1988.

#### SOME KNOWLEDGES ABOUT ISOLATION COORDINATION ON ENCLOSED APPARATUS ISOLATED WITH SF<sub>6</sub> GAS

In the isolation coordination on SF<sub>6</sub> assemblies it is important protection from atmospheric overvoltages. Isolation coordination method is based on mathematical models. Examined are impacts of different models on results. By the proposed model calculated are effects on some constructed assemblies in relation to results of high voltage testing. Elaboration resulted in some knowledges important for examination.

#### EINIGE ERKENNTNISSE UBER DIE KOORDINATION DER GEPANZERTEN ANLAGEN ISOLIERT MIT DEM GAS SF<sub>6</sub>

In der Koordination der Isolation SF<sub>6</sub> der Anlage ist der Schutz vor atmosphärischen Überspannungen von Bedeutung. Die Methoden der Koordinierung der Isolation benutzen Berechnungen an Modellen. Es wurden verschiedene Einflüsse des Modellierens an Ergebnissen der Berechnungen überprüft. An dem Modell wurden Berechnungen der Überprüfungen der Anlagen durch Schlagspannung durchgeführt. Dabei kam es zu einigen Erkenntnissen die für die Überprüfungen von Bedeutung sind.

#### НЕКОТОРЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О КООРДИНАЦИИ ИЗОЛЯЦИИ БРОНИРОВАННЫХ УСТАНОВОК, ИЗОЛИРОВАННЫХ ЭЛЕГАЗОМ

В координации изоляции установок элегазом является существенной защита от атмосферных перенапряжений. Методы координации изоляции и спользуют расчеты на моделях. Исследованны различные влияния моделирования на результаты расчетов. На установленной модели проведены расчеты проверки выполненных установок импульсным напряжением.

Naslov pisca:

**Dr. Ivo Uglešić, dipl. ing.**  
**Zavod za visoki napon i energetiku**  
**Elektrotehnički fakultet**  
**Unska 3,**  
**41000 Zagreb, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-09-21

# »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«

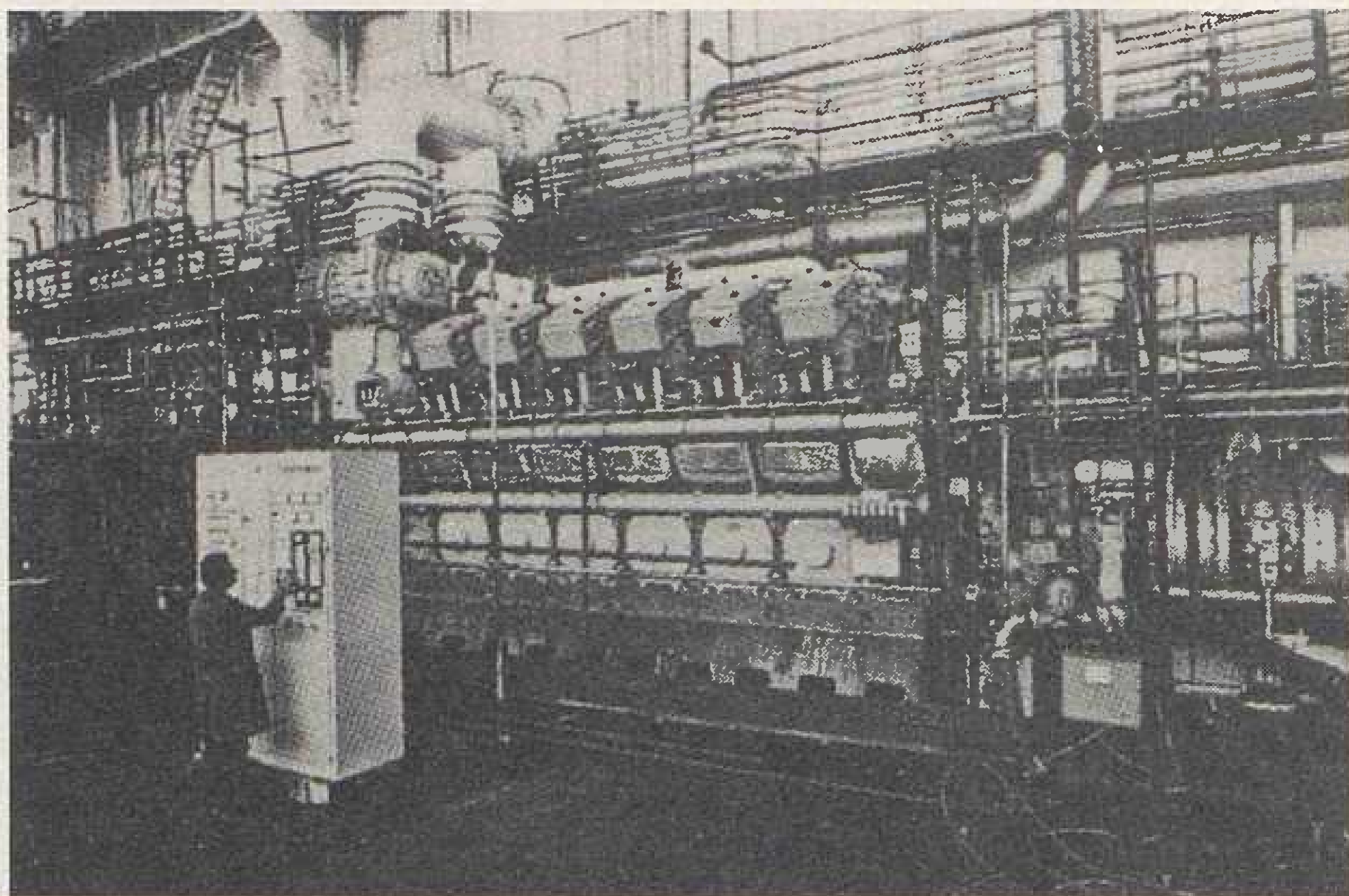
— TRGOVINA I INŽENJERING n. sol. o.  
**47000 KARLOVAC, Trg Braće M. i J. Benić 2,  
Jugoslavija Tel. (047) 26-022; Telex 23745**

## DJELATNOSTI:

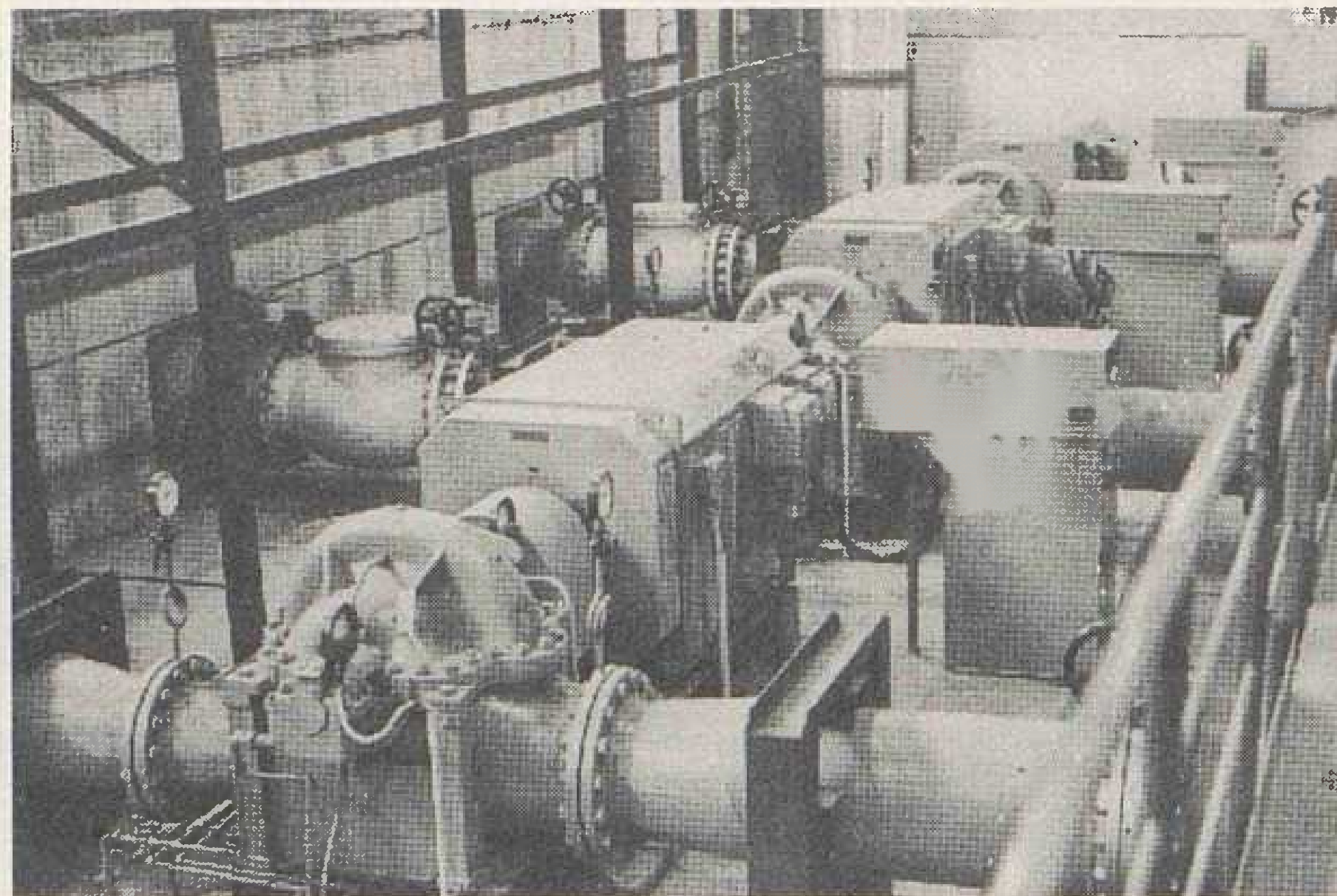
- INŽENJERING (Konzalting, projektiranje, isporuka opreme i izgradnja objekata) za ENERGETSKA, HIDRO I INDUSTRIJSKA POSTROJENJA
- IZVOZ – UVOZ, ZASTUPSTVO, TRGOVINA NA VELIKO I MALO

## 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.



# RASPOLOŽIVOST ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA ZA NAPAJANJE VLASTITE POTROŠNJE NUKLEARNE ELEKTRANE NA PODRUČJU »ELEKTROPRIVREDE ZAGREB«

Mr. Zdenko Tonković — Goran Jerbić, Zagreb

UDK 621.039.5.005

PREGLEDNI RAD

U članku se izračunava i komentira raspoloživost elektroenergetskog sistema za napajanje vlastite potrošnje NE Prevlaka.

**Ključne riječi:** raspoloživost/pouzdanost, vlastita potrošnja NE.

U posljednje vrijeme pojavilo se nekoliko članaka i referata iz područja sigurnosti napajanja nuklearne elektrane i njena položaja u sistemu [1, 2, 3], pa čak i pažnja u tjednoj informativnoj štampi [4]. To pokazuje da i kod nas odjekuje nova aktualnost te problematike u svijetu kao posljedice velikih raspada sistema i havarija u mreži posljednjih godina. Interakcija između elektroenergetskog sistema i NE postala je relevantni parametar u odlučivanju: ponašanje NE pri ispadi »vanjske mreže« (kao tereta elektrane), kao i pri potpunom prekidu napajanja izmjeničnom električnom energijom iz »vanjske« mreže. Nužnost elektroenergetskog promišljanja »NE u okruženju« nametnuli su pogon i praksa [5].

U povodu tendera za NE Prevlaku jedan od stranih naručilaca opreme (KWU) postavio je upravo pitanje o sigurnosti našeg elektroenergetskog sistema za napajanje vlastite potrošnje (da bi je, prema odgovoru, povećao dodatnim diesel-agregatom). Postavljeno pitanje o vjerojatnosti »total loss of offsite electric power« [6] elaborirano je u Institutu za elektroprivredu u Zagrebu i zbog konkretnosti rezultata (i dileme) vjerujemo da ih je interesantno sažeto objaviti [7].

## I.

U diskusiju o adekvatnoj terminologiji, kako se to uobičajilo u priložima iz ove tematike, nismo aktivnije ulazili: podaci i rezultat sami sebe objašnjavaju. Koristili smo pojam raspoloživosti — kao primjereniji interpretaciji sigurnosti iz aspekta prijenosne mreže i logike postavljenog zadatka. Ovaj izbor čini nam se korektnim budući da promatramo jednu redundantnu strukturu s popravljivim kvarovima, kao i da deduciramo ocjenu o njezinoj pogonskoj spremnosti za projekciju u budućnost. Naša je interpretacija bliska i prihvaća zapravo definiciju »vremenske raspoloživosti« u [8]. Uostalom, ovakva raspoloživost transparentna je i za pojam pouzdanosti.

Pristupili smo deterministički, iako bi imalo puno opravdanje stohastičko određenje (kao i u drugim vidovima planiranja i eksploatacije; stohastičko promatranje trebalo bi konačno uvesti u život).

Označimo li sa  $T_f$  vrijeme ispravnog funkcioniranja i sa  $T_n$  stajanje izvan pogona (bez obzira na uzrok), onda je općenito vjerojatnost ispravnog rada ili raspoloživost

$$R = \frac{T_f}{T_f + T_n}.$$

Vjerojatnost nefunkcioniranja ili neraspoloživosti tada je:

$$N = 1 - R.$$

Jasno je da raspoloživost komponenata određuje raspoloživost sistema, a onu komponenata učestalost i trajanje njihovih kvarova. Ti su kvarovi slučajni i nezavisni događaji. Ovisnost sistema o komponentama funkcija je njihova spoja: prema pravilu složene vjerojatnosti može se odrediti raspoloživost »serijskog« odnosno »paralelnog« modela [9].

U slučaju serijskog spoja  $n$  komponenti ispravno funkcioniranje sistema ovisi o ispravnosti svake pojedinačne komponente (serijski model raspoloživosti zahtijeva uspješan rad svih komponenata pa da sistem uspješno radi), i vjerojatnost ispravnog funkcioniranja sistema jest presjek:

$$R_s = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n = \prod_{i=1}^n R_i.$$

Na drugi način moglo bi se reći da će sistem biti u kvaru ako se ne pokvari nijedna komponenta, pa je kvar sistema unija

$$N_s = N_1 + N_2 + \dots + N_n = \sum_{i=1}^n N_i.$$

U slučaju paralelnog spoja  $n$  komponenti sistem ispravno funkcionira ako je ispravna barem jedna od  $n$  komponenti, ili, rečeno na drugačiji način koji vodi jednostavnijoj matematičkoj formulaciji: sistem će

biti u kvaru ako bude u kvaru svih njegovih n komponenti:

$$N_s = N_1 \cdot N_2 \cdot \dots \cdot N_n = \prod_{i=1}^n N_i.$$

Može se reći i da će sistem ispravno funkcionirati ne pokvari li se barem jedna od n komponenti, pa je

$$R_s = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i.$$

Za utvrđivanje sigurnosti napajanja potrošača u sistemu trebalo bi uz vjerojatnosti za pogon odrediti i snage koje mogu osigurati potrošačima. Tada svakom »zdravom« stanju odgovara i određena snaga. Međutim, u našem konkretnom slučaju problem se pojednostavljuje pretpostavkom da potrebnu snagu za vlastitu potrošnju elektrane (50-ak MW) sistem uvijek može osigurati i da je kapacitet mreže dovoljan za njezin prijenos.

II.

Na sl. 1. prikazana je mreža područja »Elektroprivrede Zagreb« s predviđenim priključkom NE Prevlaka u minimalnoj izgradnji, dakle samo uvođenjem DV 400 kV Ernestinovo-Tumbri i DV 110 kV Mraclin-Ludina.

Prema ovoj minimalnoj izgradnji formiran je model za proračun raspoloživosti, koji je još dalje »otežan« interpolacijom dionica DV 400 kV Tumbri-Krško i DV 400 kV Krško-Maribor. Krenulo se, naime, od pesimističke pretpostavke da se iz TS Tumbri ne može

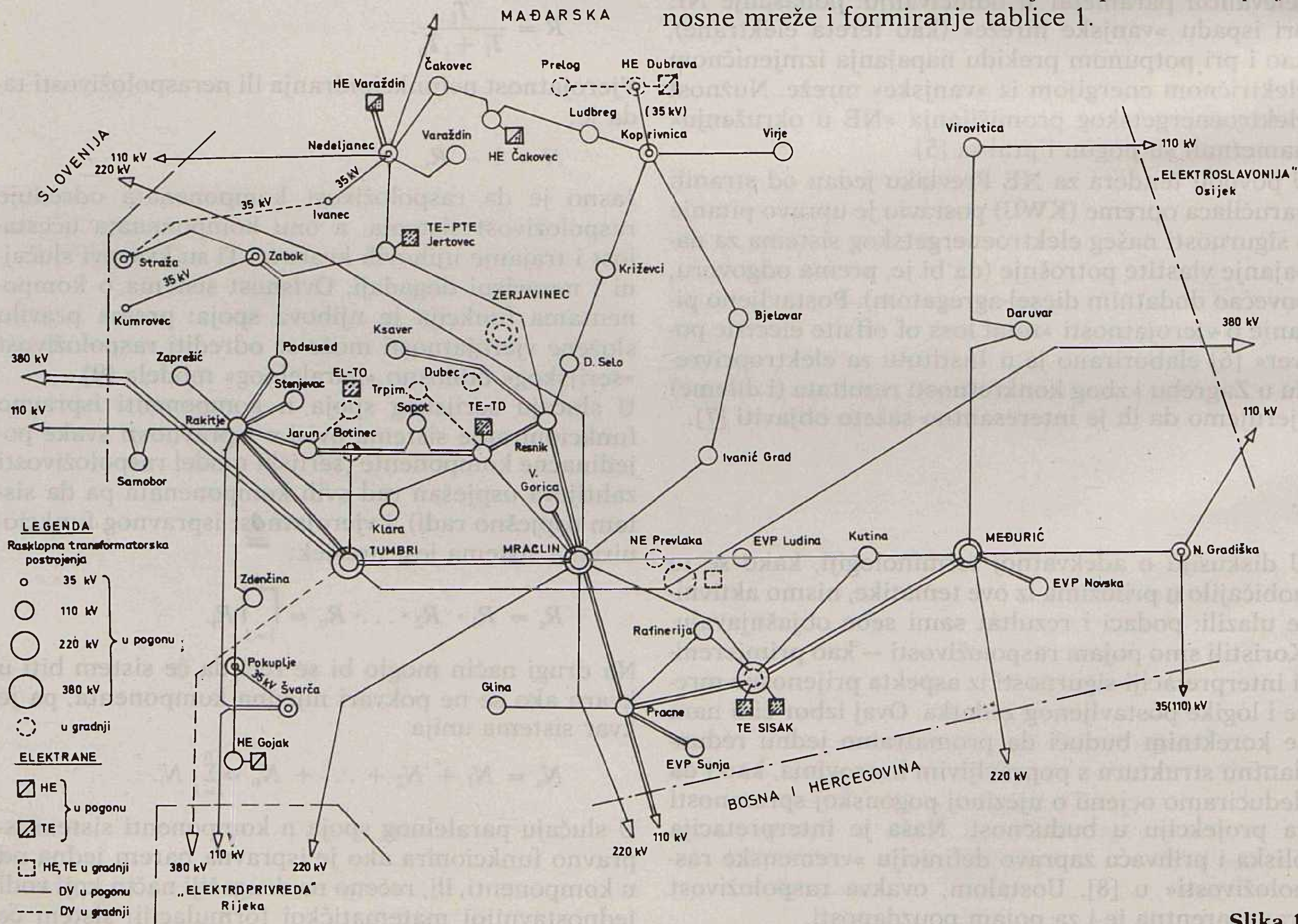
osigurati potrebna snaga za vlastitu potrošnju te da je NE Krško izvan pogona (kvar ili remont). »Čvrsta« čvorišta u mreži 400 kV, iz kojih se može evakuirati potrebna snaga, prema tome su TS Maribor (pretpostavljeno vezan za Kainachtal) i TS Ernestinovo. U vezi s mrežom 110 kV, pretpostavka da je u TE Sisak angažiran barem jedan agregat opravdava tretman TS Mraclin i TS Međurić kao potencijalnih nezavisnih »izvora«. No u modelu pretpostavljena je i za mrežu 110 kV nepovoljnija varijanta, pa je u NE Prevlaku uveden vod Mraclin-Ivanić-grad (umjesto onog za Ludinu) (sl. 2).

Model sistema napajan je iz »izvora« dovoljne snage, ali ne apsolutno raspoloživog.

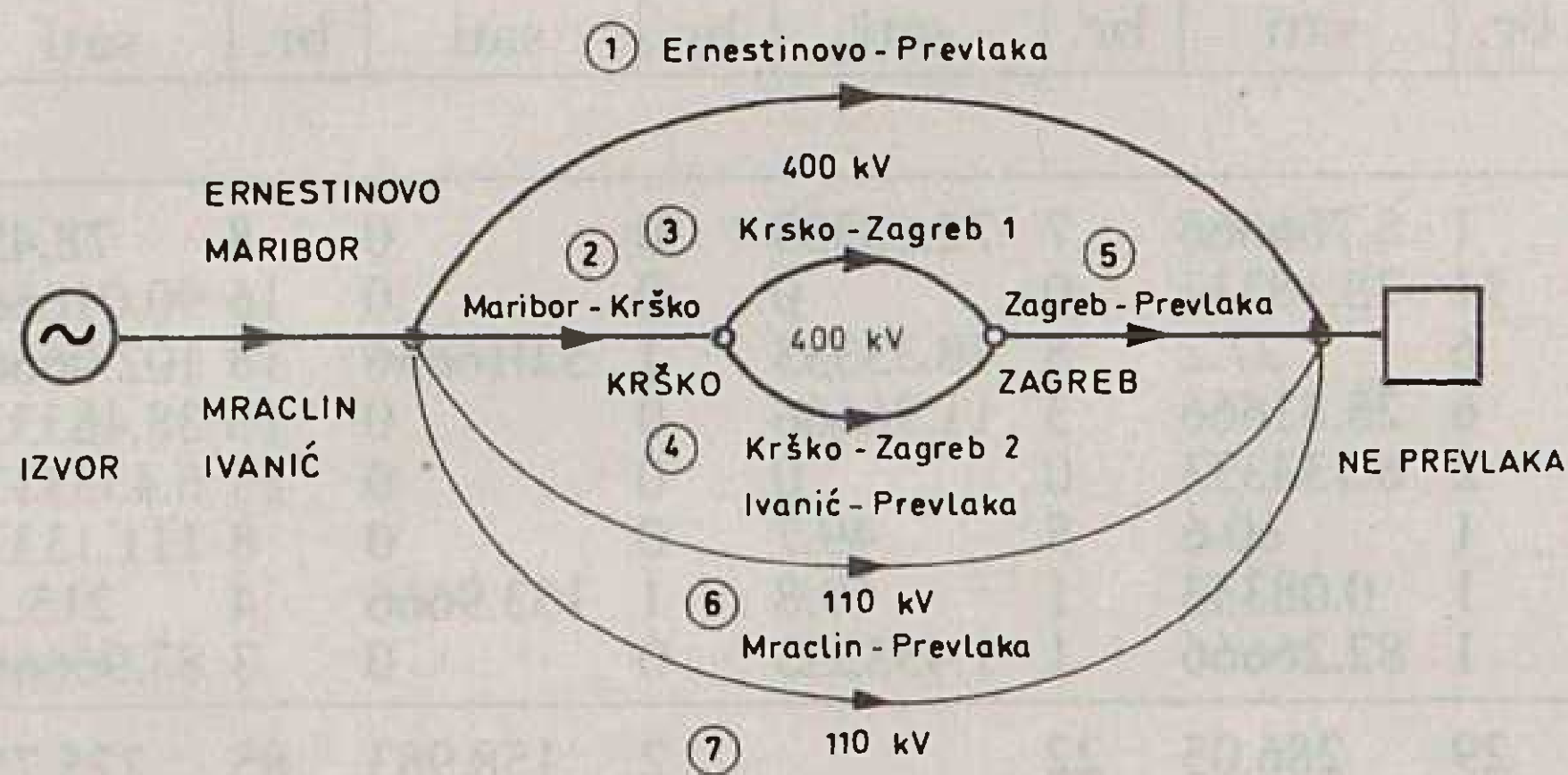
Ovakvim realnim pretpostavkama proračun raspoloživosti svodi se ne samo na raspoloživost prijenosne mreže nego i cijelog elektroenergetskog sistema.

III.

Izvor podataka bili su »Mjesečni izvještaji Tehničkog ureda Elektroprenosa Zagreb« koji daju, između ostalog, i pregled smetnji s njihovim trajanjem i klasifikacijom prema »šifarskoj knjizi« ZJE. Slično su dobiveni podaci iz EGS-a za slovenski dio mreže. Tehnički ured sastavlja na temelju mjesečnih izvještaja godišnji izvještaj u kojem su tablice s ukupnim godišnjim brojem i trajanjem zastoja pojedine grane ili postrojenja mreže. Ti godišnji podaci poslužili su nam kao osnova za određivanje raspoloživosti prijenosne mreže i formiranje tablice 1.



Slika 1.



Slika 2.

Promatrano je razdoblje 1980—1987, od zatvaranja poteza 400 kV Ernestinovo — Maribor. Prve dvije godine promatranog razdoblja, do puštanja u pogon NE Krško, Tehnički ured vodi zastoje na vodovima Tumbri — Krško i Krško — Maribor kao zastoje na jednom vodu Tumbri — Maribor. Nakon puštanja u pogon NE Krško podaci se prikupljaju samo za dionicu Tumbri — Krško. Zbog toga su u tablici 1. podaci za vod Tumbri — Maribor do 1981, a za vod Tumbri — Krško od 1982.

Objasnimo tablicu na jednom primjeru. Prema »Mjesečnim izvještajima Tehničkog ureda« bio je DV 400 kV Ernestinovo — Tumbri u 1986. u zastoju u V. mjesecu 3 h i 51' i u VI. mjesecu 74 h 20', a u kvaru u I. mjesecu 50' i u VIII mjesecu 11 h 0'. Dakle u 1986. zastoj je bio 78 h 11' (78,18333 h), a kvar 11 h 50' (11,83333 h).

#### IV.

Prvo je prema uvodno navedenoj relaciji za  $R$  i s podacima objedinjenim u tablici 1. određena raspoloživost promatranih postojećih vodova i pune topologije priključaka.

Ovako određenu raspoloživost prijenosne mreže još smo kombinirali s ispadom »izvora«, što nam konkretno znači raspade sistema u kojima je sistem ostao bez energije. Raspadi su uzeti u trajanju 2 sata, i to u 1984. i 1986. Raspad 1984. bio je 12. VII, kada je zagrebačko područje bilo bez energije od 14 h 10' do oko 16 h, a 1. VIII. 1986. to je bilo od 14 h 52' do oko 16 h 38'.

U toku osam godina, dakle, promatrani su kvarovi na vodovima interesantnim za NE Prevlaku i značajni raspadi sistema (s tim da je velikih poremećaja — ne raspada — bilo mnogo više).

Prosječno za cijelo razdoblje promatranja 1980—1987. bila je raspoloživost promatranih vodova:

Dalekovod	$R$
Tumbri — Ernestinovo	0.98964
Maribor — Krško	0.96360
Tumbri — Krško 1	0.96221
Tumbri — Krško 2	0.95779
Mraclin — Ludina	0.97994
Mraclin — Ivanić	0.97889

Raspoloživost vodova koji su incidentni sa NE Prevlaka prema postavljenom modelu odgovara vjerojatnosti da će barem jedna od četiri grane modela normalno vršiti funkciju napajanja, što se iskazuje sljedećim izrazom:

$$R_m = R_1 + R_2 \cdot (R_3 + R_4) \cdot R_5 + R_6 + R_7$$

ili u razvijenom obliku:

$$R = R_2 R_3 R_5 + R_2 R_4 R_5 - R_2 R_3 R_4 R_5 + R_1 + R_6 + R_7 - R_1 R_2 R_3 R_5 - R_1 R_2 R_4 R_5 + R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 - R_2 R_3 R_5 R_6 - R_2 R_4 R_5 R_6 + R_2 R_3 R_4 R_5 R_6 - R_2 R_3 R_5 R_7 - R_2 R_4 R_5 R_7 + R_2 R_3 R_4 R_5 R_7 - R_1 R_6 - R_1 R_7 - R_6 R_7 + R_1 R_2 R_3 R_5 R_6 + R_1 R_2 R_4 R_5 R_6 - R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 R_6 + R_1 R_6 R_7 + R_2 R_3 R_5 R_6 R_7 + R_2 R_4 R_5 R_6 R_7 - R_2 R_3 R_4 R_5 R_6 R_7 + R_1 R_2 R_3 R_5 R_7 + R_1 R_2 R_4 R_5 R_7 - R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 R_7 - R_1 R_2 R_3 R_5 R_6 R_7 + R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 R_6 R_7$$

Raspoloživost voda Prevlaka — Tumbri u modelu na sl. 2. odgovara raspoloživosti voda Tumbri — Ernestinovo bez obzira na to što se radi o kraćoj dionici. Pretpostavljena raspoloživost 110 kV vodova odgovara raspoloživosti voda Mracilin — Ivanić, dakle manjoj. Vod Tumbri — Krško u modelu je predstavljen sa dva voda. Uz te pretpostavke izračunata je raspoloživost mreže prema gornjem izrazu:

$$R_m = 0.999999779$$

Uzmemo li u obzir da su se u sistemu u promatranom razdoblju dogodila dva raspada po 2 h, raspoloživost prijenosne mreže kao izvora iznosi:

$$R_i = 1 - 4 / (8 \cdot 8760) = 0.9999429.$$

Konačno možemo reći da je raspoloživost elektroenergetskog sistema za napajanje NE Prevlaka za cijeli period promatranja 1980 — 1987.

$$R = R_i \cdot R_m = 0.9999429 \cdot 0.999999779 = 0.9999425.$$

Raščlanjeno po godinama raspoloživost vodova iznosi:

	Tumbri — Ernestinovo	Tumbri — Krško 1	Tumbri — Krško 2	Krško — Maribor	Mraclin — Ludina	Mraclin Ivanić
1987	0,991044520	0,954282724	0,955072298	0,947716895	0,931529680	0,990970319
1986	0,989724124	0,957142313	0,957178462	0,957420091	0,999305555	0,978991628
1985	0,988348554	0,968215372	0,965671613	0,957420091	0,976107305	0,998913622
1984	0,995606925	0,987827245	0,969349315	0,98698630	0,977343987	0,964918188
1983	0,999265601	0,943613013	0,941700913	0,958447488	0,99522557	0,942606544
1982	0,987313546	—	—	0,971917808	0,993047946	0,999488204
1981	0,975433790	—	—	—	0,989562404	0,981339429
1980	0,990414764	—	—	—	0,977334474	0,973911720

Tablica 1.

Godina	Kvarovi					Zastoji				Radovi				Ukupno		
	APU	Prolazne smetnje		Trajni kvarovi		Zbog naših postr.		Zbog tuđih postr.		Planski		Nepredvideno				
br.	br.	sati	br.	sati	br.	sati	br.	sati	br.	sati	br.	sati	br.	sati		
dalekovod Tumbri-Ernestinovo 400 kV																
1987.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5.766666	7	72.68333	0	0	8	78.45
1986.	2	3	11.83333	0	0	0	0	0	11	78.18333	0	0	0	0	16	90.01666
1985.	1	5	21.51666	0	0	0	0	0	6	27.2	5	48.33333	1	5.016666	18	102.0666
1984.	1	5	0.7	0	0	0	0	0	6	25.81666	3	11.96666	0	0	15	38.48333
1983.	9	2	0.3	0	0	0	0	0	2	6.133333	0	0	0	0	13	6.433333
1982.	0	2	0.833333	0	0	0	0	0	1	60.6	5	49.7	0	0	8	111.1333
1981.	0	0	0	0	0	1	1.35	1	0.08333	1	59.8	1	153.9666	4	215.2	
1980.	0	1	0.266666	0	0	0	0	1	82.26666	1	1.433333	0	0	3	83.96666	
	13	18	35.45	0	0	1	1.35	29	286.05	22		2	158.983	85	725.75	
dalekovod Tumbri-Krško 1 400 kV																
1987.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6.916666	2	393.5666	0	0	3	400.4833
1986.	0	1	0.45	0	0	0	0	0	0	0	2	374.9833	0	0	3	375.4333
1985.	1	1	0.1	0	0	0	0	0	1	1.383333	2	276.95	0	0	5	278.4333
1984.	0	0	0	0	0	1	1.916666	10	91	4	13.71666	0	0	15	106.6333	
1983.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	493.95	0	0	2	493.95
1982.															0	0
1981.															0	0
1980.															0	0
	1	2	0.55	0	0	1	1.916666	12	99.3	12	1553.166	0	0	28	1654.933	
dalekovod Tumbri-Krško 2 400 kV																
1987.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	393.5666	0	0	2	393.5666
1986.	0	1	0.45	0	0	0	0	0	0	0	2	374.6666	0	0	3	375.1166
1985.	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1.8	2	299.9166	0	0	3	300.7166
1984.	0	0	0	0	0	0	0	0	5	254.8	5	13.7	0	0	10	268.5
1983.	0	1	0.2	0	0	0	0	0	0	0	2	510.5	0	0	3	510.7
1982.															0	0
1981.															0	0
1980.															0	0
	0	2	0.65	0	0	0	0	6	255.6	13	1592.35	0	0	21	1848.6	
dalekovod Krško-Maribor 400 kV																
1987.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	341	0	171	0	0	0	458
1986.	0	1	1	0	0	0	0	0	0	128	0	244	0	0	1	373
1985.	0	1	1	0	0	0	0	0	0	128	0	244	0	0	1	373
1984.	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	96	0	0	1	99
1983.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	284	0	80	0	0	0	364
1982.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	192	0	54	0	0	0	246
1981.															0	0
1980.															0	0
	0	3	3	0	0	0	0	0	0	1075	0	835	0	0	3	1913
dalekovod Mraclin-Ludina 110 kV																
1987.	1	2	0.216666	1	3.183333	5	161.2666	1	10.93333	6	424.2	0	0	16	599.0	
1986.	2	5	0.616666	0	0	2	2.783333	0	0	2	2.683333	0	0	11	6.083333	
1985.	2	2	0.1	0	0	0	0	0	0	3	209.2	0	0	7	209.3	
1984.	1	1	0.116666	0	0	0	0	0	1	1.483333	9	196.8333	1	0.033333	16	198.4666
1983.	4	2	0.366666	1	3.65	0	0	0	2	0.116666	3	37.36666	0	0	12	41.5
1982.	4	6	0.3	1	0	0	0	0	0	0	5	27.7	1	6.033333	13	60.9
1981.	0	0	0	1	26.86666	1	0.233333	0	0	1	86.68333	0	0	3	91.43333	
1980.	0	1	0.616666	0	4.516666	0	0	1	2.766666	1	195.1666	0	0	3	198.55	
	13	19	2.333333	4	38.21666	8	164.2833	5	15.3	30	1179.833	2	6.066666	81	1406.033	
dalekovod Mraclin-Ivanić 400 kV																
1987.	3	1	0.066666	0	0	3	16.03333	0	0	9	63	0	0	16	79.1	
1986.	6	3	0.75	0	0	1	2.4	0	0	21	180.8833	0	0	31	184.0333	
1985.	6	2	0.216666	0	0	0	0	0	0	1	9.3	0	0	9	9.516666	
1984.	0	1	0.083333	0	0	1	0.7	0	0	10	306.5333	0	0	12	307.3166	
1983.	2	1	0.833333	1	3.3	1	0.05	1	0.6	3	498.7333	0	0	9	502.7666	
1982.	0	0	0	1	1.966666	0	0	0	0	1	2.516666	0	0	2	4.483333	
1981.	0	0	0	0	0	1	15.13333	0	0	1	148.3333	0	0	2	163.4666	
1980.	0	1	1.016666	0	0	0	0	1	1.05	2	226.46666	0	0	4	228.5333	
	17	9	2.216666	2	5.266666	7	34.31666	2	1.65	48	1435.766	0	0	85	1479.216	
dalekovod Tumbri-Maribor 400 kV																
1987.															0	0
1986.															0	0
1985.															0	0
1984.															0	0
1983.															0	0
1982.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1981.	0	0	0	0	0	1	8.55	1	108.6166	0	0	1	9.9	3	127.0666	
1980.	0	0	0	0	0	0	0	0	218.5666	0	34.86666	0	158.9166	0	412.35	
	0	0	0	0	0	1	8.55	1	327.1833	0	34.86666	1	168.8166	3	539.4166	

Pokažimo proceduru na primjeru. DV 400 kV Ernestinovo — Tumbri bio je u 1986. izvan pogona ukupno 90,01666, h pa je njegova raspoloživost bila

$$R = \frac{T_f}{T_f + T_n} = \frac{8760 - (\text{ukupno van pogona})}{8760} = \frac{8760 - 90,01666}{8760} = 0,9897241.$$

Analogno ranijoj prosječnoj raspoloživosti, može se dati raspoloživost napajanja NE Prevlaka iz »vanjske« mreže po godinama:

	»izvor«	mreža	ukupno
1987.	1,0	0,999999924	0,999999924
1986.	0,999771689	0,999999578	0,999771267
1985.	1,0	0,999999999	0,999999999
1984.	0,999771689	0,999999752	0,999771441
1983.	1,0	0,999999763	0,999999763
1982.	1,0	—	—
1981.	1,0	—	—
1980.	1,0	—	—

Iz ovih rezultata jasno se može zaključiti da raspoloživost elektroenergetskog sistema za napajanje NE Prevlaka određuju raspadi sistema, dakle sigurnost »izvora«, dok se sama prijenosna mreža po svojim kvarovima može smatrati vrlo pouzdanom!

Ako se model pojednostavi promatranjem priključka NE Prevlaka do najbližih čvorišta, i to po naponskim nivoima, dobivaju se svi rezultati:

Tablica 2.

	Tumbri — Ernestinovo (233 km)	Tmbri — Prevlaka (50 km)	Prevlaka — Ernestinovo (183 km)	Mreža 400 kV	»Izvor«	Ukupno
1987	0,991044520	0,998071429	0,992959517	0,999986426	1,0	0,999986426
1986	0,989724124	0,99778923	0,991920313	0,999982112	0,999771689	0,999753805
1985	0,988348554	0,997488173	0,990837383	0,999977002	1,0	0,999977002
1984	0,995606925	0,999055649	0,996548017	0,999996741	0,999771689	0,999768430
1983	0,999365601	0,999842362	0,999423166	0,999999927	1,0	0,999999927
1982	0,987313546	0,997263919	0,990022332	0,999972705	1,0	0,999972705
1981	0,975433790	0,994676669	0,980654145	0,999897024	1,0	0,999897024
1980	0,990414764	0,997935296	0,992463913	0,999984445	1,0	0,999984445
prosječno						0,999917470

Tablica 3.

	Mraclin—Ivanić (30 km)	Mraclin—Prevlaka (11 km)	Prevlaka—Ivanić (19 km)	Mreža 110 kV	»Izvor«	Ukupno
1987	0,990970319	0,996679603	0,994271696	0,999980981	1,0	0,999980981
1986	0,978991628	0,992245090	0,986642955	0,999896417	0,999771689	0,999668129
1985	0,998913622	0,999601524	0,999311824	0,999999726	1,0	0,999999726
1984	0,964918188	0,986990973	0,977636286	0,999709071	0,999771689	0,999480826
1983	0,942606544	0,978560840	0,9632577988	0,999212284	1,0	0,999212284
1982	0,999488204	0,999812311	0,999675833	0,999999940	1,0	0,999999940
1981	0,981339429	0,993116943	0,988140859	0,999918373	1,0	0,999918373
1980	0,973911720	0,990354131	0,983397445	0,999839856	1,0	0,999838956
prosječno						0,999762514

Pritom smo pretpostavili konstantnu raspodjelu raspoloživosti duž voda i raspoloživost pojedine dionice odredili iz raspoloživosti voda

$$R_i = R^{\frac{d_i}{d}}$$

gdje je:

- $R_i$  — raspoloživost i-te jedinice
- $R$  — raspoloživost voda
- $d_i$  — dužina i-te jedinice
- $d$  — dužina voda.

Tako smo na neki način uzeli u obzir utjecaj dužine pojedine dionice na njezinu raspoloživost i zadovoljili uvjet raspoloživosti serijskih spojenih komponenta.

Rezultati pokazuju da će prosječna raspoloživost za napajanje u mreži 400 kV biti veća nego u mreži 110 kV i da se već sa dva voda postiže visoka raspoloživost »izvora«.

## V.

Pokazuje se da je prijenosna mreža vrlo siguran dio elektroenergetskog sistema, i po komponentama (grane) i kao struktura (paralelno i/ili serijski spojenih grana). Zbog toga nismo dalje ni išli u primjenu kriterija  $(n-1)$ .

Ostaje, dakle, drugi faktor u raspoloživosti elektroenergetskog sistema da osigura potrebnu energiju za napajanje vlastite potrošnje NE Prevlaka: nestanak energije u cijelom sistemu, što fizikalno znači raspad sistema.

Posljednjih godina dogodilo se nekoliko ozbiljnih poremećaja, no potpuni raspad sistema (black-out) bio

je dva puta. Da se uspostavi, trebalo je oko dva sata. Ta beznaponska pauza određuje raspoloživost »vanjskog« sistema za napajanje NE Prevlaka.

Ako bi očekivali raspad sistema u trajanju dva sata svake godine, to bi značilo vjerojatnost njegove raspoloživosti 0,99977 (ili neraspodivnosti 0,00023).

Uzmemo li da su se značajni raspadi sistema sa trajanjem dva sata dogodili dvaput u promatranom razdoblju od osam godina, dobivamo drugu realnu raspoloživost: 0,999943 (neraspoloživost: 0,000057). Trebalo bi, dakle, odlučiti koje vrijednosti uzeti kao reprezentativne između vjerojatnih raspoloživosti 0,99977 i 0,999943, odnosno između vjerojatnih neraspoločivosti 0,00023 i 0,000057.

## VI.

Željeli smo dobivene rezultate komparirati s praksom KWU i dobili smo sljedeće informacije.\*

Pod velikom raspadom elektroenergetskog sistema (prekid napajanja po oba napona) smatra se period duži od 30 minuta; za gubitak »vanjskog« napajanja to je u području kritičnog. Ako su takvi ispadi učestali (više od jedanput u 10 godina), treba u elektrani povećati raspoloživost. Ako bi, naime, unutar vremena od 30 minuta došlo i do ispada on-site izvora izmjenične električne energije, ima još dovoljno vode u generatorima pare koja »prirodnom« cirkulacijom može hladiti jezgru reaktora u toku tih pola sata.

Prema zapadnonjemačkoj regulativi dozvoljava se neraspoločivost mreže 1 sat u 50 godina, pa ponudeno rješenje dopušta da elektrana može duže ostati bez vanjskog napajanja dvaput u 100 godina i da se uz to ne održi na vlastitoj potrošnji.

Za samu elektranu dozvoljava se pri ispadi mreže (tj. tereta elektrane) da elektrana ostane na vlastitoj potrošnji u omjeru 1:10, tj. da kod 10 ispada vanjske mreže ostane na vlastitoj potrošnji a da 11. put ne ostaje, pa se uključuju dizel-agregati.

Iz svega rečenog jasno je da bi po kriterijima KWU trebao u NE Prevlaka dodatni dizel-agregat. Alternativa je osigurati u najbližoj termoelektrani (TE Sisak) jedan agregat sa raspoloživih 50-ak MW samo za NE Prevlaku u slučaju raspada elektroenergetskog sistema; u pogonu bi morao biti unutar 30 minuta.

## LITERATURA

- [1] V. MIKULIČIĆ, D. ŠKRLEC: »Analiza pouzdanosti sustava diesel generatora u razdoblju prekida napajanja nuklearne elektrane izmjeničnom električnom energijom«, Zbornik radova sa 4. savjetovanja ORKOM, Bled, 1988, knj. 2, str. 518-521.
- [2] I. PUTANEC: »Pouzdanost napajanja električnom energijom u nuklearnoj elektrani«, Zbornik radova sa 1. jugoslavenskog savjetovanja »Sigurnost i pouzdanost u tehnici«, Cavtat, 1988, str. 394-401.

- [3] M. MACEK, B. CVITKOVIĆ, B. ZATEZALO: »Karakteristike pouzdanosti vanjske mreže u NE Krško«, Elektrotehnika, Zagreb, br. 5-6, 1987, str. 251-253.
- [4] Z. OŠTRIĆ: »Zatvoreni krug nuklearne (ne) sigurnosti«, Danas, Zagreb, 2. VIII 1988, str. 68-69.
- [5] Collection and Evaluation of Complete and Partial Losses of Off-Site Power at Nuclear Power Plants, NUREG/CR 3992, 1985.
- [6] Station blackout, U. S. NCR, draft, 1986.
- [7] Z. TONKOVIĆ, G. JERBIĆ: »Pouzdanost napajanja lokacije NE Prevlaka iz prijenosne mreže«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1988.
- [8] O. PRODANOVIĆ, S. TORBICA: »Pokazatelji korištenja, raspoloživosti i pouzdanosti proizvodnih jedinica termoelektrana«, Zbornik radova sa XIII savjetovanja elektroenergetičara Jugoslavije, Bled, 1977, R. 41-16, str. 273-296.
- [9] VLADIMIR MIKULIČIĆ: »Matematički modeli proračuna pouzdanosti i raspoloživosti složenih sustava«, Elektrotehnika, Zagreb, br. 3, 1981, str. 175-186.
- vidi i  
S. DESPOTOVIĆ: »Poboljšanje produktivnosti i smanjenje ukupne sadašnje vrednosti godišnjih troškova elektrana primenom tehnike raspoloživosti«, Elektroprivreda, Beograd, br. 1-2, 1985, str. 3-7.

### RELIABILITY OF ELECTRIC POWER SYSTEM FOR SUPPLY OF NPP CONSUMPTION IN AREA OF »ELEKTROPRIVREDA ZAGREB«

In the paper is commented and calculated a reliability of electric power system for supply NPP consumption.

### DIE VERFÜGBARKEIT DES ELEKTROTECHNISCHEN SYSTEMS FÜR DIE VERSORUNG DES EIGENEN GEBRAUCHS DES KERNKRAFTWERKES AUF DEM GEBIET DER »ELEKTROPRIVREDA ZAGREB«

Im Artikel wird die Verfügbarkeit des elektroenergetischen Systems für die Versorgung des eigenen Verbrauchs des Kernkraftwerkes Prevlaka ausgerechnet und kommentiert.

### ОБЛАДАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПИТАНИЕМ СОБСТВЕННЫХ НУЖД АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В ЗОНЕ »ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВА ЗАГРЕБ«

В статье рассчитывается и объясняется обладание электроэнергетической системы питанием собственных нужд АЭС »Превлака«.

Naslov pisca:

**Mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.**  
**Goran Jerbić, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb, Proleterskih**  
**brigada 37, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1988-09-14

\* Posredovanjem Stjepana Brnjaka, dipl. inž. inicijatora aktivnosti u vezi s L. 7.

# PRISTUP IZRADI MATEMATIČKOG MODELA ZA OPTIMALIZACIJU HLADNOG KRAJA TERMoeLEKTRANA

Mr. Hrvoje Kunaj, Zagreb

UDK 621.311.22:53.07

PRETHODNO SAOPĆENJE

U članku su dane teorijske osnove matematičkog modela za optimalizaciju hladnog kraja termoelektrana, zajedno s pregledom ulaznih podataka. Ovaj je rad nastavak članka objavljenog u ENERGIJI br. 5/88. u kojem je opisana svrha programa, osnovni postulati koji definiraju opseg rada programa i primjeri gotovih rezultata.

**Ključne riječi:** turbinski ciklus, turbina, kondenzator, rashladni toranj, rashladni sistem, hladni kraj.

## 1. UVOD

Hladni kraj elektrane (rashladni sistem s pripadnim pomoćnim sistemima do uključivo niskotlačnog kućišta /NTK/ turbine) jedini je tehnički parametar čije dimenzije nisu podređene standardizaciji. Postupak optimalizacije zato omogućuje da se opće specifičnosti lokacije (prostorne mogućnosti smještaja opreme, hidrometeorološka situacija i ekološka ograničenja, kao prirodni elementi) na najbolji način usklade sa standardnim tehničkim rješenjima hladnog kraja elektrane.

Zbog lakšeg čitanja ukratko će se ponoviti opći postulati koji uvjetuju osnovnu logiku izrade matematičkog programa kako slijedi:

- Opseg komponenti hladnog kraja termoelektrane definiranih izborom parametara obuhvaća sve elemente koji svojim slobodnim izborom parametara utječu na cijenu električne energije.
- U svakom trenutku u toku godine i za svaku hidrometeorološku situaciju matematički model ispituje sve kombinacije pogona opreme hladnog kraja i omogućuje izbor najpovoljnijeg pogonskog stanja elektrane
- Model mora omogućiti simulaciju promjena pogonskog stanja elektrane u svim analiziranim hidrometeorološkim periodima u toku godine.
- Proračun proizvodnja električne i toplinske energije u toku životnog vijeka elektrane osniva se samo na tehničkim mogućnostima ograničenim danom hidrometeorološkom situacijom i potrebama konzuma.
- Ekonomska obrada rezultata izvodi se za svaku razmatranu varijantu, a primijenjena metoda »neto sadašnje vrijednosti« uzima u obzir vremenske razlike u prispijeću svih troškova i koristi u toku životnog vijeka elektrane.
- Određivanje optimalne varijante određuje se nakon ispitivanja i međusobnog uspoređivanja svih

realno mogućih kombinacija parametara i elementa hladnog kraja.

- Točnost traženog rješenja, kao i gornja i donja granica nivoa za određeni parametar definirani su na osnovi poznatih iskustava u svjetskoj praksi, tehničkih mogućnosti i ograničenja proizvođača opreme, kao i zahtjeva za točnošću rezultata.
- Optimalno rješenje hladnog kraja elektrane jednoznačno je određeno na osnovi unaprijed definiranog kriterija izraženog u minimalnoj cijeni proizvoda i mjerila koje je moguće egzaktno i jednoznačno matematički intepretirati.

## 2. PODRUČJE PRIMJENE MATEMATIČKOG MODELA

Osnovna logika i postupci rada matematičkog modela objasniti će se na najsloženijem primjeru koncepcije termoelektrane sa spojnim procesom i kombiniranim sistemom hlađenja. Ova varijanta obuhvaća sve tipove kondenzacionog pogona elektrana (uz uvjet da je toplinska snaga vrelovoda ili parovoda jednaka nuli). Isto tako, kombinirani sistem hlađenja sastoji se u osnovi od protočnog sistema hlađenja sa zahvatom vode direktno iz vodotoka i dodatnog hlađenja vode u rashladnim tornjevima. Postavljanjem uvjeta da je broj rashladnih tornjeva jednak nuli varijanta prelazi u protočni sistem hlađenja, a uz uvjeta da je broj izgrađenih crpki za zahvat vode iz vodotoka jednak nuli, sistem prelazi u analizu čisto optočnog sistema hlađenja. Svi prikazani podaci odnose se, na primjer, nuklearne elektrane. Međutim, za slučaj analize klasičnih termoelektrana mijenja se skup ulaznih podataka pripadnih uz nuklearni reaktor, s podacima za klasičnu elektranu. Skup alternativnih podataka napisat će se uvijek u zagradi ako se odnosi na podatke koji se razlikuju za slučaj primjene klasičnog generatora pare loženog ugljenom ili mazutom.

U općem slučaju postupak optimizacije hladnog kraja obuhvaća sve tipove termoelektrana s turbinskim ciklusom voda – para, turbine s primjenom spojnog procesa i bez nje, optočne, protočne i kombinirane sisteme hlađenja sa svim tipovima rashladnih tornjeva, uključujući tzv. suhe rashladne tornjeve i kondenzatore s direktnim miješanjem rashladne vode i turbinske pare.

### 3. IZBOR KRITERIJA I MJERILA

Najbitnija odrednica o kojoj ovise rezultati procesa optimalizacije jest definiranje osnovnog kriterija. Dosadašnja iskustva na sličnim procesima pokazala su da je minimalna cijena jedinice električne energije najvredniji parametar i opće prihvaćen kriterij. Analiza ekonomskih podataka zato je osnova postupka optimizacije. Ostali pomoćni kriteriji, koje je analitički teže izraziti (pitanje zastupljenosti domaće industrije, stupanj ekološkog utjecaja na okolinu, tehnološki pravac razvoja, opće društvena korist i slično), nemaju teorijsko značenje za ovaj problem. Izborom tipa i veličine termoelektrane i izborom lokacije kao polaznih podataka u postupku optimizacije hladnog kraja svi navedeni kriteriji već su uključeni u analizu kao izabrani pravci razvoja u energetici.

Ovako određeni kriterij može se izraziti u matematičkom obliku. (pretpostavlja se pritome da su poznati podaci o stupnju angažirana elektrane u jedinstvenom elektroenergetskom sistemu):

$$C_{el.en} = \sum_{g=1}^k ((T_{in} + T_{st,g} + T_{pt,g}) / E_{el,g}) = \min \quad (1)$$

gdje su:

- $g = 1, k$  — indeksi promatranog vremenskog perioda, pri čemu je  $k$  godina ukupnog životnog vijeka postrojenja
- $I_{in,g}$  — aktualizirani investicijski troškovi izgranje objekta
- $I_{st,g}$  — aktualizirani stalni troškovi godišnjeg održavanja i pogona TE
- $I_{pt,g}$  — aktualizirani promjenljivi godišnji troškovi održavanja i troškovi goriva u TE
- $E_{el,g}$  — aktualizirana proizvodnja električne energije kroz životni vijek TE.

### 4. PROCJENA GREŠKE I UTJECAJ NA REZULTAT

Širina problema optimizacije hladnog kraja ne omogućuje jednostavnu definiciju točnosti i preciznosti rezultata, kao ni mogućnost procjene greške, već i zbog nemogućnosti spoznaje apsolutno točnog rezultata. Promatrajući jed. 1, koja oblikuje glavni kriterij, mogu se grubo definirati i granice točnosti rezultata prema poznatim podacima prikazanim na primjeru nuklearne elektrane električne snage 1 000 MWw.

Osnovni odnosi troškova proizvodnje električne energije uz uzimanje u obzir stope eskalacije cijena i diskontnu stopu jednaku nuli, iznosi:

$$\frac{T_{in} (44\%) + T_{st} (29\%) + T_{pt} (27\%)}{E_{el} (100\%)} \quad (2)$$

Ako se na navedene veličine primijeni realna stopa eskalacije i diskontna stopa od 10%, utjecaj pojedinih veličina na cijenu električne energije bitno se mijenja i iznosi:

$$\frac{T_{in} (79\%) + T_{st} (11\%) + T_{ptgo} (10\%)}{E_{el} (100\%)} \quad (3)$$

Kako ukupna vrijednost opreme hladnog kraja ne prelazi 25% vrijednosti cjelokupne investicije u elektranu, proizlazi da pogreška u procjeni neke komponente od jedan mill \$ ne utječe na ukupni rezultat s više od 0,05%. Budući je i osnovna svrha optimizacije, usporedba raznih varijanti opreme hladnog kraja i mogućnost relativne greške samo je u razlici apsolutnih vrijednosti opreme.

Na osnovi ovako skraćenih analiza vidljivo je da ekonomski postupak omogućuje visoku preciznost rezultata jer su i sve druge veličine stalnih i promjenljivih troškova najčešće neovisne o izboru tipa opreme hladnog kraja.

Proizvodnja električne energije zato postaje ključni element u ukupnoj preciznosti postupka. Određivanje nazivne električne snage na pragu elektrane jest pouzdano precizan postupak koji omogućuje neposrednu kontrolu usporedbom s garantnim podacima. Međutim, samo promjena snage na pragu elektrane uzrokovana promjenama hidrometeoroloških uvjeta na lokaciji u toku godine jest specifičan element koji bitno otežava proračun ukupne proizvodnje električne energije u toku godine.

### 5. POSTUPAK ZA PRORAČUN PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Procjena proizvodnje električne energije samo na osnovi poznate nazivne snage elektrane i broja sati pogona godišnje nije za potrebe postupka optimizacije hladnog kraja zadovoljavajuća metoda. Takav statički pristup problemu posebno je nepouzdan u termoelektranama s kombiniranim sistemom hlađenja, gdje broj sati pogona pomoćnih tornjeva direktno ovisi o izabranom kapacitetu tornjeva i trenutnoj hidrometeorološkoj situaciji. Isto tako električna snaga elektrane u spojnog procesu ovisna je osim o izabranom tipu turbine i turbinskog ciklusa i o vremenskom periodu i trajanju perioda pogona u spojnog procesu.

Nužno je stoga primijeniti dinamičke metode proračuna pogona elektrane. One se osnivaju na proračunu trenutne radne snage elektrane u pripadnoj hidrometeorološkoj situaciji za svako promatrano razdoblje. Sumiranjem ostvarene proizvodnje u svakom periodu u toku godine može se znatno povećati preciznost proračuna proizvedene električne i toplinske energije. Činjenica da je preciznost proračuna to veća što je broj promatranih perioda vremena veći ipak ni uz primjenu računala i matematičkih modela ne dozvoljava da se u analizama koristi pretjerano velik broj perioda nepromijenjenih pogonskih sta-



nja. Zbog složene pripreme ulaznih podataka ne preporučuje se korištenje više od 10 do 14 perioda raznih hidroloških stanja u svakom mjesecu za kombinirani i protočni sistem hlađenja. Kod optočnih sistema hlađenja obično je dovoljno koristiti samo dvanaest mjesečnih perioda s pripadnim srednjim mjesečnim meteorološkim podacima, odnosno polumjesečne periode ako se radi o elektranama sa spojnim procesom.

Proizvodnja električne energije (isto vrijedi i za proizvedenu toplinu) u toku životnog vijeka elektrane računa se prema sljedećem izrazu:

$$E_{el.en} = \sum_{g=1}^k f_{go,g} \cdot \sum_{i=1}^m f_{mj,i} \cdot t_{i,j} \cdot P_{el,i,j} \quad (4)$$

gdje su:

- $g=1,k$  — indeksi promatrane godine u životnom vijeku postrojenja
- $f_{go,g}$  — godišnji faktor raspoloživosti elektrane ovisan samo o broju godina životnog vijeka elektrane
- $i=1,m$  — indeks promatranog mjeseca u godini kada su svi meteorološki parametri na lokaciji stalni
- $j=1,n$  — indeks osnovnog vremenskog perioda kada su svi meteorološki i hidrološki parametri na lokaciji stalni
- $f_{mj,i}$  — mjesečni faktor raspoloživosti elektrane ovisan samo o potrebama elektroenergetskog sistema
- $t_{i,j}$  — trajanje osnovnog vremenskog perioda kada su svi meteorološki i hidrološki parametri na lokaciji stalni
- $P_{i,j}$  — ostvarena radna snaga na pragu elektrane za pripadno hidrometeorološko stanje i kombinaciju opreme hladnog kraja.

## 6. PREGLED ULAZNIH PODATAKA U POSTUPKU OPTIMALIZACIJE

Matematički program za simulaciju realnog pogonskog stanja elektrane u svim hidrometeorološkim situacijama u toku godine na različitim lokacijama rađen je fortanu kao osnovnom kompjutorskom jeziku. U pristupu obradi, polaznih podataka izdvaja se pet osnovnih područja (datoteka), koji se mogu nezavisno koristiti:

- A **Hidrometeorološki podaci i ekološki uvjeti** određuju grupu podataka čije su vrijednosti konstantne za lokaciju, a neovisne o primijenjenom tehničkom rješenju elektrane.
- B **Lokacijske specifičnosti** određuju dispozicijske karakteristike tehničkih rješenja koja ovise o tipu elektrane, ali su specifična samo uza navedenu lokaciju i u osnovnom obliku ne podliježu izravno postupku optimizacije.
- C **Tehničke karakteristike opreme** zajedno određuju jednoznačno sve karakteristike hladnog kraja i cijele elektrane bitne za proračun električne i toplinske snage i dinamičko sagledavanje pogona, pri

čemu je izbor dimenzija i tipova opreme osnovna svrha postupka optimizacije.

- D **Pogonske mogućnosti i ograničenja elektrane** predstavlja skup podataka koji određuju faktor raspoloživosti elektrane na mreži u ovisnosti o razdoblju godine, životnom vijeku elektrane, trenutku početka i trajanja remonta, kao i eventualna ograničenja radne snage elektrane nametnuta zajedničkim potrebama sistema.
- E **Ekonomski podaci i parametri** predstavljeni su skupom ulaznih podataka na osnovi kojih se proračunavaju cijene svih komponenti hladnog kraja i cijele elektrane, zatim troškovi pogona, održavanja i goriva, pri čemu ovoj grupi pripadaju i svi podaci o trenucima početka i završetka gradnje elektrane, odnosno podaci o trenucima realizacije svih novčanih davanja, kao i osnovni ekonomski parametri (diskontne stope, stope eskalacije itd.).

## 7. HIDROMETEOROLOŠKI PODACI I EKOLOŠKI UVJETI

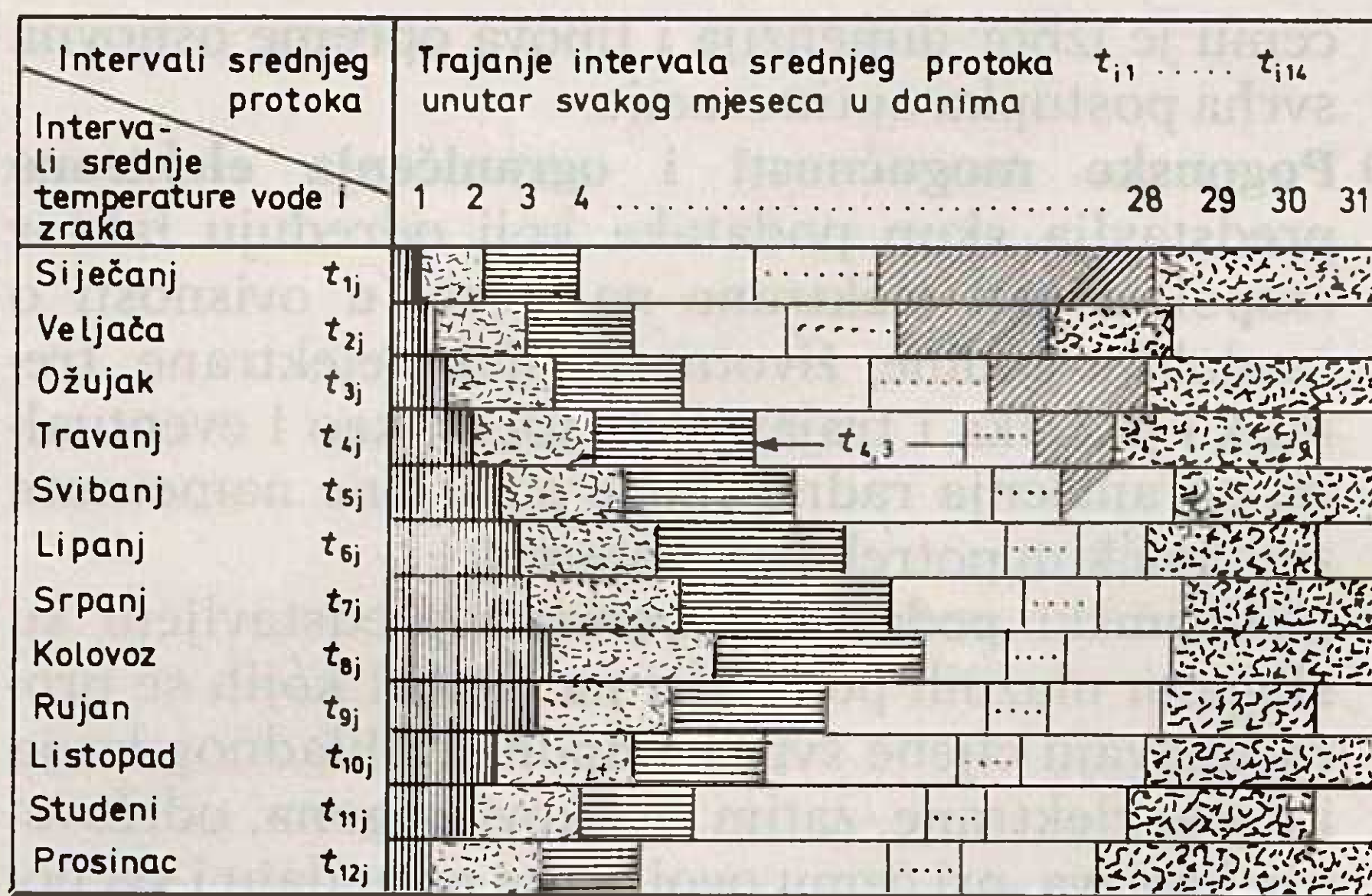
Ulazni hidrometeorološki podaci bitni za pogon rashladnog tornja i kondenzatora moraju biti rezultat višegodišnjih promatranja i mjerenja na lokaciji ili u neposrednoj blizini. Pripadni podaci specifični su za zadanu lokaciju i potpuno neovisno o tipu elektrane ili tipu rashladnog sistema.

Meteorološki podaci ulaze u proračun kao srednje mjesečne vrijednosti, što znači da unutar osnovnog vremenskog perioda kraćeg od mjesec dana podaci o temperaturi i vlažnosti zraka ostaju nepromijenjeni. Teorijski promatrano bilo bi poželjno i sve podatke o temperaturi grupirati u kraće vremenske intervale u toku godine. Međutim zbog prevelikih komplikacija u obradi programa i pripremi polaznih podataka to zasada nije moguće ostvariti.

Posebne specifičnosti čini oblikovanje ulaznih podataka o temperaturama i protocima vodotoka jer oni ne čine signifikantnu korelaciju zadovoljavajuće točnosti. Zbog navedene činjenice samo temperature vodotoka ulaze u proračun kao srednja mjesečna vrijednost s konstantnim iznosom u toku cijelog trajanja osnovnog vremenskog perioda. Protoci vodotoka i pripadni vodostaj koji međusobno čine funkcionalnu vezu zadovoljavajuće točnosti promatraju se kao konstantne veličine u osnovnom periodu vremena. Tako definirani interval vremena ujedno je i osnovni vremenski period unutar kojeg se smatra da su osim meteoroloških i svi promatrani hidrološki parametri na lokaciji stalne veličine.

Za svaki osnovni period proračunava se radna električna snaga elektrane, a sumiranjem proizvodnje za sve vremenske intervale u toku godine određuje se godišnja proizvodnja električne i toplinske energije u promjenljivim hidrometeorološkim prilikama i različitim pogonskim stanjima s obzirom na mogućnosti angažiranja elektrana u spojnem procesu.

Navedeni skup hidrometeoroloških podataka predstavlja elemente nužne za proračun proizvodnje energije u toku godine. Međutim, za funkcionalnu



Slika 1. Grafički prikaz izbora trajanja osnovnih vremenskih perioda nepromijenjenoga pogonskog stanja

sposobnost i provjeru rada elektrane u ekstremnim hidrometeorološkim situacijama važni su i ovi podaci: minimumi i maksimumi temperature suhog i vlažnog zraka, minimumi i maksimumi temperature vodotoka, kao i minimalni i maksimalni protoci na osnovi kojih se ispituju pogonske sposobnosti elektrane.

Ekološki uvjeti za hladni kraj termoelektrana odnose se ponajprije na skup propisa kojima se želi zaštititi vodotok od toplinskog preopterećenja i prekomjernog zahvata svježe vode.

Skup svih ulaznih podataka koji jednoznačno određuje hidrometeorološke specifičnosti lokacije prikazan je u tablici 1. zajedno sa pripadajućim simbolima u fortranskom zapisu.

## 8. LOKACIJSKE SPECIFIČNOSTI

Lokacijske specifičnosti elektrane definiraju samo one elemente izvedbe građevinskih radova koji su uvjetovani dispozicijom objekata na lokaciji, kao i topografskim karakteristikama zemljišta. U te karakteristike ubrajaju se i geomehaničke karakteristike tla, kao ograničavajući element za dubinu temeljenja turbinske zgrade, položaj rashladnih tornjeva i crpnih stanica, duljina i oblik kanala rashladne vode,

Tablica 1. Polazni hidrometeorološki podaci

Simbol	Simbol – FORTRAN	Dimenzija	Značenje i opis parametara
$q_{doz1}$	ADO 1	1	dozvoljeni zahvat vode za hlađenje ljeti
$q_{doz2}$	ADO 2	1	dozvoljeni zahvat vode za hlađenje zimi
$T_1$	ATR 1	K	dozvoljeno povećanje temp. rijeke ljeti
$T_2$	ATR 2	K	dozvoljeno povećanje temp. rijeke zimi
$t_{max}$	ATS	° C	maks. dozvoljena temperatura rijeke
$t_{isp}$	ATI	° C	maks. dozvoljena temp. ras vode na ispustu
$q_{vod}$	APS	m <sup>3</sup> /s	granični protok rijeke za promjenu uvjeta
$i$	I		indeks pripadnog mjeseca u godini
$j$	J		indeks osnovnog vremenskog perioda
$t_{zr}$	STZ (I)	° C	srednja mjesečna temperatura zraka
$\Gamma_{zr}$	SVZ (I)	%	srednja mjesečna vlažnost zraka
$t_s$	STS (I)	° C	srednja mjesečna temperatura rijeke
$q_i$	SPS (I,J)	m <sup>3</sup> /s	srednji protok rijeke u promatranom intervalu vremena
$h_i$	VKV (I,J)	m.n.m	izračunata kota nivoa vodotoka u promatranom vremenskom periodu
$t_{i,j}$	DAN (I,J)	dan	trajanje osnovnog vremenskog perioda s pripadnim hidrometeorološkim stanjem

visina nivoa vode u preljevnom bunaru i bazenima rashladnih tornjeva, kote nivoa terena, kote obrane od poplava, izgradnja brana itd. Navedene karakteristike bitne su za poznavanje razlika geodetskih visina crpljenja rashladne vode, poznavanja duljina kanala rashladne vode i broja i veličina lokalnih otpora u cjevovodima.

Dubina ukapanja turbinske zgrade kod protočnih sistema hlađenja vrlo je bitan element optimizacije jer pronalazi kompromis između uštede u potrošnji električne energije crpki rashladne vode i uštede u dubini ukapanja turbinske zgrade u zemlju. Budući da zbog tehničkih razloga visina najviše cijevi u kondenzatoru ne može iznositi više od otprilike 7,5 – 8,0 m iznad kote vode u preljevnom bunaru, turbinska zgrada za protočne sisteme hlađenja mora se ukopati bitno dublje u zemlju nego ona za optočne sisteme.

Potreba izgradnje brane ili ustave na vodotokovima također može biti element optimizacije jer se time mijenjaju kote usisa rashladne vode i/ili pouzdano izbjegava opasnost recirkulacije voda sporih vodotoka. Troškovi izgradnje brane mogu biti kompenzirani smanjenjem troškova pogona i investicija u crpnoj stanici rashladne vode.

Skup ulaznih podataka o dispozicijskim karakteristikama lokacije za sve vrste elektrana i tipova rashladnih sistema prikazani su u tablici 2.

## 9. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE OPREME

Potreba proračuna maksimalno moguće ostvarene električne i toplinske energije na pragu elektrane zahtijeva precizno definiranje svih elemenata hladnog kraja koji svojim slobodnim izborom mogu utjecati na snagu elektrane, odnosno na pogonske karakteristike. Ovome pripadaju i osnovni podaci o parnom kotlu u klasičnim elektranama, odnosno nuklearnom reaktoru u nuklearnim elektranama jer ove komponente određuju polazne parametre pare na ulazu u turbinu. Ulazni podaci grupirani su u dva osnovna oblika:

- kao jednodimenzionalni tehnički parametri koji su ujedno i ulazni pojedinačni podaci za program

Tablica 2. Polazni lokacijski podaci

Simbol	Simbol – FORTRAN	Dimenzija	Značenje i opis parametara
$h_{ke}$	VKE	m.n.m.	visina kote platoa elektrane
$h_{kb}$	VKB	m.n.m.	visina kote vode u preljevnom bunaru
$l_{ka}$	DKT	m	duljina svih kanala glavne rashladne vode
$l_{rt}$	DKT	m	duljina svih kanala vode za rash. tornjeve
$v_{ka}$	BVK	m/s	brzina rashladne vode u glavnim kanalima
$v_{rt}$	BVT	m/s	brzina rashl. vode u kanalima za tornjeve
$l_{is}$	DKI	m	duljina ispusnog kanala vode u rijeku
$k_1$	FH1	m	hlapavosti stijenke kanala rash. vode
$k_2$	FH2	m	hlapavosti stijenke kanala vode za toranj
$\Sigma_{rv}$	ZK1		ukupna suma lokalnih otpora u kanalima glavne rashladne vode
$\Sigma_{rt}$	TK2		ukupna suma lokalnih otpora u kanalima za rashladne tornjeve

(broj rashladnih tornjeva, protok rashladne vode, broj crpki itd.)

- kao skup više međusobno ovisnih podataka koji kao cjelina definiraju jednoznačno tip komponente (npr. tip turbine, tip nuklearnog reaktora, tip rashladnog tornja itd.).

#### Nuklearni reaktor (generator pare)

Izbor tipa nuklearnog reaktora (generatora pare) definira toplinsku snagu i polazne parametre radnog medija potrebne za proračun turbine, ali i količinu potrošenog goriva za održavanje pogona. Za vlastitu potrošnju električne energije nužno je poznavati glavne potrošače električne energije u cijeloj elektrani, vodeći brigu o tome koji potrošači predstavljaju konstantnu potrošnju neovisnu o promjeni snage, a koji potrošači ovise o radnoj snazi elektrane.

#### Turbina

Izborom tipa turbine i poznavanjem pripadnih konstrukcijskih specifičnosti kao broja NTK i izlaznih presjeka turbine, broja regenerativnih zagrijača i do-grijača pare, osnovnih parametra pare na oduzim-nim mjestima itd. može se izračunati izlazna snaga na osovini turbine.

#### Generator

Izbor turbine primarno definira broj okretaja turbo-agregata, ali tek izbor tipa generatora određuje način hlađenja, odnosno gubitke transformacije mehaničke energije u električnu.

#### Kondenzator

Tehničke karakteristike kondenzatora neposredno utječu na tlak kondenzacije i time posredno na snagu turbine. Pritome treba napomenuti da je kondenzator kao element, konstrukcija s najvećom slobodom izbora neovisnih tehničkih rješenja (duljina, debljina stijenke, promjer i broj cijevi kondenzatora, protok i brzina rashladne vode, materijal cijevi itd.).

#### Rashladni tornjevi

Izbor (pomoćnih) rashladnih tornjeva također utječe posredno na snagu elektrane, ali u kombiniranim sistemima hlađenja kapacitet tornjeva određuje i trajanje pogona elektrane u malovodnim razdobljima. Protok rashladne vode i snaga hlađenja elementi su koji najviše utječu na izbor tipa rashladnih tornjeva.

#### Crpke rashladne vode

Broj crpki rashladne vode glavni je parametar postupka optimizacije jer neposredno utječe na izbor najpovoljnijeg pogonskog stanja elektrane. Premda je broj agregata određen potrebama pogona, snaga crpki rashladne vode izravno je određena izborom ostalih elemenata hladnog kraja.

#### Crpna stanica i kanali rashladne vode

Dimenzije crpne stanice i kanala (cjevovoda) rashladne vode rezultat su i procesa optimizacije hladnog kraja, čime su određene osnovne karakteristike kanala kao oblik poprečnog presjeka, brzina vode u kanalima, hrapavost stijenki itd.

Svi odabrani elementi moraju zajedno sadržavati dovoljno podataka za cjelovit proračun snage elektrane, pri čemu treba napomenuti da svrha programa nije konstrukcijsko projektiranje opreme, nego izbor gotovih standardnih rješenja koji sačinjavaju najpovoljniju kombinaciju elemenata hladnog kraja. U tablici 3. prikazan je pregled ulaznih podataka za matematički program koji definira osnovne tehničke karakteristike opreme.

## 10. POGONSKE MOGUĆNOSTI I OGRANIČENJA

Pogonske karakteristike elektrane obuhvaćaju analizu proizvodnih mogućnosti elektrane, s jedne strane, i ograničenja elektroenergetskog i toplinskog sistema, s druge strane.

**Pogonske mogućnosti elektrane** jesu elementi koji određuju tehnički ostvariva broj sati rada elektrane na mreži kao funkciju izabranog tipa postrojenja, tehničke vrijednosti ugrađene opreme, broja, godina pogona, obučenosti osoblja, načina održavanja itd. Budući da je zbog dinamičkog promatranja pogonskog stanja elektrane potrebno poznavati tehnički ostvariv broj sati pogona u svakom osnovnom vremenskom periodu u toku godine, nužno je poznavanje i trenutka početka i kraja perioda remonta odnosno izmjene goriva. Trajanje remonta određeno je tipom elektrane, ali je izabrani trenutak remonta element ukupnih potreba elektroenergetskog i toplinskog sistema. Budući da elektrana u toku životnog vijeka zbog starenja postrojenja nema isti faktor raspoloživosti, nužno je određivanje faktora raspoloživosti.

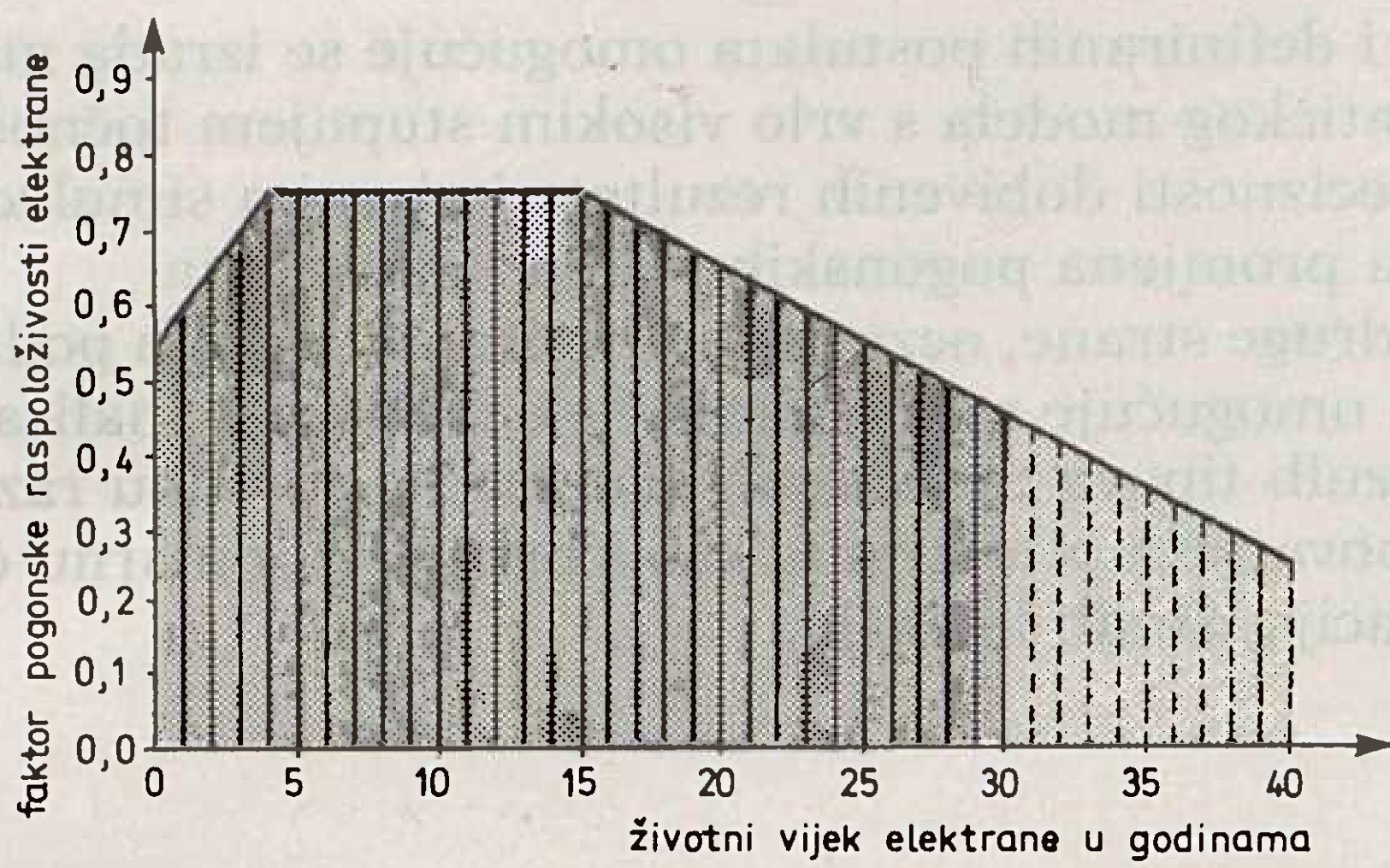
Tablica 3. Ulazni podaci o tehničkim karakteristikama opreme

Simbol	Simbol – FORTRAN	Dimenzija	Naziv tehničkog parametra
$\varnothing_{nr}$	NR		<i>tip nuklearnog reaktora (generatora pare)</i>
$t_{pp}$	QNR (NR)		topl. snaga nukl. reaktora (gener. pare)
$t_{nv}$	TPP (NR)	° C	temp. pare u parogeneratoru (gener. pare)
$x_{pp}$	TNV (NR)	° C	ulazna temp. napojne vode
$P_{pp}$	XPP (NR)	kg/kg	ulazna vlažnost pare iz parogeneratora
$\pi_{pp}$	SNP (NR)	MW	el. snaga sustava crpki primarnog hladioca (gener. pare)
$N_{pp}$	ENP (NR)	1	stupanj djelovanja crpki primarnog hladioca (gener. pare)
$I_{go}$	BNP (NR)	kom	broj crpki primarnog hladioca
$\pi_{pk}$	DIG (NR)	MWd/Mg	dubina izgaranja goriva (ogr. vrijednost)
$\pi_{bd}$	ENER (NR)	1	toplinski gubici primarnog kruga (gen. pare)
	EPG (NR)	1	toplinski gubici parogeneratora
	NT		<i>tip turbine</i>
$\pi_{sk}$	ETP (NT)	1	toplinski gubici sekundarnog kruga
$\pi_{tu}$	ETU (NT)	1	topl. gubici turbine (gubici brtvljenja)
$A_o$	OPM (NT)	kg/kg	omjer količina pare na ulazu u VTKT i PG
$t_{dp}$	TDP (NT)	° C	temperatura pare nakon dogrijavanja
$t_{mp}$	TDP (NT)	° C	temperatura pare prije dogrijavanja
$x_{ko}$	XTP (NT)	kg/kg	vlažnost pare na izlazu iz NTK
$B_{nk}$	BIK (NT)	1	broj izlaznih NTK turbina
$F_{nk}$	PNK (NT)	m <sup>2</sup>	površina izlaznog presjeka NTK turbine
$l_{zl}$	DZL (NT)	m	duljina zadnje lopatice NTK turbine
$\pi_{tu}$	BOT (NK)	s <sup>-1</sup>	broj okretaja turbine
$B_{rz}$	BRZ (NK)	kom	broj stupnjeva regenerativnih zagrijača
$d_{tu}$	DTU (NK)	m	ukupna duljina turbine
$t_{ko}$	TKO (NT)	° C	osnovna temperatura kondenzacije
$t_{ro}$	TRO (NT)	K	temperaturni pad u zadnjem stupnju turbine
$\delta_{ta}$	DTA (NT)	° C	izlazna razlika temperatura u reg. zagri.
$\delta_{tb}$	DDTB (NT)	° C	ulazna razlika temperatura u reg. zagrij.
$Q_{vr}$	QVR	MJ/s	maksimalna toplinska snaga vrelovoda
$\delta_{tc}$	DTC	° C	izlazna temp. razlika u vrelovodima
$t_{tu,1n}$	OD1	° C	temperature pare na mjestima oduzimanja s turbine za potrebe vrelovodnih zagrijača
$t_{tu,2n}$	OD2	° C	
$t_{tu,3n}$	OD3	° C	
$t_{vol}$	TV1	° C	polazna temperatura vrelovoda
$t_{vo0}$	TV2	° C	povratna temperatura vrelova
$n_{vr}$	EVR	%	stupanja djelovanja vrelovodnih zagrijača
	MK		<i>tip kondenzatora</i>
$c_{vm}$	FVM (MK)	/	oznaka vrste materijala za cijevi
$c_c$	FCC (MK)	/	faktor čistoće cijevi kondenzatora
$s_{ko}$	SCK (MK)	mm	debljina stijenke cijevi kondenzatora
$d_{ko}$	PCK (MK)	mm	promjer cijevi kondenzatora
$l_{ko}$	DCK	m	duljina cijevi kondenzatora
$v_{ko}$	BVC	m/s	brzina vode u cijevima kondenzatora
$m_{ko}$	GRV	m <sup>3</sup> /s	protok vode kroz kondenzator
$B_{pv}$	BPV		broj tlačnih zona u kondenzatoru
$k_{gs2}$	FTY (MK)	s <sup>2</sup> /m	spec. otpori trenja u vodnim komorama
$k_{s2}$	FTY (MK)	s <sup>2</sup> /m	spec. otpori trenja na ulazu u cijevi kond.
	KT		<i>tip rashladnog tornja</i>
$\delta_{is-F_o}$	SIG (KT)	kg/m <sup>2</sup> s	produkt koeficijenta ishlapljivanja i površine prsišta
$m_{vo}$	RPV (KT)	kg/s	protok vode po čeliji tornja
$m_{zr}$	RPZ (KT)	m <sup>3</sup> /s	protok zraka po čeliji tornja
$m_{vo}$	GVI (KT)	kg/s	gubitak kapljica vode u radu
$P_{ve}$	SVT (KT)	MW	snaga ventilatora zraka po čeliji
$h_{pr}$	VPR (KT)	m	visina prsišta iznad kote platoa
$h_{rt}$	VRT (KT)	m	visina rashladnog tornja
$d_{rt}$	DRT (KT)	m	duljina (promjer) baze rashladnog tornja
	JC		<i>karakteristike rashladnih crpki</i>
$N_{rp}$	NRP	n <sup>-1</sup>	specifičan broj okretaja glavnih crpki
$B_{rp}$	BRP	kom	broj crpki glavne rashladne vode
$\Pi_{pt1}$	EPV (JC)	%	totalni stupanj djelovanja crpki glavne rashladne vode
$\Pi_{pt2}$	EPT (JC)	%	totalni stupanj djelovanja crpki za rashladne tornjeve
$F_{el}$	FPP (JC)	%	faktor preopterećenja el. motora crpki

vosti elektrane za svaki pripadni interval vremena u toku godine i cijelog životnog vijeka elektrane.

**Pogonska ograničenja elektrane** mogu biti nametnuta zajedničkim potrebama elektroenergetskog i toplinskog sistema. Za opći slučaj teorijskog pristupa važno je napomenuti da se u svakom trenutku u toku razdoblja godine, ali i u toku životnog vijeka elektra-

ne mogu pojaviti razdoblja viška energije u sistemu, iz čega proizlazi i zahtjev za smanjenjem bilo električne ili toplinske snage elektrane. Baza tih podataka proizlazi iz prethodne analize prilika u elektroenergetskom i toplinskom sistemu u toku cijelog perioda predviđenog rada elektrane. Ako takve analize pokažu manju potrebu za električnom ili toplinskom

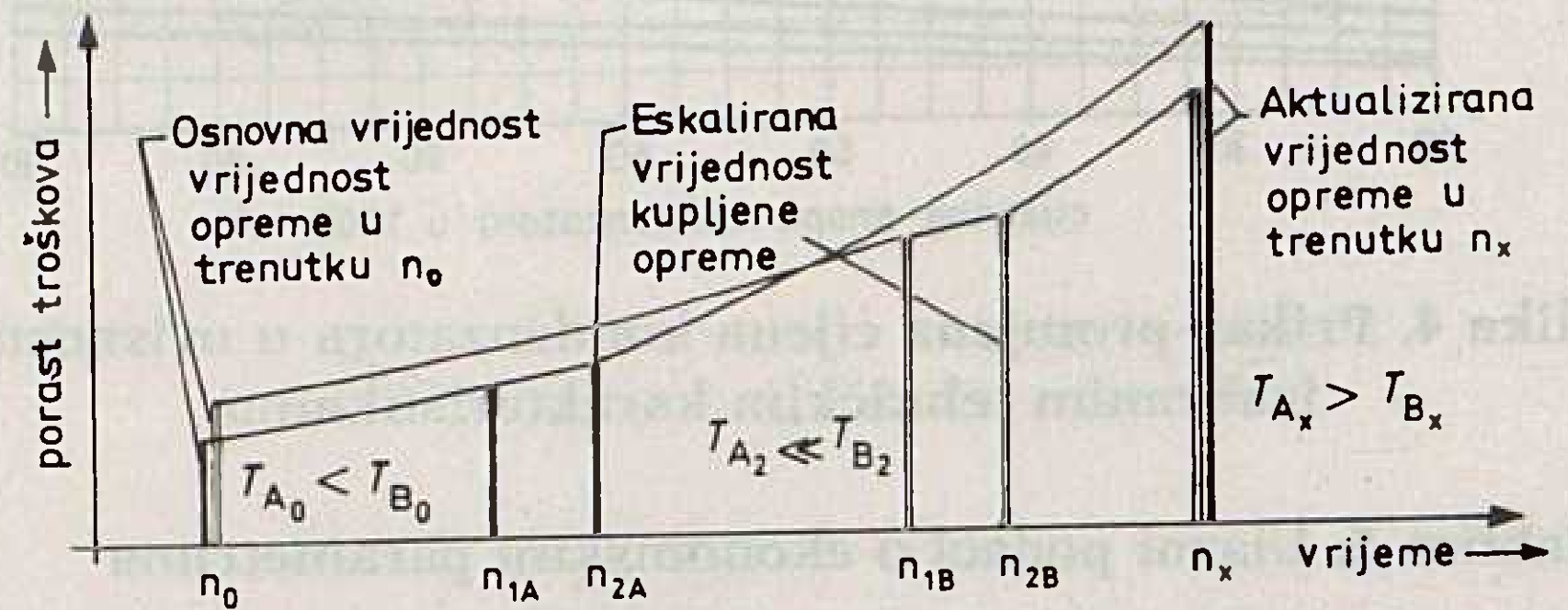


Slika 2. Grafički prikaz godišnjeg faktora raspoloživosti nuklearnih elektrana u toku životnog vijeka (prema preporuci IAEA)

snagom od moguće tehnički ostvarive, programom je predviđeno pri proračunu proizvodnje energije u toku životnog vijeka, smanjenje snage elektrane do nivoa koji potrebe u sistemu nameću.

ne, posebno komponenti hladnog kraja. Za svaku komponentu hladnog kraja ugrađenu u elektranu, određen je posebno prema terminskom planu:

- trenutak početka izrade opreme (trenutak sklapanja ugovora)
- trenutak isporuke opreme na gradilište (trenutak isplate)
- trenutak početka montaže opreme (ugovor o montaži)
- trenutak završetka montaže (trenutak isplate za montažu).



Slika 3. Grafički prikaz postupka aktualizacije

Tablica 4. Ulazni podaci za pogonske mogućnosti i ograničenja

Simbol	Simbol – FORTRAN	Dimenzija	Značenje i opis pogonskih parametara
$k$	K	god	indeks godine životnog vijeka elektrane
$t_{el}$	TRE (K)	dan	trenutak početka remonta u svakoj godini
$d_{el}$	DRE (K)	dan	duljina trajanja remonta u svakoj godini
$f_{mj}$	FRM (I)	%	faktor raspoloživosti rada u toku godine
$f_{go}$	FGO (K)	%	faktor raspoloživosti kroz životni vijek
$\dot{E}_{max}$	EMY (I,K)	MWe	maks. prihvatljiva el. snaga za sistem u toku životnog vijeka elektrane
$T_{max}$	TMY (I,K)	MWt	maks. prihvatljiva top. snaga za sistem u toku životnog vijeka elektrane

## 11. EKONOMSKI PODACI I PARAMETRI

Svaki proces optimalizacije u biti je ponajprije ekonomski problem i zato je nužno primijeniti ekonomske obrade koje najbolje oslikavaju realno stanje. Metoda toka gotovine («net present value») ili metoda čiste sadašnje vrijednosti danas se smatra najprihvatljivijom za financijske analize kod investicija s velikim vremenskim razlikama između nastanka troškova i koristi.

Na slici 3. prikazan je grafički smisao postupka aktualizacije primijenjen na komponentama s različitom dinamikom ugradnje u elektranu (A = kondenzator, B = rashladni toranj). Zbog tehnologije gradnje oprema A koja se ranije ugrađuje u elektranu, premda jeftinija u trenutku nabave od opreme B, u trenutku puštanja u pogon stvara investitoru veći trošak nego oprema B. Porast troškova stajanja opreme isporučene na gradilište uvijek je veći od porasta stope inflacije jer je i interkalarna kamatna stopa uvijek veća od stope inflacije. Kasnije vezivanje sredstava zbog tehnoloških zahtjeva kasnije ugradnje stvara manje troškove tzv. mrtvog kapaciteta, čime troškovi stajanja postaju veličinom dominantniji trošak za investitora u odnosu na početno manju nabavnu cijenu opreme.

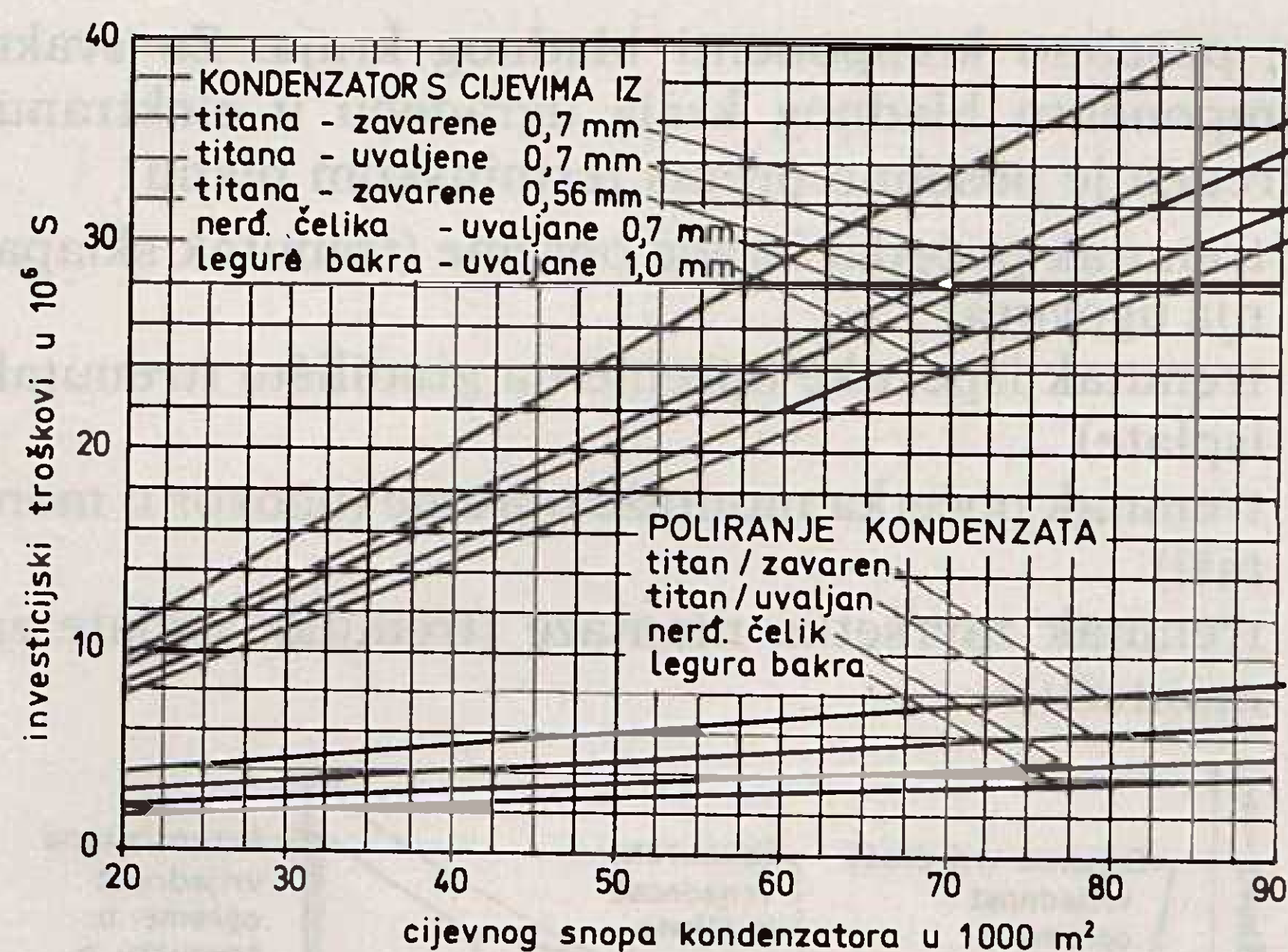
Zato osnovna grupa ekonomskih parametara sadrži podatke o terminskom planu izgradnje cijele elektra-

ne, posebno komponenti hladnog kraja. U skladu s potrebama proračuna cijene električne energije kao ulazni podaci pojavljuju se i sljedeće grupe troškova koje se javljaju u toku pogona elektrane:

- specifični troškovi goriva po proizvedenoj toplini u generatoru pare
- promjenljivi godišnji troškovi održavanja i pogona elektrane
- stalni godišnji troškovi održavanja i pogona elektrane
- troškovi zatvaranja elektrane nakon isteka životnog vijeka.

Osim primjene odgovarajuće metode, za postupak optimizacije bitno je uvesti u program i mogućnost kontinuiranog praćenja promjene investicijskog troška svake opreme, usporedo s promjenom tehničke karakteristike opreme. Zato ulazni podatak o vrijednosti pojedine investicije (npr. kondenzatora) na sl. 4) nije konstantna veličina, nego specifična vrijednost opreme koja ovisi o materijalu cijevi, promjeru cijevi, ukupnoj površini cijevnog snopa itd. Ovakav pristup omogućuje automatsko ekonomsko valoriziranje svake tehničke promjene na pojedinoj komponenti.

U ekonomsko vrednovanje elemenata hladnog kraja, osim tehničkih komponenti navedenih u pogl. 2.3, ulaze i neke komponente koje ne utječu na snagu elektrane i zato nisu izravno uključene u proračun



Slika 4. Prikaz promjena cijena kondenzatora u ovisnosti o izabranim tehničkim karakteristikama

Tablica 5. Ulazni podaci o ekonomskim parametrima

Simbol	Simbol - FORTRAN	Dimenzija	Značenje i opis ekonomskog parametra
$e_o$	SED	%	stopa eskalacije cijena za opremu u toku izgradnje elektrane
$e_m$	SEM	%	stopa eskalacije cijena za materijal u toku izgradnje elektrane
$e_u$	SEU	%	stopa eskalacije cijena za vrijeme ugovornih obaveza
$e_1$	SE1	%	stopa eskalacije cijena u toku pogona elektrane
$d_o$	SAD	%	diskontna stopa u toku izgradnje elektrane
$d_o$	SA1	%	diskontna stopa nakon izgradnje elektrane
$\Pi_o$	GXX	god	osnovna godina (nulta točka) u kojoj su definirani svi troškovi
$\Pi_a$	GPG	god	godina početka gradnje elektrane
$\Pi_x$	GPP	god	godina početka pogona elektrane
$\Pi_z$	GZP	god	godina završetka ekonomskog vijeka elektrane
$\Pi_{1i}$	H1 (OP)	god	trenutak početka izrade opreme (trenutak sklapanja ugovora)
$\Pi_{2i}$	H2 (OP)p7	god	trenutak isporuke opreme na gradilište (trenutak isplate)
$\Pi_{3i}$	H3 (OP)	god	trenutak početka montaže opreme (ugovor o montaži)
$\Pi_{4i}$	H4 (OP)	god	trenutak završetka montaže (trenutak isplate za montažu)
$C_i$	CI (OP)	\$	specifična cijena svake pojedine komponente hladnog kraja
$CE$	H (EL)	\$	ukupna cijena preostalog dijela elektrane
$\Pi_e$	H (EL)	%	vrijednost ulaganja preostalog dijela elektrane po godinama izgradnje
$C_g$	CIG	%/MJ	specifična cijena goriva
$C_{po}$	CPO	\$/h	specifična cijena promjenljivih troškova pogona i održavanja
$C_{so}$	CSO	\$/g	cijena stalnih troškova pogona i održavanja

pogonskih stanja elektrane, ali čije dimenzije opreme, a time i cijena, direktno ovise o izboru osnovnih komponenti hladnog kraja.

**Glavni transformatori** — cijena ovisna o snazi elektrane.

**Rasklopno postrojenje** — cijena ovisna o snazi elektrane.

**Sistem za poliranje kondenzata** — cijena ovisna o tipu kondenzatora i turbinskog ciklusa.

**Turbinska zgrada** — cijena ovisna o dimenzijama turboagregata.

## 12. ZAKLJUČAK

U prikazanim analizama izneseni su osnovni problemi u izradi matematičkog modela, kao i osnovne postavke i ideje primijenjene u oblikovanju modela za simuliranje pogonskih stanja elektrane i optimizaciju hladnog kraja. Poštivanjem navedenih pretpostav-

ki i definiranih postulata omogućuje se izrada matematičkog modela s vrlo visokim stupnjem točnosti i preciznosti dobivenih rezultata i vjernim simulacijama promjena pogonskih stanja postrojenja.

S druge strane, nezavisno grupiranje ulaznih podataka omogućuje maksimalnu fleksibilnost u analizama raznih tipova rashladnih sistema, usporedbu raznih tipova termoelektrana, kao i brzu preliminarnu evaluaciju samih lokacija.

### AN APPROACH TO ELABORATION OF MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMIZATION OF TPP COLD END

In the paper are presented theoretical principals of mathematical model for optimization of TPP cold end with review of input data. This paper is continuation of article issued in »Energija« 5/88 that describes a method, base principals of program as well as numerical results.

### ZUGANG ZUR AUSARBEITUNG DES MATHEMATISCHEN MODELLS FÜR DIE OPTIMIERUNG DES KÜHLEN ENDES DER WÄRMEKRAFTWERKE

Im Artikel werden theoretische Grundzüge des mathematischen Modells für die Optimierung des kühlen Endes der Wärmekraftwerke gemeinsam mit einer Übersicht der Eingangsangaben geschildert. Diese Arbeit ist eine Fortsetzung des Artikels der in Energija Nr. 5/88 veröffentlicht wurde und in dem der Sinn des Programms, die Grundpostulate die den Arbeitsumfang des Programms und Beispiele fertiger Ergebnisse definieren, beschrieben wird.

### ПОДХОД К ИЗГОТОВЛЕНИЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ХОЛОДНОЙ ДТОРОНЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В статье приводятся теоретические основы математической модели для оптимизации холодной стороны тепловых электростанций совместно с обзором входящих данных. Настоящая работа является продолжением статьи, объявленной в журнале »Энергия« № 5/, в которой описана цель программы, основных постулаты, определяющие область действия программы, а также примеры полученных результатов.

Naslov pisca:

Mr. Hrvoje Kunaj, dipl. inž.  
Institut za elektroprivredu,  
41000 Zagreb, Proleterskih  
brigada 37,  
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:  
1988 - 07 - 30

# VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

## REZERVE UGLJENA U SR HRVATSKOJ

Programom istraživanja ležišta ugljena u SR Hrvatskoj, koji se provodi kontinuirano od 1976. godine, utvrđeno je više nalazišta ugljena na više lokacija u Republici, od kojih je većina otprije poznata. To su uglavnom manja nalazišta i ne mogu biti osnova za izgradnju termoelektrana. utvrđeno je da samo tri nalazišta mogu biti osnova za izgradnju termoelektrana od 100 MW ili više. To su nalazišta:

- Istarski ugljenokopi — Raša,
- Poljanica — Šušobreg kod Konjščine i
- Mursko Središće.

Ukratko se treba osvrnuti na novija istraživanja nalazišta Poljanica — Šušobreg u konjščinskom bazenu.

Konjščinski bazen ubraja se u poznata ležišta ugljena, nekada eksploatirana (na bazi kojeg je izgrađena TE Jertovec), u kojima je u određeno vrijeme i iz poznatih razloga eksploatacija obustavljena.

Istraživanjima posljednjih godina preciznije su utvrđena ležišta i rezerve. Ležište Poljanica — Šušobreg raspolaže sa 17 milijuna tona priznatih rezervi. Računa se da su bilančne rezerve oko 24,3 milijuna tona. Studijom Utvrđenje osnovne tehničko-tehnološke i ekonomske opravdanosti eksploatacije ležišta lignita Poljanica — Šušobreg dokazano je da je moguće organizirati i ostvariti godišnju proizvodnju od 850 000 tona/godinu, od čega 500 000 tona/god. površinskim, a 350 000 t/god. podzemnom eksploatacijom.

Prosječna je ogrjevna moć ugljena 7954 kJ/kg, što uz godišnju proizvodnju ugljena od 850 000 tona omogućava izgradnju termoelektrane od 100 do 110 MW.

I. R.

## PRIPREME ZA GRADNJU HE VALIĆI

Prema stupnju pripremljenosti objekta kontinuiteta HE Valići s akumulacijom Zoretići najspremnija je od svih objekata i postoje realne mogućnosti da uđe u plan izgradnje 1989. godine.

U toku 1988. godine investitor Elektroprivreda Rijeka raspolagao je ulaganjima oko 550 milijuna dinara za izradu tehničke dokumentacije i izvedbenih projekata buduće HE Valići.

Tehnički podaci: HE Valići je derivacijsko tlačno postrojenje smješteno na gornjem dijelu dnevnog izravnanja HE Rijeka, a povezana je s akumulacijom Zoretići dovodnim tunelom 4 km, promjera 3,30 m. U strojarnici je smješten agregat 22 MVA. Uz maksimalni protok 25,0 m<sup>3</sup>/sek i raspoloživu snagu 18 MW, moguća godišnja proizvodnja iznosila bi 48,5 GWh električne energije. Ali izgradnjom predviđene akumulacije Zoretići s korisnim volumenom 15,5 hm<sup>3</sup> povećala bi se proizvodnja nizvodne postojeće HE Rijeka za 23,15 GWh, tako da bi ukupni doprinos izgradnje HE Valići (s akumulacijom) iznosio 71,7 GWh.

Akumulacija Zoretići zaprema prostor od izvora Rječine do iznad sela Zoretića.

Tehnički podaci — površina akumulacije	0,93 km <sup>2</sup> ,
— ukupna zapremnina	16,66 hm <sup>3</sup> ,
— korisna zapremnina	15,50 hm <sup>3</sup>
— bruto pad na strojarnici	89,99 m,
— neto srednji pad	79,90 m.

Hidroelektrana Valići s akumulacijom Zoretići ujedno je hidroenergetski i vodoopskrbni, odnosno objekt s tzv. višenamjenskim karakteristikama.

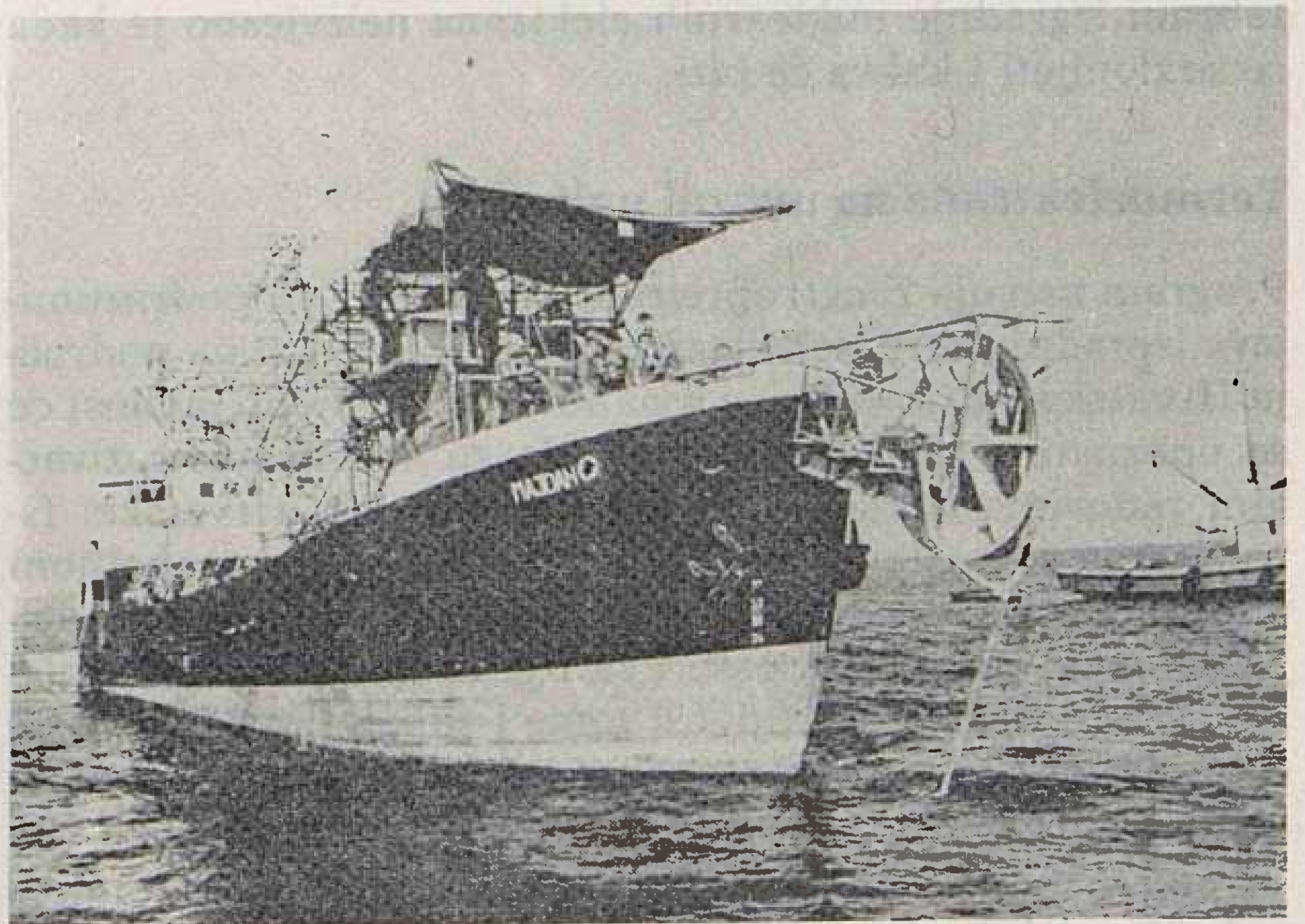
Izgradnjom HE Valići s akumulacijom Zoretići, pitkom i kvalitetnom vodom opskrbljivat će se potrošači s područja općina Opatija, Rijeka, Crikvenica, Krk i drugih obližnjih mjesta.

I. R.

## PRIJENOSNI OBJEKTI NA JADRANSKIM OTOCIMA

Zajedničkim planom izgradnje prijenosnih objekata za 1988. godinu u Hrvatskoj, predviđena su ulaganja u izgradnju prijenosnih objekata i na jadranskim otocima.

U objekte na jadranskim otocima u 1988. godini planirana su ulaganja u iznosu 6 865 milijuna dinara, koja će se utrošiti na dovršetak izgradnje DV 110 kV Krk — Rab, na realizaciju prve faze programa »MORKAB« i početak izgradnje TS, 100/35 kV Lošinj i TS 110/35/10 (20) kV Nin, te nabavu jednog transformatora 110/35 kV, 20 MVA, kao rezervu za transformatorske stanice na jadranskim otocima.



Brod za polaganje podmorskih kabela

Izgradnjom navedenih objekata omogućit će se ubrzaniji privredni razvoj Raba i Lošinja, te gotovo čitavog zadarskog arhipelaga. Realizacijom prve faze programa »MORKAB« pribavila bi se neophodna oprema, osim plovila, za polaganje i popravak podmorskih kabela naponske razine 10(20), 30(35) i 110 kV. U programu, osim ZEOH-a, sudjeluje kao sufinancijer i organizator cjelokupnog posla RO »Dalekovod« Zagreb. Očekuje se uključenje i ostalih mogućih korisnika u ovaj program, i to JUGEL-a, JNA, PTT-a, te proizvođača opreme, brogarskih organizacija, specijaliziranih izvođača radova, kao i turističke privrede jadranskih otoka.

I. R.

## NOVA PROIZVODNA POSTROJENJA DO 1995.

Prijedlog plana izgradnje novih proizvodnih postrojenja u razdoblju 1991 — 1995. godine u SR Hrvatskoj temelji se na gradnji novih hidroelektrana i termoelektrana zajednič-

kom izgradnjom u drugim republikama i pokrajinama, te izgradnjom termoelektrana na ugljen osiguran iz uvoza.

Predviđena je gradnja sedam hidroelektrana koje trebaju biti u pogonu do 1995. godine. To su Đurđevac, Lešće, Lučići, Valići, Podsused i Zrmanja. Također su razriješeni i problemi izgradnje retenzije Čaprazlije, tako da se i ona može uključiti u popis novih objekata do 1995. godine.

Dosad nije donesena odluka o zajedničkoj gradnji elektrana u drugim republikama i pokrajinama. Razgovori su vođeni s Elektroprivredom BiH o gradnji novih kapaciteta u TE Tuzli B 1 s učešćem od 150 MW. Sporazum nije postignut, a i treći partner u izgradnji TE Tuzla B 1, Elektroprivreda SR Slovenije, također je odustala.

Dogovori o izgradnji TE Gacko 2 ne razvijaju se očekivanim tempom, tako da je još uvijek neizvjestan početak realizacije projekta.

Na području Kosova postoji mogućnost ulaganja u revitalizaciju kapaciteta na lokaciji A s ograničenim vremenom korištenja snage i energije iz tih kapaciteta (10 godina), kao i mogućnost izgradnje kapaciteta B (2 × 339 MW) za normalni pogonski vijek elektrane. Dosada nisu nađena rješenja o zajedničkoj izgradnji.

Priprema izgradnje termoelektrana na lokaciji Kosovo C, koji se vodi kao jugoslavenski projekt u kojem Elektroprivreda Hrvatske sudjeluje sa 600 MW, ne ostvaruju se u predviđenoj dinamici i neizvjesno je kada će započeti izgradnja prvog objekta na toj lokaciji.

Za NE Prevlaka raspisan je međunarodni natječaj i izvještaj o ponudama dostavljen je SIVU. Odluka o izboru nije donesena, a s obzirom na pripreme Zakona o privremenoj zabrani izgradnje nuklearnih elektrana neizvjesno je kada će se donijeti i kakva će biti.

## Termoelektrane na uvozni ugljen

Program razvoja Elektroprivrede Hrvatske koji podrazumijeva izgradnju termoelektrana na uvozni ugljen na području Hrvatske u pripremi je i u najkraćem vremenu javnost će se upoznati s tim planom. Dosada su studijskoistraživačkim radovima obrađena određena područja Hrvatske. Istraživanja se nastavljaju, a namjera im je da se u obalnom području Hrvatske, uz udio stručnih i znanstvenih institucija, pronađu pogodni prostori za izgradnju takvih postrojenja. S obzirom na osjetljivost teme i sukob interesa potencijalnih korisnika prostora dana je velika težina kvaliteti znanstvenih istraživanja.

Sa stajališta transportnih troškova uvoznog ugljena najpovoljnije su lokacije u neposrednoj blizini postojećih morskih luka. Takve lokacije nisu pripremljene, osim postojeće lokacije u Urinju (uz TE Tijeka 1), ali za tu lokaciju postoji odluka Skupštine općine Rijeka o zabrani izgradnje. Radi brže izgradnje postavlja se pitanje izgradnje TE na uvozni ugljen na nekoj od već postojećih lokacija TE u SR Hrvatskoj unatoč većim transportnim troškovima ugljena, a za neke lokacije i ograničenim kapacitetima transporta.

## Karakteristike pojedinih lokacija

Na osnovi preliminarnih analiza lokacija drugih termoelektrana u SR Hrvatskoj može se zaključiti:

Na svim lokacijama postoji mogućnost izgradnje dogradnjom barem jednog bloka loženog ugljena, snage oko 300 MW. Samo lokacija TE Jertovec nema fizičke mogućnosti dogradnje bloka uz postojeće objekte, nego bi trebalo izgraditi novi blok na »čistoj« lokaciji udaljenoj oko 2 km od postojeće. S obzirom na nepostojanje infrastrukture, nužnost primjene optočnog sistema hlađenja na ovoj lokaciji i na otežani željeznički transport ugljena ova lokacija je manje pogodna za TE ložene uvoznim ugljenom.

Preostale predviđene lokacije, ukupno gledajući, imaju jednake pogodnosti, ali se u pojedinostima bitno razlikuju.

Lokacija TE Osijek ima najslabiju infrastrukturu, ali je jedina lokacija gdje ima mjesta i za serijsku izgradnju više od jednog bloka i najvećih snaga od 300 MW. Premda je nešto veća udaljenost od rijeke Drave (oko 1,5 km) nedostatak za izvedbu rashladnog sistema i dopremu (riječnim transportom), ostaje činjenica da je ova lokacija najpovoljnija za protočni sistem hlađenja zbog minimalnog toplinskog utjecaja na vodotok. Isto tako, to je lokacija koja uz TE Sisak vjerojatno može računati na najveću društvenu podršku i najmanje ekološke otpore.

Lokacija TE Sisak također se nameće kao povoljno rješenje, jer izgradnja trećeg bloka u nizu čini prirodno rješenje na već kompletno izgrađenu prateću infrastrukturu. Prva dva bloka su građena tako da je ostavljen prostor za treći blok, a svim dosad razrađenim studijama za treći blok na ugljen, snage 210 MW, razrađeni su i planovi za transport ugljena, deponija i odlagališta šljake. Postoji zainteresiranost društvene zajednice, a također i okolne industrije, koja je zainteresirana za industrijsku paru i toplu vodu.

Lokacija TE Plomin 1 po prirodnim uvjetima najbolje zadovoljava zahtjeve za izgradnju bloka na uvozni ugljen, snage 300 MW. Na lokaciji je dovoljno prostora i za izgradnju deponija ugljena, postoji i iskustvo u korištenju ugljena kao goriva, a prijelazom prvog bloka na loženje uvoznim ugljenom bitno bi se smanjili sadašnji tehnički i ekološki problemi elektrane. Najveći problem jest taj što se elektrana ne nalazi u industrijskoj zoni, što se ne uklapa u planove razvoja regije i što je ovdje turizam primarna grana. Rješenje lokacije TE-TO Zagreb rezultat je potrebe za supstitucijom mazutnih kotlova i potrebe rada elektrane u spojnem procesu (industrijska para i vrela voda za grijanje grada). Izabrana veličina kotla od 200 MW (i učinka kotla 650 t/h pare), je danas donja granična veličina za čisto kondenzacijske blokove. Na lokaciji ima mjesta i za izgradnju blokova i za deponij ugljena, postojeća infrastruktura je praktično kompletna, protočni sistem hlađenja je izvediv, a jedini je nedostatak što je time lokacija fizički iscrpljena za izgradnju novih blokova.

I. R.

## PRIPREME ZA GRADNJU HE ĐURĐEVAC

Dobrim su dijelom završene pripreme za početak izgradnje četvrte dravske elektrane na području Hrvatske — HE Đurđevac, kojoj će instalirana snaga biti 127 MW a godišnja proizvodnja 679 GWh električne energije. Od tehničke dokumentacije gotov je idejni projekt, ugovorena je izrada tehničke dokumentacije za građevnu dozvolu, gotova je studija utjecaja na okolinu, završeni su istražni radovi za glavni projekt i izdani su uvjeti uređenja prostora.

No pripreme ne teku bez određenih teškoća zbog reguliranja imovinsko-pravnih odnosa vezanih za zemljište budućih objekata ove hidroelektrane. Rješavanje problema komasacije ili eksproprijacije zemljišta upravo je u toku. Dok se to pitanje ne riješi, nema suglasnosti za građenje.

Investitor je izradu glavnog projekta HE Đurđevac povjerio stručnjacima RO »Elektroprojekt« u Zagrebu. Predviđa se da će gradnja početi u prvom tromjesečju 1989. godine, a završetak radova predviđen je za kraj 1993. godine. HE Đurđevac je objekt višenamjenskog karaktera, pa će u investiranju osim elektroprivrede sudjelovati i vodoprivreda Hrvatske, i to sa 12,5 posto, kako su se dogovorile tehničke službe.

I. R.



## SUSRET PLINSKIH STRUČNJAKA

Četvrti međunarodni susret plinskih stručnjaka održan je u Opatiji 11–14. listopada 1988. u organizaciji Centra za unapređenje produktivnosti iz Zagreba. Uz glavnog organizatora sudjelovali su i: Privredna komora Jugoslavije, Republički komitet za energetiku, industriju i rudarstvo SR Hrvatske i »INA-Naftaplin« Zagreb.

Održanom skupu prisustvovao je velik broj plinskih stručnjaka naučnih zavoda i institucija, elektroprivrednih organizacija, projektanti i proizvođači opreme za plinska postrojenja, a bili su zastupljeni i stručnjaci iz Italije, SR Njemačke, Velike Britanije, Belgije, Nizozemske i SAD.

U nizu referata s diskusijom obrađeni su problemi ovih glavnih tema: efikasnost primjene plinom, uvjeti dobave i prodaje plina, nova saznanja i tehnologije, plinski sustavi (konceptije, projektiranje, izvođenje i iskustvo u eksploataciji), te tekući naftni plin — uloga i primjena.

Nadalje, iznesene su stručne poruke proizvođača plinske opreme. Svi referati i diskusije publicirani su u Zborniku radova. Dogovoren je i peti međunarodni susret plinskih stručnjaka koji će se održati 1989. godine.

I. R.

## UBRZATI GRADNJU MALIH HIDROELEKTRANA

Mnogo se raspravlja o izgradnji malih hidroelektrana, ali moramo utvrditi da je malo učinjeno.

Planom izgradnje malih hidroelektrana (do pet MW instalirane snage) donesenim 1980. godine predviđeno je da se u Jugoslaviji do 1990. godine izgradi 450 takvih objekata. Zacrtni plan realizacije posve je podbacio, osim u SR Sloveniji — rečeno je na 6. jugoslavenskom savjetovanju o malim HE što ga je organizirao Savez inženjera i tehničara Jugoslavije pod pokroviteljstvom proizvođača opreme »Rade Končara« i Jugoslavenske zajednice za male hidroelektrane. Zaključeno je da sve republike trebaju ubrzati izgradnju malih HE.

SR Hrvatska do 2020. godine planira proizvodnju 800 milijuna kWh električne energije iz oko 600 malih hidroelektrana, ali po općoj ocjeni kasni iza SR Slovenije i SR Srbije. U toku je prva faza izrade katastra malih HE, kojom će do kraja 1988. godine biti obrađeno 17 vodotoka i izgrađeno 10 prototipova. Prototipovi bi bili na lokacijama koje ukupnim karakteristikama i tipom objekta predstavljaju većinu budućih malih HE u SR Hrvatskoj. U drugoj bi fazi, u toku sljedeće dvije godine, bilo obrađeno još 76 vodotokova, pa bi elektroprivreda ili drugi investitori za čije se potrebe radi studija, mogla krenuti u serijsku gradnju.

I. R.

## NOVI AGREGAT U HE KRALJEVAC

Među naše najstarije hidroelektrane ubraja se HE Kraljevac, koja je u pogonu od 1912. godine, a koristi se hidro-

nergetskim potencijalom Cetine. Elektranu je derivacionog tipa s padom 110 m, a ukupna instalirana snaga iznosi 84 MVA (67,2 MW).

Proizvodnja HE Kraljevac u sadašnjim uvjetima osniva se na:

- korištenju voda biološkog minimuma koji se ispušta kroz branu Prančevići i korištenje voda međutoka,
- korištenju povremenih preljevskih voda na brani Prančevići i
- korištenju voda pri remontu ili havariji u HE Zakučac.

Proizvodno značenje HE Kraljevac sa četiri agregata, i to dva po 16 MVA (u pogonu od 1912. godine) i dva agregata po 26 MVA (u pogonu od 1932. godine), bitno se izmijenilo nakon izgradnje HE Zakučac te akumulacija Peruća i Buško Blato, pa je nakon analiza zaključeno da se i u idućem razdoblju održi njezina pogonska spremnost za proizvodnju električne energije.

Na vodama biološkog minimuma koji se ispušta na brani Prančevići u staro korito predviđena je ugradnja agregata na biološki minimum u samoj HE Kraljevac.

Agregat na biološki minimum HE Kraljevac poboljšat će korištenje voda biološkog minimuma s obzirom na to da su postojeći agregati stari i vrlo veliki za tako malu vodu kao što je biološki minimum. Poboljšanje treba tretirati u sklopu postojećeg objekta kao modernizaciju ili zamjenu i rekonstrukciju.

U toku 1988. godine otpočeli su radovi na ugradnji agregata u postojećoj trojarnici. Ugradnja novog agregata, umjesto rekonstrukcije postojećega stare izvedbe (iz 1912. godine), omogućuje maksimalno iskorištenje voda biološkog minimuma. Agregat se sastoji od hidrauličnog stroja s dvije horizontalne Francisove turbine, instaliranog prostora 5 m<sup>3</sup>/sek, sinhronog generatora instalirane snage 5 300 kVA i nazivnog napona 10,5 kV. Generator će se priključiti na 35 kV-nu mrežu preko blok-transformatora 35/10,5 kV.

Treba naglasiti da ekonomičnost novog agregata biološkog minimuma proizlazi iz činjenice što se koriste postojeći objekti, i to brana, dovodni kanal, dovodni tunel, vodostan i tlačni cjevovod s pripadajućom opremom.

Dosada na gradilištu HE Kraljevac — agregatu biološkog minimuma uglavnom su obavljani građevinski radovi: završena je demontaža agregata br. 4, završen je iskop građevinske jame, završena je izgradnja za oba zagata, kao i niz drugih građevinskih radova potrebnih za ugradnju novog agregata.

Ugovorena je nabava opreme. Velik dio već se izrađuje npr. priključni tlačni cjevovod s račvom, leptirasti zatvarač, turbine, rotor i dr. U vezi s izradom generatora kasni se s izradom tehničke dokumentacije za kućište statora, aksijalno-gradijalnog ležaja i zvijezde rotora. Isporučilac generatora je tvornica »Rade Končar«. U izradi je blok-transformator i rasklopno postrojenje 10 i 35 kV, te oprema upravljanja, zaštite i mjerenja.

Kad bude završena HE Kraljevac će moći raditi bez posade.

I. R.

## IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

### JEDINSTVENI ELEKTROENERGETSKI SISTEM DA ILI NE

U ovoj je rubrici već u dva navrata (Energija 5 i 6 1987) pisano o članku profesora A. V. Venikova, izašlom u sovjetskom časopisu »Električestvo« 3/1987. i diskusiji u istom časopisu. Daljnja tri diskutanta javila su se također u časopisu »Električestvo« 7 1988. Da se podsjetimo, u navedenom članku iznesena je problematika stanovištva i rješenja o financiranju jedinstvenoga elektroenergetskog sistema SSSR-a u smislu ideja koje je dao prvi plan elektrifikacije (Goerlo) još 1920. godine.

Autor J. S. Kraičik u svojoj diskusiji u vezi s predloženim istosmjernim visokonaponskim vezama odgovara na prigovor o velikim gubicima koji nastaju u mreži zbog prigušenja viših harmonika. Ugradnjom 12-impulsnih usmjerivača već se eliminiraju 5. i 7. harmonik, no 11. i 13. su veoma izraženi. Oni se pak mogu uspeješno suzbiti filtrima na tercijaru usmjerivačkih transformatora. Takvo rješenje primijenjeno je npr. na istosmjernoj vezi Finska – SSSR U Viborgu. Ako se provedu odgovarajuće mjere, gubici od viših harmonika su minimalni, pa ne mogu utjecati na rezultat uštede istosmjernoga visokonaponskog prijenosa i drugih sistema.

A. N. Gibov počinje svoj prilog diskusije povijesnim prikazom razvoja elektroenergetskih sistema u SSSR-u. Odmah nakon revolucije izgrađivane su manje elektrane koje su napajale lokalne mreže srednjeg napona. Prvi međurajonski dalekovod dug 120 km ušao je u pogon 1922. na liniji TE Kašira – Moskva. Kad su se počele graditi veće elektrane, mislilo se i na jedinstveni elektroenergetski sistem, no prevladalo je gledište da se razvijaju manji sistemi radi lakšeg paralelnog rada elektrana, zaštite i slabilnosti. Nije još poznato koliki bi morao biti elektroenergetski sistem da je sekcioniranje nužno. U svakom slučaju to ovisi o konfiguraciji visokonaponske mreže, no i o drugim faktorima. Treba uzeti u obzir ovu činjenicu: što je viši napon mreže, dopušta se veća snaga elektrana i proizvodnih blokova. Naprimjer, pri naponu 1150 kV snaga elektrana može biti 12 do 15 GW, a vodovi prijenosne snage 6 GW. Zatim se osvrnuo na poteškoće koje proizlaze iz pojave kratkog spoja i dinamičke nestabilnosti koje se u podsistemima ne mogu eliminirati istosmjernim vezama. Autor upozorava da se s gledišta konfiguracije sistema dobivaju neracionalna rješenja ako se samo kao odlučujuća promatra transportna funkcija dalekovoda u odabiranju trase (najkraći put) i napon po računskom opterećenju. Istosmjerne veze pospješuju takav razvoj. U formiranju sistema treba se držati određenih principa. Glavni je cilj osigurati velike manevarske sposobnosti i stabilnost pogonskog režima. Osnovni izvori vezani u petlje sa četiri do šest čvorova na npr. 500 kV ili 1150 kV stavljaju se uz veće centre postrošnje. Svaka čvorna stanica napajat će to veći teritorij što je napon viši.

Pri planiranju jedinstvenog elektroenergetskog sistema nužno je imati naučno utemeljene podatke o mogućnosti dislokacije industrijskih centara i velikih napojnih čvorova. Nužno je velike potrošače energije smjestiti uz termoenergetske baze. Jedinstveni elektroenergetski sistem ima prvo-razredno značenje za zemlju s velikim prostranstvima, osobito u razdoblju korjenitog prestrukturiranja privrede.

U diskusiji V. G. Kadešvilija naglašava se velika važnost pri vrednovanju različitih varijanti formiranja elektroenergetskog sistema, uzimanje u obzir utjecaja okoliša u različitim

dijelovima zemlje, bilo da se radi o atmosferskim prilikama bilo o vrsti naselja. Otkupljivanje zemljišta također ima ulogu, jer se prema zakonu od 1. 1. 1988. zauzeto zemljište, na kojem se grade industrijski objekti, mora platiti prema njegovoj vrijednosti. Treba istražiti realne topografske, meteorološke, geološke i agroekonomske karakteristike varijantata trase. Projektirati se mora regionalnim katakteristikama konfiguracija da izgrađeni vodovi budu dobro iskorišteni. I u ovoj je oblasti također velika uloga znanosti. Pri projektiranju ne može sudjelovati samo specijalizirana projektna organizacija (npr. Energosetprojekt) već i ostale institucije određenog profila moraju dopuniti istraživanja.

Mrk.

### U GRADNJI NAJVEĆA PLINSKA TURBINA

Njemačka tvrtka Siemens dobila je od Mađarske narudžbu za dobavu plinske turbine snage 150 MW, najveće vrste na svijetu. Turbina će biti ugrađena u termoelektrani Dunamenti (2000 MW) nedaleko od Budimpešte, a isporučat će se 1990. godine. Kao pogonsko gorivo moći će služiti zemni plin ili lako loživo ulje. Treba istaknuti da će turbina imati gorionike koji će bitno smanjiti sadržaj izlaznih štetnih plinova. Prema tome su nepotrebni skupi uređaji za pročišćavanje. Ova turbina predstavlja prvi stupanj budućeg kombiniranog procesa u plinskoj turbini koji će se ostvariti sljedećih godina. Vrući izlazni plinovi iz plinske turbine bit će iskorišteni u kotlovima za stvaranje pare. Para se zatim može koristiti za industrijske svrhe ili za proizvodnju električne energije.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 87 (1988), br. 14

Mrk.

### SUBVENCIONIRANJE KUPNJE ELEKTROVOZILA U ŠVICARSKOJ

Zbog povećanja prodaje elektrovozila i stjecanja pogonskih iskustava Savez švicarskih elektrana će u 1988. subvencionirati kupnju 20 vozila po 5 000 švicarskih franaka. Taj doprinos vrijedi za sve kupce koji žele nabaviti elektrovozilo i upotrebljavati ga. Za protuuslugu moraju se obvezati da najmanje jednu godinu vode dnevnik o upotrebi vozila. Svakako treba obuhvatiti prijedeni put i podatak o utrošku energije. Osim toga, korisnici moraju obavještavati javnost o upotrebi vozila. Sve obavijesti iskoristit će Savez švicarskih elektrana i dati ih na upotrebu konstruktorima i zainteresiranima.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 87 (1988), br. 16/17

Mrk.

### SOLARNE ELEKTRANE U KALIFORNIJI

U pustinji Mojave, 1409 km istočno od Los Angeleasa, grade se dvije nove solarne elektrane. Paraboličnim će se zrcalima hvatati Sunčeva energija kojom će se zagrijavati kotlovi za proizvodnju pare za pogon turbina i generatora. Danas je već u pogonu pet takvih elektrana ukupne snage 145 MW. Nove će elektrane imati snagu po 35 MW. Turbogrupe će

dobavljati tvrtka Asea Brown Boveri. Poboljšanjem turbin-skog ciklusa poboljšana je koeficijent djelovanja za 20 % prema prijašnjim takvim uređajima. Obje elektrane trebaju ući u pogon početkom 1989. godine.

*Energie*, god. 40 (1988), br. 8

Mrk.

## BATERIJE BEZ ŽIVE

Električne baterije koje sadržavaju živu, kad se odbace, vrlo su opasne za okoliš. Ako se smeće spaljuje, zrak se zagađuje vrlo otrovnim živinim parama. Zbog toga je sada u Njemačkoj u prodaji baterija bez žive na bazi cinkova klorida. Ta supersuha baterija mnogo se bolje ponaša pri velikim strujnim opterećenjima nego dosadašnje baterije za aparate. Očekuje se daljnja redukcija žive u alkalnim baterijama i potiskivanje tog opasnog sastojka.

*Energie*, god. 40 (1988), br. 8

Mrk.

## ENERGETSKI TREND U SR NJEMAČKOJ

Općenita je pojava da unatoč štednji energije udio električne energije u općoj energetskej potrošnji neprestano raste. Vrlo je zanimljiv primjer SR Njemačke, gdje je ukupno upotrijebljena energija u industriji čak oko 1 % manja 1986. nego 1966. godine, ali je zato udio električne energije porasao sa 14 % (1976. godine 19 %) na 26 %. Takav je trend posljedica pojačane automatizacije i sve veće važnosti zaštite okoliša. Godine 1966. njemačka je industrija trošila 76 milijuna tona ekv. ugljena, 1976. potrošnja je porasla na 88 milijuna tona, a zatim 1986. pala na 75 milijuna tona. To je rezultat velike racionalizacije potrošnje i prestrukturiranja industrije prijelazom na visokorazvijene tehnike. Važnu ulogu ima i manja upotreba nafte.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 87 (1988) br. 13

Mrk.

## REALIZIRA SE SOLARNO-VODIKOV PROJEKT

Elektroprivredno poduzeće Bavarske »Bayernwerk« osnovalo je 1986. posebno poduzeće »Solarwasserstoff-Bayern«, (SWB) koje će realizirati solarno-vodikov projekt, tj. projekt za proizvodnju vodika strujom iz solarnih ćelija. U međuvremenu u projekt su se uklopila i druga zainteresirana poduzeća, npr. poznata tvornica motornih vozila BMW. Ona je zainteresirana za vodik kao pogonsko gorivo.

Poduzeće gradi veliko postrojenje kraj mjesta Neunburga vorm Wald, gdje će se pomoću solarnih fotovoltaičkih ćelija iskorištavati sunčeva energija za pogon elektrolize vodika. Cilj je ovog postrojenja da se istraže mogućnosti proizvodnje, skupljanja (stokiranja) i transporta vodika na bazi struje iz solarnih ćelija u srednjoevropskim industrijskim i klimatskim prilikama. Treba sakupiti iskustva, razvijati tehniku i potaknuti industriju da poveća napore u pravcu razvoja. Mjesto gdje će se uređaj izgraditi za njemačke je prilike prilično sunčano, s malo vjerojatnosti tuče, a nalazi se na dobrim komunikacijama. Rezervirano je zemljište od 5 ha. Radovi su počeli u proljeće 1988, a stavljanje u pogon predviđeno je za drugu polovicu 1990. Čista površina solarnih ćelija iznosit će 5 000 m<sup>2</sup>. Procjenjuje se da će se uz vršnu snagu ćelija od 500 kW moći proizvesti 500 000 kWh i 100 000 m<sup>3</sup> vodika godišnje.

Potrebna snaga za elektrolizu iznosit će 200 kW. Danas se može uzeti da ćelija promjera 10 cm daje u najpovoljnijim prilikama oko 1 W. S obzirom na poboljšanje koeficijenta iskoristivosti takvih uređaja predstoje još mnoga istraživanja. Ispitivat će se različiti tipovi solarnih ćelija, kao i različite tehnologije elektrolize. Spremnik za proizvedeni vodik imat će volumen 5 000 m<sup>3</sup>, a za kisik 500 m<sup>3</sup>. U postrojenju će se također ispitivati primjena vodika, npr. za gorive ćelije, plinske kotlove, katalitičko grijanje itd.

Primjena solarno-vodikove tehnike nije vjerojatna u industrijski razvijenim zemljama, gdje su potrebne velike energije uz njihovu većinom nepovoljnu klimu, unutar nekih 20 do 30 godina. Mnogo veće mogućnosti pružaju se u zemljama u razvoju s mnogo sunca. Tamo je moguće izolirana opskrba, pa ovakva tehnika može biti ekonomična. Današnja cijena kWh proizvedenog u solarnim voltaičkim ćelijama iznosi 2 DM. Jedan podatak (1983) iz uređaja na sjeveru Njemačke daje cijenu od 3,5 DM/kWh. Naprotiv, iz moderne nuklearne elektrane dobiva se energija po 0,135 DM/kWh. Ako bi se pak struja dobivala na bazi vodika proizvedenog strujom iz solarnih ćelija, dolazi se do 3 DM/kWh. No postoji mišljenje da bi se daljnim razvojem mogla sniziti cijena na 1 DM/kWh, ne računajući akumulaciju vodika.

*Energie*, god. 40 (1988), br. 8

Mrk.

## TOPLINA IZ TLA

Upotrebom toplinske pumpe može se mnogo pridonijeti racionalnom grijanju. No u jakoj zimi uz konvencionalni pumpni uređaj sa zrakom treba upotrijebiti i dodatno grijanje.

Duboki slojevi tla (10 do 50 m) predstavljaju vrlo konstantan izvor topline za toplinske pumpe. Pri takvom korištenju ni u najhladnije doba ne bi bilo potrebno dodatno grijanje. Naprimjer, na dubini od 10 m temperatura tla se kreće između 8 i 10 °C. (Srednja Evropa). Na 30 m povećanja dubine temperatura porasta oko 1 °C. U gradovima, međutim, temperatura može biti 3 do 4 °C viša. Da bi se mogla iskoristiti toplina tla, okomito u zemlju do dubine od nekih 50 m ugrađuju se cijevi kojima struji tekući nosilac topline temperature niže od okolnog tla. Tekućina se u izmjenjivaču topline ugrije i djelovanjem toplinske pumpe upotrijebi za grijanje. Za funkcioniranje cijelog sistema troši se električna energija (elektromotori za pokretanje cirkulacionih pumpi i kompresora). U prosjeku se za jedan utrošeni kWh dobije 2,8–3 kWh korisne toplinske energije.

U Njemačkoj, uz pomoć ministarstva za istraživanja i tehnologiju, radi nekoliko tvrtki i instituta na usavršavanju ove tehnologije, a u najnovije vrijeme surađuju i stručnjaci iz Kanade, Švicarske i SAD. Posebno se istražuju pogodni izmjenjivači topline, kao i alati za bušenje tla. Svi su naponi usmjereni na sniženje investicija za gradnju uređaja.

Treba na kraju primijetiti da je koncepcija takvog grijanja realizirana na uređaju instaliranom 1979, koji je u međuvremenu još i poboljšana. Primjena dolazi u obzir u obiteljskim kućama, ali i u velikim zgradama.

*Energie*, 40 (1988), br. 8

Mrk.

## UPOTREBA GIPSA IZ NJEMAČKIH TERMoeLEKTRANA

Proizvođači električne energije i industrija gipsa ostvarili su svoj koncept o upotrebi gipsa iz termoelektrana na mrki

ugljen. Radi se, naime, o gipsu koji se dobiva pročišćavanjem dimnih plinova od sumpornog dioksida. Prodaja količine od 2,5 milijuna tona gipsa, koliko godišnje proizvode njemačke termoelektrane, osigurana je odgovarajućim ugovorima. Taj je podatak dobiven na temelju ispitanja Udruženja njemačkih elektrana. Za usporedbu, cijelo tržište gipsa iznosilo je u Njemačkoj 1987. oko 3,7 milijuna tona. Industrija je za potrošnju gipsa sastavila stoga norme kvalitete, što povećava potražnju i smanjuje deponije. Za upotrebu gipsa iz termoelektrana provode se sada istraživački projekti. Njemački proizvođači električne energije izvode pionirski posao. Oni traže zajedno s industrijom dodatna područja upotrebe na taj način proizvedenog gipsa.

*Energie*, god. 40 (1988), br. 7

Mrk.

### **POSEBNE NOSEĆE KONSTRUKCIJE ZA SOLARNE ČELIJE**

Na velesajmu u Hannoveru izgrađen je toranj visok 42 m na koji su ugrađeni modeli više vrsta solarnih fotovoltaičkih ćelija. Pri optimalnom sjaju sunca baterija daje ukupno 15 kW uz minimalno zauzimanje prostora. Za vrijeme velesajma iz ovog se uređaja napajaju baterije električnih vozila pod naponom od 36 V. Za pravilno iskorištenje solarnog generatora brine se posebno programirani elektronički sklop. U danima kada se ne održava velesajam proizvedena električna energija ulazi u javnu mrežu. Pritome se obavljaju opsežna mjerenja kako bi se dobio što bolji uvid u ekonomičnost solarnog uređaja.

Jedna tvrtka u Bambergu počela je proizvoditi lagane konstrukcije sa zategama od čelične užadi kao nosače za solarne ćelije. Osim toga su razvijene konstrukcije koje se mogu montirati na velike šatore. Njihova je primjena predviđena u arapskim zemljama, gdje šatori služe kao zaštita od sunca.

*Energie*, god. 40 (1988), br. 8

Mrk.

### **AUSTRIJSKA SE ELEKTROPRIVREDA BRINE ZA ČISTI ZRAK**

Austrijska elektroprivreda ulaže velike napore da smanji štetne sastojke koji izlaze iz dimnjaka termoelektrana. Uređaji za pročišćavanje koji su prije nekih pet godina radili kao pokusni ili kao pilot-uređaji, danas su u normalnom pogonu s velikim uspjehom. Emisija sumpordioksida iz javnih termoelektrana iznosila je 90 000 tona godišnje, a 1987. se smanjila na 16 000 tona. Do 1995. predviđa se još drastično smanjenje. U nove blokove termoelektrana Dürnrrohr, Mellach i Riedersbach ugrađeni su najmoderniji uređaji za odsumporavanje i hvatanje dušičnih oksida. Samo u termoelektrani Dürnrrohr utrošeno je na uređaje za pročišćavanje oko 3,4 milijarde šilinga.

*ÖZE*, god. 41 (1988), br. 6

Mrk.

### **NOVE ELEKTRANE U JAPANU**

U Japanu se računa da će od 1997. prosječni porast potrošnje električne energije rasti po 2,5 % godišnje. Da se takav porast može pokriti, treba izgraditi 49 000 MW novih elektrana, uzimajući u obzir i daljnju supstituciju nafte. Nove

će termoelektrane biti građene na bazi plina, ugljena i nuklearne energije. Predviđa se da će se u pogon staviti 19 000 MW nuklearnih elektrana. Time će udio električne energije proizvedene u nuklearnim elektranama porasti sa 30 % u 1987. godini na 38 % u 1997.

*ÖZE*, god. 41 (1988), br. 7

Mrk.

### **POBOLJŠANA TEHNOLOGIJA KORIŠTENJA UGLJENA**

Nakon dvije naftne krize intenzivirala su se istraživanja na području što racionalnijeg korištenja energije. Poseban naglasak u SR Njemačkoj daje se poboljšanju iskorištenja goriva u proizvodnji električne energije. Očekuje se da će se u idućih desetak godina količina ugljena za proizvodnju jednog kilovatsata smanjiti za 50 %, a isto toliko će se raste-retiti okolina. Posljednjih godina je emisija sumpornog dioksida drastično smanjena postupcima odsumporavanja. Novi korak je poboljšanje stupnja korisnosti termoelektrane, o čemu je govorio predsjednik Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen iz Dortmunda. Po njegovu mišljenju očito je da obnovljivi izvori sami nisu dovoljni, da se primjena fuzije ne može očekivati još desetljećima i da je potrebna neka srednjoročna perspektiva. To je za SR Njemačku bolje iskorištavanje zaliha ugljena.

Takvo poboljšanje omogućuje kombinirano korištenje parne i plinske turbine u istoj elektrani. Ugljen se ne koristi kao kruto gorivo, nego kao plinovito. Prvi koraci su već učinjeni: od 1984. godine u probnom je radu TE Werne s jednim blokom snage 750 MW. Dosadašnji rezultati ohrabruju — proizvodi se oko 25 % više električne energije iz iste količine ugljena nego dosadašnjom tehnologijom. Primjena je moguća, dakako, kod novih postrojenja, ali, što je još važnije, i u postojećim termoelektranama građenih za naftu ili plin. Njihovo ponovno aktiviranje bilo bi mnogo jeftinije od gradnje novih kapaciteta jer već postoji i sva potrebna infrastruktura, objekti i prijenosna mreža. U SR Njemačkoj bi se u takvim postrojenjima i poboljšanjem korištenja postojećih moglo proizvesti čak 50 milijardi kWh godišnje. Za usporedbu navodi se da bi za izgradnju naprimjer solarnih uređaja koji bi proizvodili tu količinu energije trebalo pet puta više novca.

Nakon mljevenja gorivo — ugljen se u takvom postrojenju razdvaja na dvije komponente — plin i ugljenu prašinu. Iz plina se prije izgaranja odstranjuje sumpor. Struja sagorjelog plina pokreće plinsku turbinu. Ugljena prašina izgara u fluidiziranom ložištu, a proizvedena para koristi se u standardnoj parnoj turbini. Odsumporavanje se provodi uz upotrebu vapnenca, ali su troškovi znatno smanjeni, a efikasnost poboljšana u odnosu prema dosada razvijenim postupcima.

*Stromthemen, Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft*, 9/1988, Frankfurt/M.

Cž

### **NOVI NAČIN MJERENJA ENERGIJE U KUĆANSTVU**

S otprilike 30 % udjela u korištenju električne energije i s oko 40 % toplinske kućanstva u SR Njemačkoj imaju značajno mjesto. Cilj istraživanja koje na 125 kućanstava u Rurskoj oblasti provodi Institut za primjenjenu sociologiju jest da se omogući svakodnevni prijenos podataka o potrošnji različitih oblika energije. Metoda je potpuno nova i

omogućuje kako procjenu budućih potreba, tako i trenutnih mogućnosti uštede i racionalne upotrebe energije.

Preduvjet za uspješnu realizaciju projekta bio je razvoj informacijskog sistema ENERMETRIC. Sistem mjeri potrošnju energije u svakom odabranom domaćinstvu. Podaci se prenose telefonskom linijom te spremaju i obrađuju u centralnom računalu. Na telefonski poziv dobivaju se podaci o vanjskoj temperaturi, površini prostorija koje se zagrijava, količini ugljena. Za mjerenje služe standardni mjerni instrumenti ili brojila uz dodatak digitalnih mjernih pretvarača.

U istraživanju se koriste sljedeći prikupljeni podaci:

- o načinu gradnje (vrsta zgrade, površina stana, kat itd.),
- o utjecaju okoline (geografski položaj, temperatura, brzina vjetra itd.)
- o životnim navikama u vezi s pranjem rublja, kupanja, kuhanja, prozračivanja prostorija itd.
- o tehničkom standardu (vrsta sistema za zagrijavanje i pripremu tople vode, zastupljenost ostalih električnih aparata itd.),
- o socijalnoekonomskom položaju — o prihodima domaćinstva.

Kao što se vidi, radi se o sveobuhvatnom konceptu mjerenja i prikupljanja podataka. Znanstvenici koji provode istraživanje imaju višegodišnje iskustvo u sličnim anketama i istraživanjima. Oprema koja se koristi na neki je način označena kao orijentirana na dijalog jer prihvaća sve moguće raznolikosti u upotrebi energije. Očita prednost takvog načina mjerenja jest kontinuirano prikupljanje realnih podataka. Dalje je moguće mnogo točnije predviđanje energetskih potreba u budućnosti.

Istraživanja će se dalje proširivati; u prvoj fazi na Zapadni Berlin, gdje je već odabrano 2000 novih kućanstava za postavljanje mjernih uređaja.

*Stromthemen, Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft, 10/1988, Frankfurt/M.*

Cž

## ENERGIJA ZA ISTRAŽIVAČKI LABORATORIJ IZ VJETRA I KIŠNICE

Za svako mjerenje i istraživanje potrebna je energija. Poseban problem za opskrbu predstavljaju udaljeni laboratoriji. Evo kakvo je rješenje pronađeno za jednu mjernu stanicu frankfurtskog sveučilišta smještenu na planinskom vrhu na

visini 826 m i gdje samo povremeno boravi osoblje. Osnovni uvjet je bio da dobivanje energije ni na koji način ne utječe na okolinu, a time ni na mjerenje veličine.

Osnova sistema opskrbe energijom jest vjetrenjača s generatorom snage 20 kW. Proizvedena struja koristi se za elektrolizu kišnice. Izdvojeni vodik sprema se u boce pod pritiskom. Nakon izgaranja u oto-motoru nema štetnih ispušnih plinova, a dobivena energija pokreće standardni agregat 50 Hz. Vodik se koristi i za kuhanje i zagrijavanje prostorija. Najveće poteškoće pri realizaciji ovog projekta bile su:

- energetska elektronika koja je morala izmjenični napon generatora pretvoriti u istosmjerni potrebnih parametara za elektrolizu,
- uređaj za elektrolizu pod pritiskom,
- motor za vodik kao gorivo.

Upotrebljena je standardna komercijalna vjetrenjača s tri krila, snage 20 kW i za brzinu vjetra od 11 m/s. Pripremljena je za izdvojeni rad i opremljena asinhronim generatorom. Priključeni kondenzatori omogućuju optimalni rad bez obzira na promjenljivu brzinu vjetra. Električna energija se, osim za elektrolizu, može koristiti i za direktno zagrijavanje prostorija.

Alkalni uređaj za elektrolizu sa snagom od 20 kW srce je sistema. Takav uređaj ne postoji na tržištu i specijalno je proizveden za ovaj objekt.

Upravljačka elektronika slična je kao i kod ostalih obnovljivih izvora, naprimjer solarnih uređaja. Ovdje je jedino primijenjen novi koncept raspodjele dobivene snage na trenutne potrebe i na višak koji puni baterije za kratkotrajnu upotrebu i na proizvodnju vodika, što predstavlja dugoročnu rezervu. Najviši napon koji se pojavljuje jest 500 V, nazivni napon uređaja za elektrolizu je 125 V, a struja najviše do 160 A. Prijenos od generatora obavlja se na najvišem naponu pa je potreban i manji presjek kabela od vjetrenjače do ostalog postrojenja (udaljenost 300 m).

Uređaj za elektrolizu radi pod pritiskom od 30 bara i puni 60 paralelno proključenih boca — spremnika. Vodik se koristi za pokretanje četverocilindričnog, četverotaktnog motora koji je proizveden u Opelu. U motoru može izgarati i metan.

Sliku o sistemu zaokružuje računalo u koje stižu podaci iz različitih senzora. Sve radi automatski i bez nadzora osoblja. Preko telefonske linije mogu se dobiti 10-minutni prosjeci mjernih veličina.

*Stromthemen, Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft, 9/1988, Frankfurt/M*

Cž

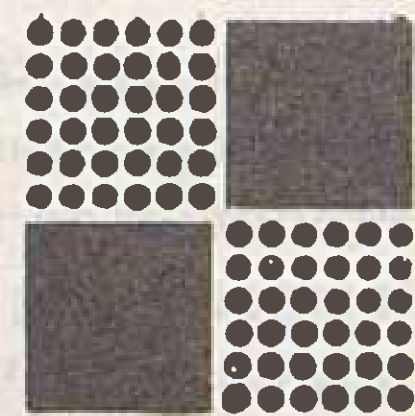
SOUR

**monting**

ZAGREB n.sol.o.

**RO**

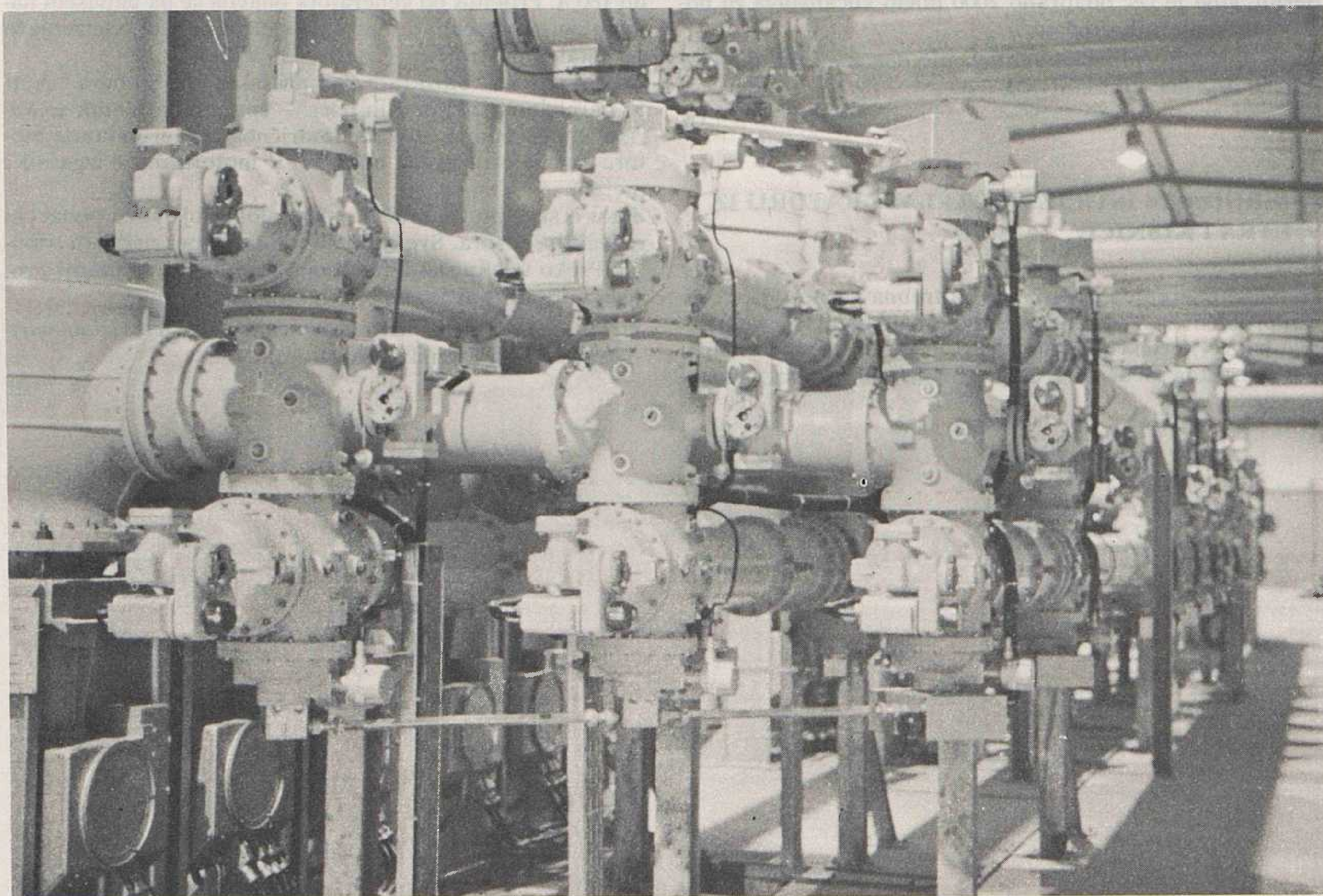
**MONTELEKTRO**



**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



TS JALO

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Godište 38 (1989)

Zagreb 1989

Br. 2

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

## SADRŽAJ

<i>Filipović V. — Drezga I.</i> : Aproksimacija dnevnog dijagrama opterećenja elektroenergetskog sustava (Originalni znanstveni rad) . . . . .	91
<i>Hebel Z. — Pavić I.</i> : Proračun tokova snaga u elektroenergetskim mrežama s nesimetričnim opterećenjem (Originalni znanstveni rad) . . . . .	97
<i>Mahmutćehajić R.</i> : Frekventna ovisnost parametara podzemnih kabela (Originalni znanstveni rad) . . . . .	103
<i>Neveščanin J.</i> : Metoda određivanja tehnokonomskih podobnosti primjene i problem prijelaza na adekvatni sistem zaštite od indirektnog dodira u elektrodistribuciji i kod potrošača (Prethodno saopćenje) . . . . .	117
<i>Kalea M.</i> : Povezivanje elektroenergetskih sistema postrojenjima istosmjerne struje (Stručni rad) . . . . .	135
<i>Tomić S.</i> : Elektroprojekt — Zagreb . . . . .	145
In memoriam — Borivoj Baranović . . . . .	153
<b>Vijesti iz elektroprivrede</b> . . . . .	155
<b>Iz strane stručne literature</b> . . . . .	157
<b>Nove knjige</b> . . . . .	160
<b>Oglasi</b> . . . . .	163

## IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

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 — EDITORIAL BOARD

Glavni urednik - Editor-in-chief: dr Zorko Cvetković, dipl. inž.  
Urednik - Editor: Zdenka Jelić, prof.

Urednici rubrika — Contributing Editors: »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 — Technical Editor: Branko Mališ — Lektor — Linguistic Adviser: Vladimir Strojny, prof. — Metrološka recenzija — Metrologic review: 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 60000 dinara, a za poduzeća i ustanove 150000 dinara (za studente 30000) dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 10000.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišej — Print: 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

**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**

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
- 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



# APROKSIMACIJA DNEVNOG DIJAGRAMA OPTEREĆENJA ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

Prof. dr. Vjekoslav Filipović — Irlav Drezga, Zagreb

UDK 621.3.091:621.31

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U ovom radu prikazan je direktan i iterativni pristup određivanju aproksimiranog dnevnog dijagrama opterećenja elektroenergetskog sustava. Kod oba pristupa je pripadni problem kombinatornog programiranja riješen pomoću metode grananja i ogradijanja. U programskom jeziku FORTRAN 77 napravljen je za svaki pristup odgovarajući program za elektroničko računalo te provedena analiza dobivenih rezultata.

**Ključne riječi:** elektroenergetski sustav, dijagram opterećenja, aproksimacija, optimiranje.

## 1. UVOD

U mnogim problemima planiranja rada elektroenergetskog sustava pojavljuje se potreba za aproksimacijom dnevnog dijagrama opterećenja s dijagramom koji ima određen broj perioda konstantne snage. Tako aproksimiran dijagram omogućava primjenu određenih metoda optimiranja i skraćuje vrijeme računanja. Da bi rezultati bili što točniji, od aproksimiranog se dijagrama opterećenja zahtijeva da ima istu ukupnu energiju kao izvorni, da energija po pojedinim periodima bude jednaka, da minimalna i maksimalna snaga odstupaju od stvarnih do željenih granica i da ukupna apsolutna ili kvadratna odstupanja snage aproksimiranog dijagrama opterećenja od snage izvornog budu minimalna. Pod pojmom period razumijeva se u ovom radu vremenski odsječak različitog trajanja, a pod pojmom interval vremenski odsječak stalnog trajanja.

Izvorni dijagram predstavlja ovisnost snage potrošača o diskretiziranom vremenu u toku vremenskog razdoblja  $T$ , koje u ovom slučaju iznosi 24 sata (slika 1). Kao korak diskretizacije uzima se vremenski interval  $\Delta t$ , koji, prema tome, predstavlja najmanje vri-

jeme u kojem je snaga konstantna. Ukupni broj tih intervala je:

$$m = \frac{T}{\Delta t} \quad (1)$$

Pri aproksimaciji će se originalni dijagram zamijeniti dijagramom koji će imati željeni broj vremenskih perioda ( $n$ ) koji su višekratnici od  $\Delta t$ , a unutar kojih će snaga biti konstantna. Ta konstantna snaga dobije se kao aritmetička sredina snaga intervala koji ulaze u period  $i$ :

$$P_p(i) = \frac{\sum_{j=b(i)}^{e(i)} P(j)}{z(i)} \quad (2)$$

gdje je:

- $P(j)$  — snaga u  $j$ -tom intervalu izvornog dijagrama,
- $b(i)$  — početni interval  $i$ -tog perioda aproksimiranog dijagrama,
- $e(i)$  — krajnji interval  $i$ -tog perioda aproksimiranog dijagrama,
- $z(i)$  — broj intervala izvornog dijagrama u  $i$ -tom periodu aproksimiranog dijagrama.

Na slici 1. prikazan je i aproksimirani dnevni dijagram opterećenja za  $n = 3$ .

Ukupna apsolutna odstupanja snage određena su jednadžbom

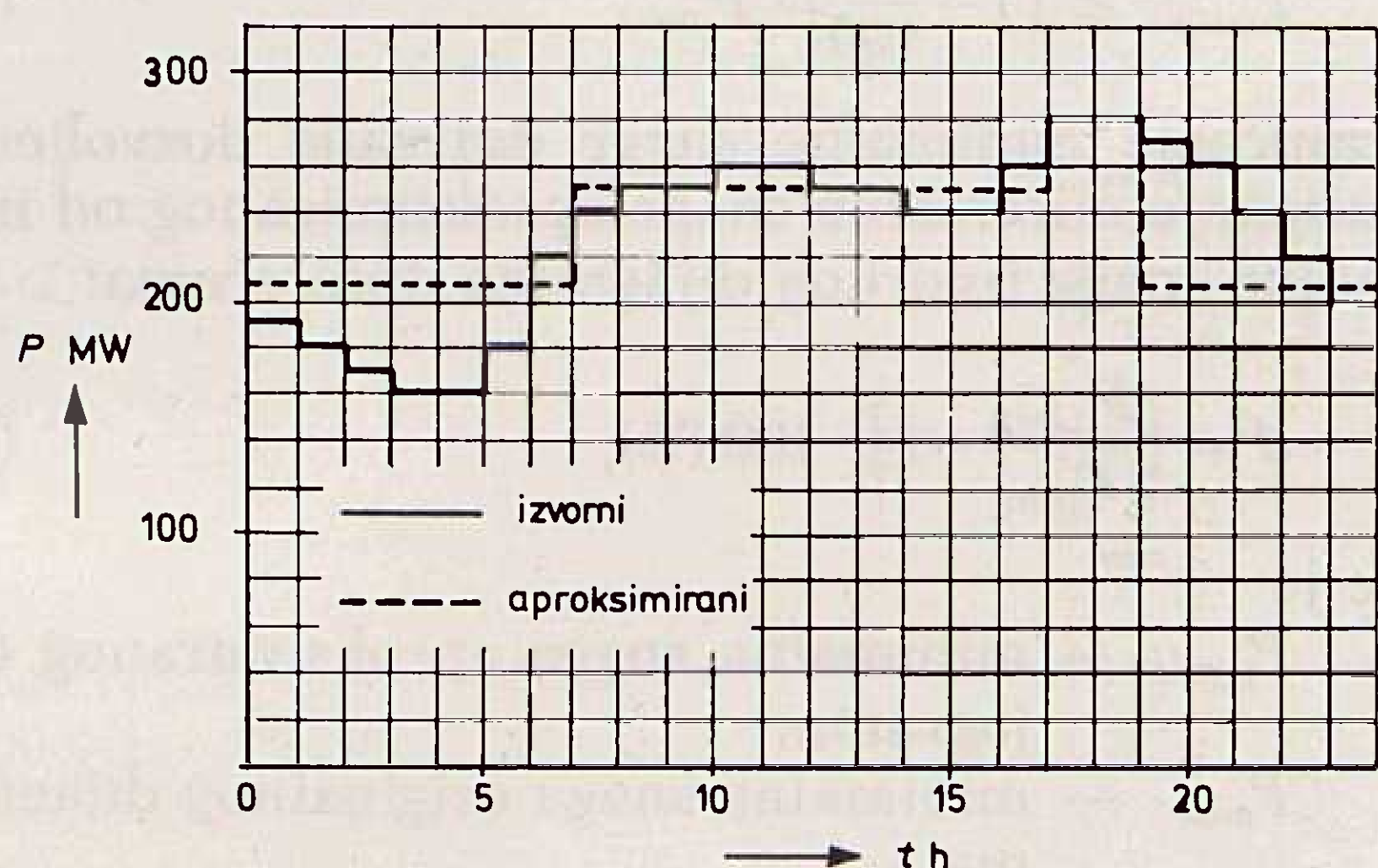
$$\Delta P_a = \sum_{i=1}^n \sum_{j=b(i)}^{e(i)} |P(j) - P_p(i)| \quad (3)$$

dok se kvadratna odstupanja snage dobiju iz jednadžbe

$$\Delta P_k = \sum_{i=1}^n \sum_{j=b(i)}^{e(i)} (P(j) - P_p(i))^2 \quad (4)$$

Značenje veličina je isto kao u jednadžbi (2).

Uz navedene uvjete aproksimirani dijagram može se odrediti direktnim i iterativnim postupkom. Za rješavanje problema kombinatornog programiranja oba pristupa koriste metodu grana i ogradijanja [1].

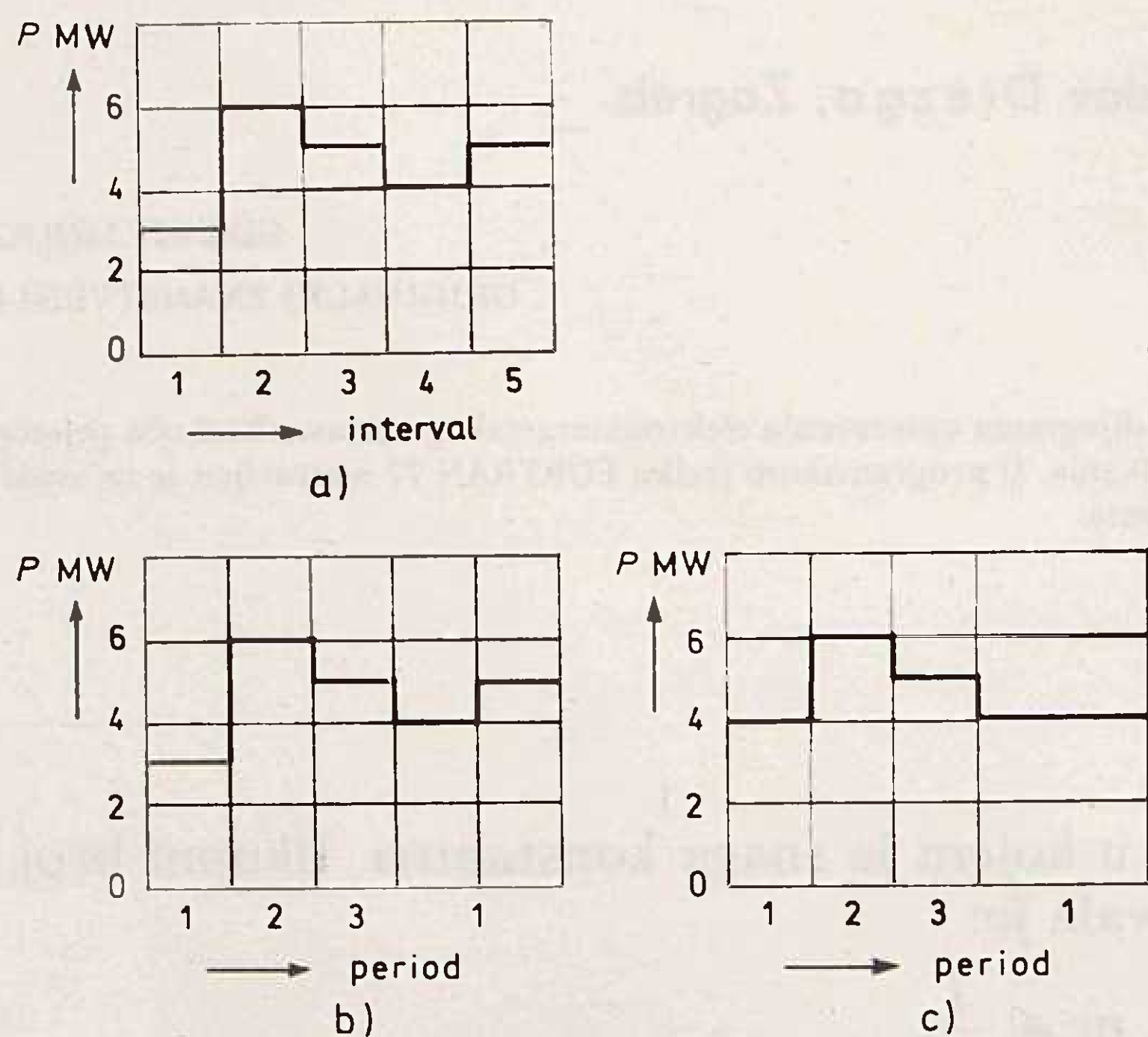


Slika 1. Izvorni i aproksimirani dijagram opterećenja uz  $m = 24$  i  $n = 3$

## 2. DIREKTNI POSTUPAK

### 2.1. Osnovne postavke

Osnovna je ideja direktnog pristupa u tome da se odrede sve moguće kombinacije vremenskih intervala izvornog dijagrama opterećenja za svaki pojedini period aproksimiranog dijagrama. Vremenski intervali izvornog dijagrama označeni su na slici 2. brojevima 1 do 5.



Slika 2. Primjer određivanja aproksimiranog dijagrama opterećenja direktnim postupkom

Svaka valjana kombinacija mora imati ova svojstva:

- dužina bilo kojeg perioda aproksimiranog dijagrama mora biti višekratnik od  $\Delta t$ ,
- svaki period smije sadržavati samo susjedne intervale originalnog dijagrama, pri čemu je dozvoljeno spajanje krajnjeg i početnog intervala,
- dužina bilo kojeg perioda aproksimiranog dijagrama ne smije biti veća od  $m - (n - 1) \Delta t$ .

Granice među vremenskim intervalima izvornog dijagrama ujedno su i elementi koji određuju kombinacije svakog pojedinog perioda. Pritome je, zbog svojstva pod b, potrebno upravo  $m$  granica da bi se jednoznačno odredio dijagram opterećenja sa  $m$  intervala (slika 2.a).

Da bi se iz tih  $m$  intervala formiralo  $n$  perioda, potrebno je iz istih razloga  $n$  granica koje se postavlja na  $m$  mogućih mjesta, (slika 2.b). Svaka takva kombinacija valjana je u prije navedenom smislu. Prema tome, treba odrediti sve kombinacije od  $m$  elemenata  $n$ -tog razreda kojih ima:

$$C = \frac{m!}{(m-n)!n!} \quad (5)$$

Za primjer sa slike 2.a, gdje je  $m = 5$  i  $n = 3$ , dobiva se 10 kombinacija. Valjane kombinacije prikazane su u tablici 1.

Na slici 2.c prikazana je kombinacija pod rednim brojem 1.

Za svaku kombinaciju izračuna se snaga pojedinog perioda prema jednadžbi (2) te apsolutno i kvadratno odstupanje prema jednadžbama (3) odnosno (4).

Tablica 1. Valjane kombinacije za primjer sa slike 2.a za  $n = 3$

Red. broj	Period (sastav/snaga)			Odstupanja	
	1.	2.	3.	apsolutna	kvadratna
1.	4,5,1/4	2 /6	3 /5	2	2
2.	5,1 /4	2 /6	3,4 /4½	3	2½
3.	5,1 /4	2,3 /5½	4 /4	3	2½
4.	5,1,2/4½	3 /5	4 /4	3½	4½
5.	1 /3	2 /6	3,4,5/4½	1½	½
6.	1 /3	2,3 /5½	4,5 /4½	2	1
7.	1 /3	2,3,4/5	5 /5	2	1
8.	1,2 /4½	3 /5	4,5 /4½	4	5
9.	1,2 /4½	3,4 /4½	5 /5	4	5
10.	1,2,3/4½	4 /4	5 /5	3½	4½

Za kombinaciju pod rednim brojem 1 apsolutna odstupanja u prvom periodu iznose 2, a u drugom i trećem 0.

Kvadratna odstupanja za ovu kombinaciju jednaka su kao apsolutna. Snage perioda i odstupanja također su navedene u tablici 1.

Kontrolom valjanih kombinacija s obzirom na ekstremne snage smanjuje se broj kombinacija koje mogu aproksimirati dijagram opterećenja. Takve valjane kombinacije nazivaju se relevantnim kombinacijama.

### 2.2. Ograničenja snage

Određivanjem snage perioda prema jednadžbi (2) u najvećem broju kombinacija kod aproksimiranog dijagrama izgubile bi se veličine maksimalne i minimalne snage. Ograničenje maksimalne snage određuje najveće dopušteno odstupanje maksimalne snage aproksimiranog dijagrama od maksimalne snage izvornog:

$$p = \left(1 - \frac{P_{p,\max}}{P_{\max}}\right) \cdot 100 (\%), \quad (6)$$

gdje je:

$P_{p,\max}$  — maksimalna snaga aproksimiranog dijagrama,

$P_{\max}$  — maksimalna snaga originalnog dijagrama.

Prema tome, maksimalna snaga aproksimiranog dijagrama mora biti:

$$P_{p,\max} \geq \left(1 - \frac{p}{100}\right) \cdot P_{\max} \quad (7)$$

Ograničenje minimalne snage određuje dozvoljeno odstupanje minimalne snage aproksimiranog od minimalne snage izvornog dijagrama opterećenja:

$$d = \left(\frac{P_{p,\min}}{P_{\min}} - 1\right) \cdot 100 (\%), \quad (8)$$

gdje je:

$P_{p,\min}$  — minimalna snaga aproksimiranog dijagrama,

$P_{\min}$  — minimalna snaga originalnog dijagrama.

Minimalna snaga aproksimiranog dijagrama mora zadovoljiti uvjet:

$$P_{p,\min} \leq \left(1 + \frac{d}{100}\right) \cdot P_{\min}. \quad (9)$$

Ako su ukupna odstupanja ista, prednost će imati ona relevantna kombinacija koja ima manja odstupanja maksimalne snage, jer ova ima veće značenje za planiranje sastava proizvodnih jedinica od minimalne.

### 2.3. Određivanje relevantnih kombinacija

Relevantne kombinacije se odabiru iz valjanih (tablica 1) prema uvjetima (7) i (9).

Postupak traženja se može ubrzati, što je važno u slučaju većeg broja intervala, ako se odredi skup potencijalnih točaka loma u izvornom dijagramu opterećenja. Točke loma su počeci intervala izvornog dijagrama u kojima će snaga u aproksimiranom imati diskontinuitet. Elementi spomenutog skupa su, dakle, intervali čiji su počeci potencijalne točke loma. Prvi interval u tome skupu, uz uvjet pod b, predstavlja početni interval u postupku određivanja valjanih kombinacija.

Skup potencijalnih točaka loma može se odrediti na dva načina. Ako je zadano ograničenje maksimalne (minimalne) snage, tada će početni interval sigurno biti ispred ili jednak intervalu u kojem je snaga izvornog dijagrama opterećenja jednaka  $P_{\max}$  ( $P_{\min}$ ). Bez obzira na to da li su zadana ograničenja snage, početni interval će uvijek biti između intervala sa snagom  $P_{\max}$  i sa snagom  $P_{\min}$ .

Određivanje relevantnih kombinacija prema opisanom postupku pokazat će se na primjeru iz točke 2.1. Pretpostavi li se da je najveće dozvoljeno odstupanje maksimalne snage aproksimiranog dijagrama 10% i minimalne 0%, maksimalna snaga aproksimiranog dijagrama mora biti

$$P_{p,\max} \geq 5,4, \quad (10)$$

a minimalna

$$P_{p,\min} = 3. \quad (11)$$

Početni interval će se odrediti na prvi način pošto su zadana ograničenja snage.

Na osnovi uvjeta za maksimalnu snagu određuju se najprije kombinacije intervala koje zadovoljavaju taj uvjet. U ovom slučaju to su kombinacije (2) i (2,3), (slika 2.a). Na osnovi toga zaključuje se da je skup potencijalnih točaka loma  $L$  jednak

$$L = \{2\}. \quad (12)$$

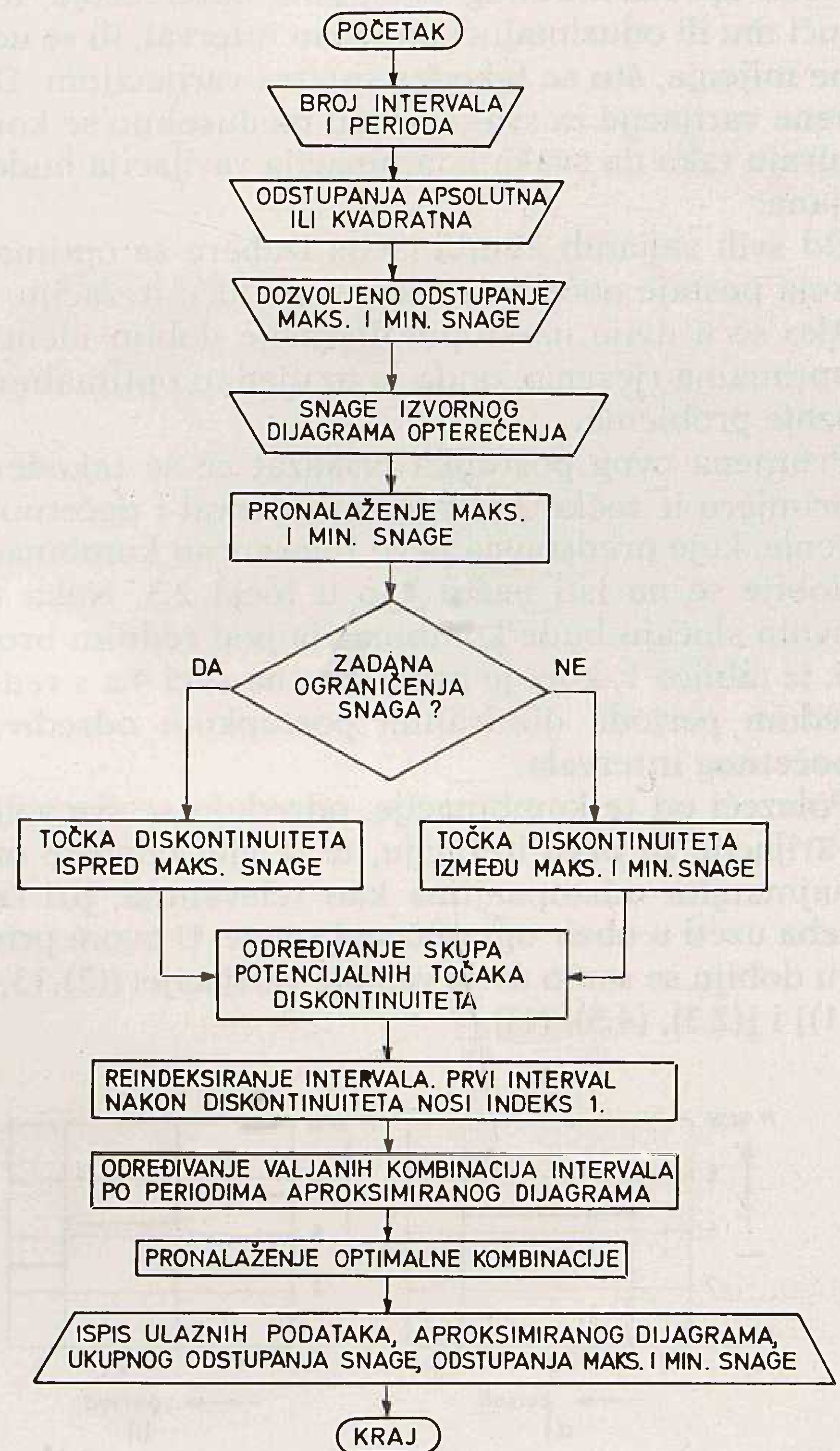
Radi daljnjeg smanjenja broja valjanih kombinacija koristi se zahtjev koji mora zadovoljavati minimalna snaga (11). Naime, budući da se zadovoljenje zahtjeva za minimalnu snagu može postići samo u kombinaciji koja ima jedan period sastavljen od intervala broj 1, to svaka relevantna kombinacija mora imati u sebi taj period. Prema tome, relevantne su kombinacije samo pod rednim brojem 5. i 6. iz tablice 1. Iz tih kombinacija odabire se kao optimalna ona koja ima najmanja odstupanja snaga. U ovom slučaju je to kombinacija pod rednim brojem 5.

Međutim, ako ograničenja snaga ne bi bila zadana, skup  $L$  (12) u ovom primjeru ostao bi nepromijenjen,

ali bi broj valjanih kombinacija bio veći. Prema tablici 1. one su pod rednim brojem 1, 2, 3, 5, 6 i 7. I sada bi bila najbolja aproksimacija pod brojem 5.

### 2.4. Program za računalo i analiza rezultata

Na slici 3. prikazan je blok-dijagram programa za aproksimiranje dnevnog dijagrama opterećenja po direktnom pristupu [2], [3], [4].



Slika 3. Dijagram toka programa za direktni postupak

Pomoću tog programa analizirani su utjecaji raznih faktora na kvalitetu aproksimacije.

Ukupno odstupanje snage ovisi o ograničenjima maksimalne odnosno minimalne snage. Što su ta ograničenja stroža, dakle što je manje dozvoljeno odstupanje minimalne i maksimalne snage, to će biti veće ukupno odstupanje snage.

Ukupno odstupanje snage ovisi o broju perioda aproksimiranog dijagrama. Što je broj perioda veći, to će ukupno odstupanje biti manje.

Najčešće se dobije ista aproksimacija dijagrama opterećenja ako se ukupno odstupanje snage određuje prema metodi apsolutnih ili kvadratnih odstupanja.

### 3. ITERATIVNI POSTUPAK

Iterativni postupak polazi od bilo kojeg početnog rješenja koje se poboljšava iz iteracije u iteraciju dok se ne dođe do optimalnoga.

Početno rješenje nalazi se prema istim principima koji su navedeni u točki 2.3 ako su ograničenja snage zadana, odnosno ako ona nisu zadana.

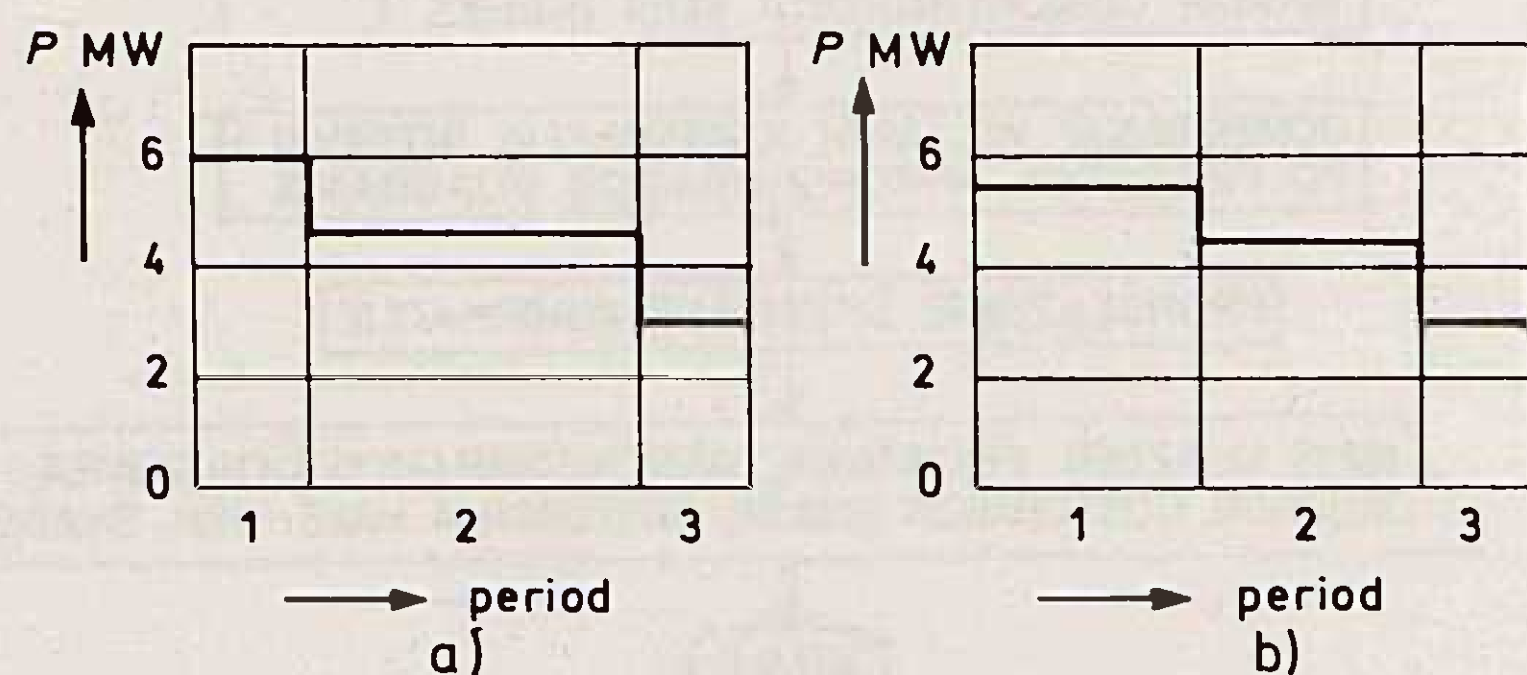
Kada se odredi početno rješenje, prelazi se na iteracije. U svakoj iteraciji varira se dužina pojedinog perioda aproksimiranog dijagrama opterećenja, dodajući mu ili oduzimajući po jedan interval, ili se uopće ne mijenja, što se također smatra varijacijom. Dobi-vene varijacije za svaki period međusobno se kombiniraju tako da svaka kombinacija varijacija bude va-  
ljana.

Od svih valjanih kombinacija izabere se optimalna, koja postaje početno rješenje za iduću iteraciju.

Ako se u dvije uzastopne iteracije dobiju identična optimalna rješenja, onda je to ujedno optimalno rješenje problema.

Primjena ovog postupka prikazat će se također na primjeru iz točke 2.1. Početni interval i početno rješenje, koje predstavlja prvu relevantnu kombinaciju, dobije se na isti način kao u točki 2.3. Neka to u ovom slučaju bude kombinacija pod rednim brojem 5. iz tablice 1, koja je prikazana na slici 4.a s redoslijedom perioda diktiranim postupkom određivanja početnog intervala.

Polazeći od te kombinacije, određuju se sve valjane varijacije za prvu iteraciju, te iz njih odabire ona s najmanjim odstupanjima kao relevantna, pri čemu teba uzeti u obzir ograničenja snage. U ovom primjeru dobiju se samo dvije valjane varijacije: [(2), (3,4,5), (1)] i [(2,3), (4,5), (1)].



Slika 4. Primjer određivanja aproksimiranog dijagrama opterećenja iterativnim postupkom

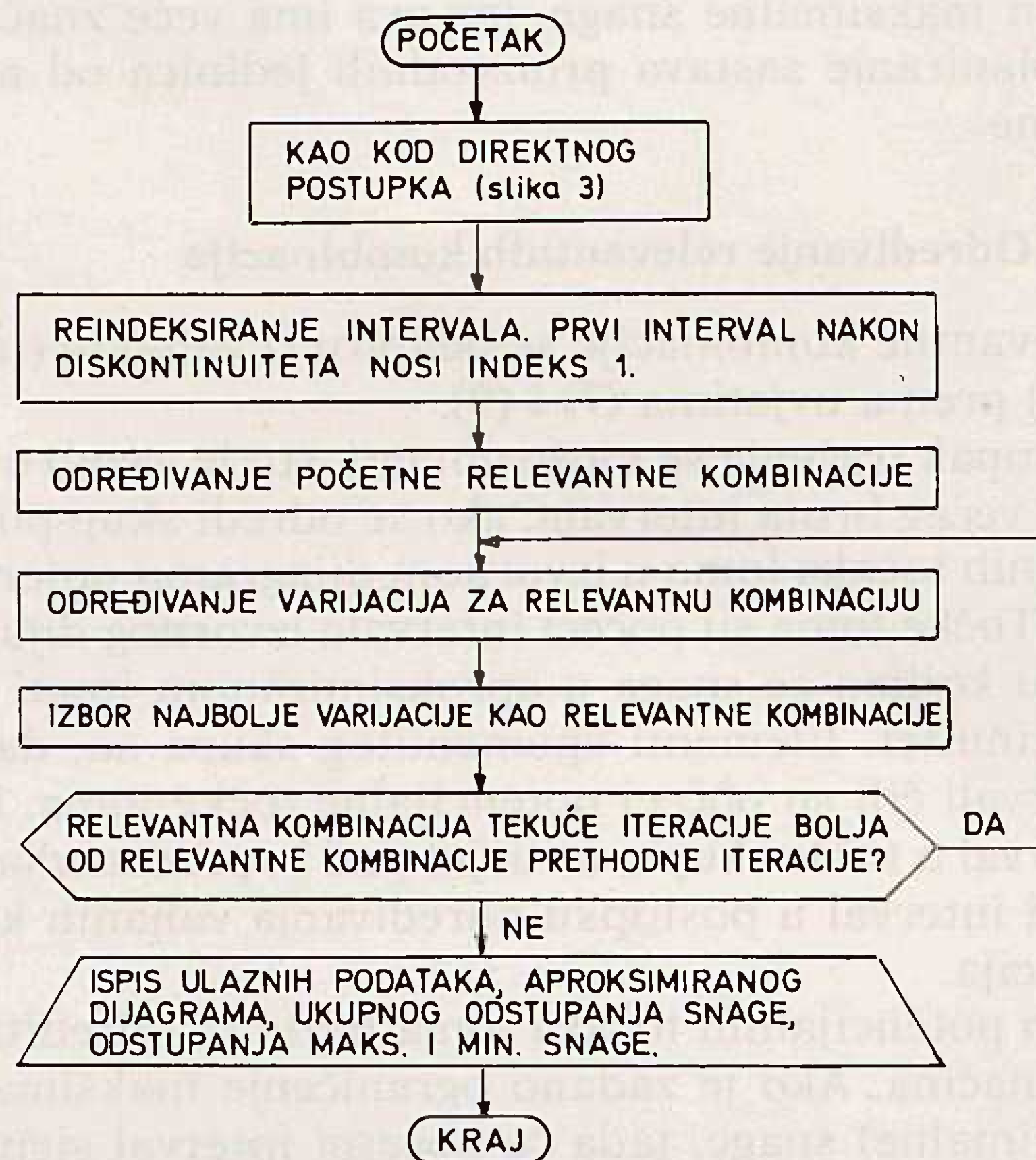
Prva je početno rješenje, a druga se varijacija dobila povećanjem prvog perioda za susjedni interval te smanjivanjem drugog perioda za isti taj interval (slika 4.b).

Iz tablice 1. može se očitati iznose odstupanja snaga jer se radi o kombinacijama pod rednim brojem 5, odnosno 6. Uspoređivanjem odstupanja vidi se da je prva varijacija bolja od druge, pa se izabire kao relevantno rješenje za prvu iteraciju.

Relevantno rješenje tekuće iteracije sada se treba usporediti s relevantnim rješenjem za prethodnu iteraciju, što za prvu iteraciju znači — s početnim rješenjem. Uspoređivanjem se zaključuje da se radi o identičnim rješenjima. To znači da je nađeno jedno

od optimalnih rješenja problema pa se postupak prekida.

Blok dijagrama programa za iterativni postupak prikazan je na slici 5.



Slika 5. Dijagram toka programa za iterativni postupak

U usporedbi s direktnim postupkom iterativni je mnogo brži i, uz dobro odabrano početno rješenje, do optimalne aproksimacije dolazi se u nekoliko iteracija.

### 4. ZAKLJUČAK

Dijagram opterećenja moguće je aproksimirati uz osnovne zahtjeve da ukupna energija i energija po pojedinim periodima budu jednake, te da ekstremne snage ostanu u željenim granicama i uz zahtjev da ukupna apsolutna odnosno kvadratna odstupanja dijagrama opterećenja budu minimalna. Na osnovi metode grananja i ograđivanja iz operacionih istraživanja, u tu svrhu razvijen je postupak i programska podrška. Da bi se skratilo vrijeme računanja, razrađeni su načini za brzo određivanje jedne od točaka diskontinuiteta u aproksimiranom dijagramu. Iz istog razloga pored direktnog postupka razvijen je iterativni koji u velikom broju slučajeva nalazi rješenje s apsolutnim minimumom odstupanja.

### LITERATURA

- [1] MARTIĆ, Lj.: »Nelinearno programiranje«, Informator, Zagreb 1973.
- [2] ŠARIĆ, R.: »Aproksimacija dijagrama opterećenja«, Konstrukcioni program, ETF Zagreb 1983.
- [3] ŠEGOTA, D.: »Aproksimacija dijagrama opterećenja«, Diplomski rad, ETF Zagreb 1986.
- [4] BADROV, K.: »Postupak za računanje aproksimiranog dijagrama opterećenja«, Diplomski rad, ETF Zagreb 1986.

## AN APPROXIMATION OF ELECTRIC POWER SYSTEM DAILY LOAD

In the article is presented a direct and iterated approach in approximation of electric power daily load diagram. Applied computer program is based on branches and bound method. The program is written in Fortran 77 and output results are analysed.

## АППРОКСИМАЦИЯ СУТОЧНОГО ГРАФИКА НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В данной работе показаны орямой и косвенный подходы к определению суточного графика нагрузки электроэнергетической системы. В обоих подходах свойственная им проблема комбинаторного программирования решена при помощи метода ветвей и границ. По программному языку ФОРТРАХ 77 сделана для каждого подхода соответствующая программа для ЭВМ, а также проведен анализ полученных результатов.

## APPROXIMATION DES TAGESDIAGRAMMS DER BELASTUNG DES ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEMS

In dieser Arbeit wurde eine direkte und iterative Methode der Bestimmung des approximierten Tagesdiagramms der Belastung des elektroenergetischen Systems geschildert. Bei beiden Methoden wurde das gegenwertige Problem des kombinatorischen Programmierens mit Hilfe der Methode der Verzweigung und Umzäunung gelöst. In der Programmiersprache FORTRAN 77 wurde für jede Methode ein entsprechendes Programm für ein elektronischer Rechner geschrieben. Es wurde eine Analyse der gewonnenen Ergebnisse durchgeführt.

Naslov pisaca:

**Prof. dr. Vjekoslav Filipović, dipl. inž.**

**Irislav Drezga, dipl. inž.  
Elektrotehnički fakultet Zagreb,  
41000 Zagreb, Unska 3,  
Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1988-11-14

## XVI. EVROPSKA EMTP KONFERENCIJA

Dubrovnik, 29 — 30. svibnja 1989.

Evropski EMTP centar Sveučilišta u Leuvenu (Belgija) i Studij elektrotehnike Sveučilišta u Osijeku, uz financijsku potporu Zajednice znanosti SR Hrvatske, organizirat će u Dubrovniku, 28 — 30. svibnja 1989. XVI. evropsku EMTP konferenciju. Konferencija će, kako se očekuje, okupiti oko stotinu sudionika iz gotovo svih evropskih zemalja, uglavnom vodeće stručnjake i znanstvenike za prijelazne elektromagnetske pojave u elektroenergetskim sistemima.

Prijedlog Jugoslavije kao mogućeg domaćina konferencije dan je 1987. g. u Dublinu (Irska), a konačno je usvojen na konferenciji održanoj u svibnju 1988. u Trondheimu (Norveška). Ovakve konferencije održavaju se već deset godina u raznim gradovima zapadne Evrope. Na njima se razmatraju najznačajnija pitanja primjene *Electromagnetic Transient Programa* (EMTP) — najznačajnijeg programa za digitalno simuliranje prijelaznih elektromagnetskih pojava koji se danas koristi diljem svijeta — jer je složenost i važnost proračunavanja prijelaznih pojava u elektroenergetskom sistemu područje koje se uspješno može razvijati samo uz najširu suradnju svih znanstvenih i stručnih činilaca u svijetu. Naime, pouzdano djelovanje elektroenergetskog sistema kao i njegovo odgovarajuće proširivanje, uvjetovani su, prije svega, djelotvornim analiziranjem tokova snage, kratkih spojeva, stabilnosti i elektromagnetskih prijelaznih pojava u elektroenergetskim mrežama. Posljednja zadaća, koja se odnosi na elektromagnetske prijelazne pojave, povezana je s brojnim poteškoćama s obzirom na zamršenost primjenjivanih postupaka, kako sa stajališta korištenih modela tako i s gledišta primjenjivanja postojećih opsežnih programa za računalno. Obrazovanje mladih kadrova za ovo područje, kao i osposobljavanje stručnjaka u elektroenergetskoj praksi pretpostavlja suradnju i koordinaciju ne samo na nacionalnim razinama već i mnogo šire — kako to nedvojbeno pokazuje i činjenica da su znanstvenici i

stručnjaci koji se bave ovim područjem danas udruženi u regionalne centre (Kanada i Sjedinjene Američke Države, Evropa, Južna Amerika, Indija, Japan). Na to upućuje i činjenica da Evropska ekonomska zajednica financira razvoj istraživanja u ovome području u sklopu projekta »Comet«.

Konferencija u dubrovniku obuhvatit će sljedeća područja proračunavanja prijelaznih elektromagnetskih pojava pomoću EMTP programa:

- opća pitanja razvoja i primjene EMTP programa,
- nadzemni vodovi,
- podzemni kabeli,
- transformatori,
- strojevi,
- sklopni aparati,
- odvodnici prenapona i zaštitna iskrišta,
- analiza prijelaznih pojava kontrolnih sistema (TACS),
- opća pitanja svjetske suradnje u proračunavanju prijelaznih elektromagnetskih pojava.

Konferencija će, nesumnjivo, biti važan poticaj razvoju ovog važnog područja suvremene znanosti i tehnologije u nas, čiji je dosadašnji razvoj bio izrazito nerazmjern stvarnim potrebama i mogućnostima naše zemlje.

Svi zainteresirani stručnjaci i znanstvenici iz Jugoslavije više obavijesti o konferenciji i uvjetima sudjelovanja mogu dobiti od predsjednika organizacijskog odbora dr. Rusmira Mahmutćehajića na adresi:

Dr. Rusmir Mahmutćehajić  
Sveučilište u Osijeku  
Studij elektrotehnike  
Istarska 3  
54000 Osijek  
tel. (054) 124-122, (054) 123-255

# TPK

INDUSTRIJA TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA,  
PROCESNE OPREME I KOTLOVA s n. sol. o. OOUR-a,  
ZAGREB



Telefon: (041) 235-666

\* Telegram: TEPEKA — Zagreb

\* Telex: 21-319 YU TPK ZG

Telefaks: (041) 222-062

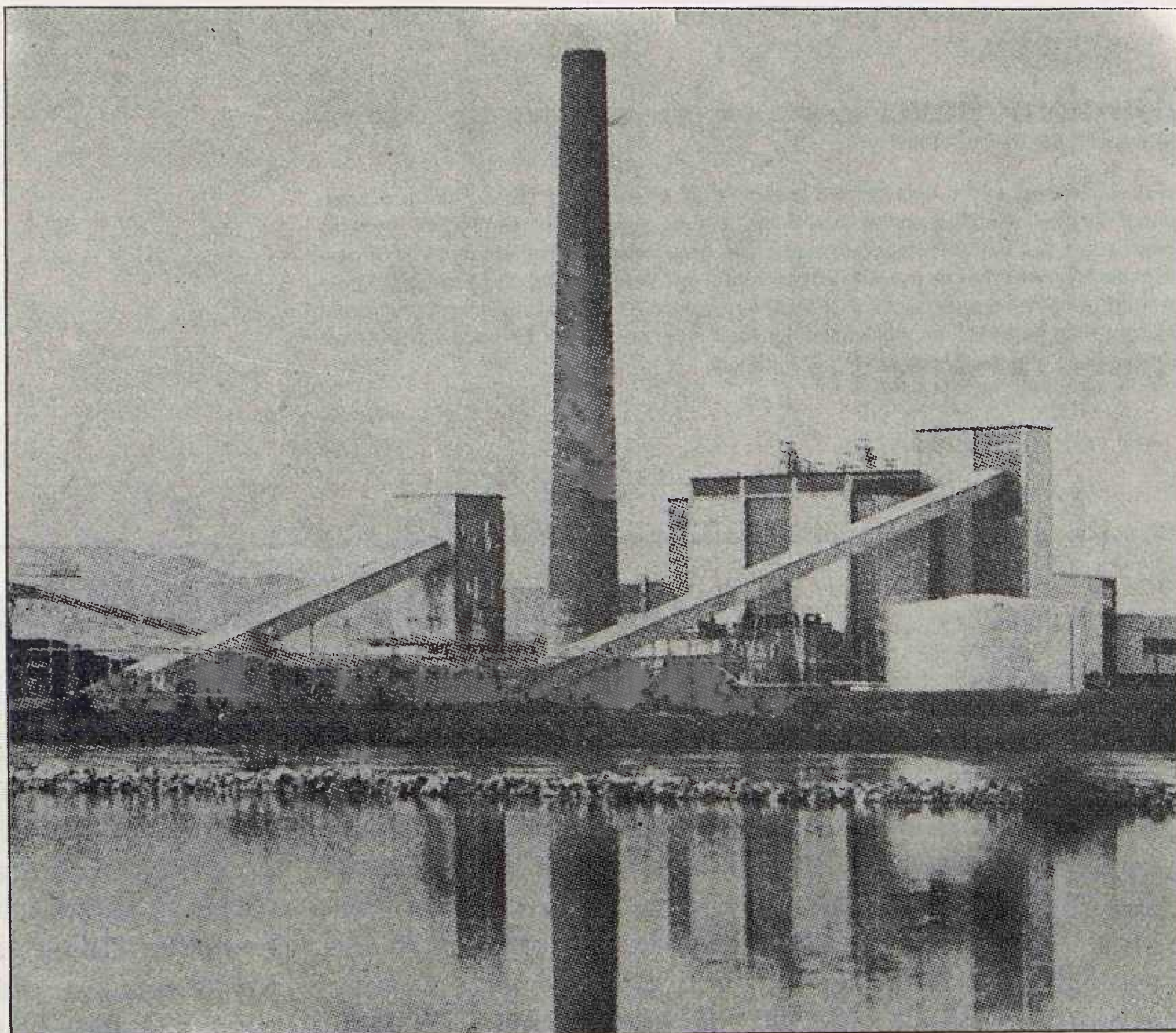
## Projektira

## 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

# PRORAČUN TOKOVA SNAGA U ELEKTROENERGETSKIM MREŽAMA S NESIMETRIČNIM OPTEREĆENJEM

Dr. Zdravko Hebel — Ivica Pavić, Zagreb

UDK 621.311.1:621.3.093

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Prikazana je metoda proračuna tokova snaga uz pretpostavku nesimetričnog opterećenja u čvorištima. Dan je matematički model i napravljen je program za elektroničko računalo. Metoda i program su testirani na test-mreži. Izradeni program korišten je za ispitivanje nesimetričnog strujnog opterećenja generatora HE Pod-sused.

**Ključne riječi:** tokovi snaga, nesimetrično opterećenje, simetrične komponente.

## 1. UVOD

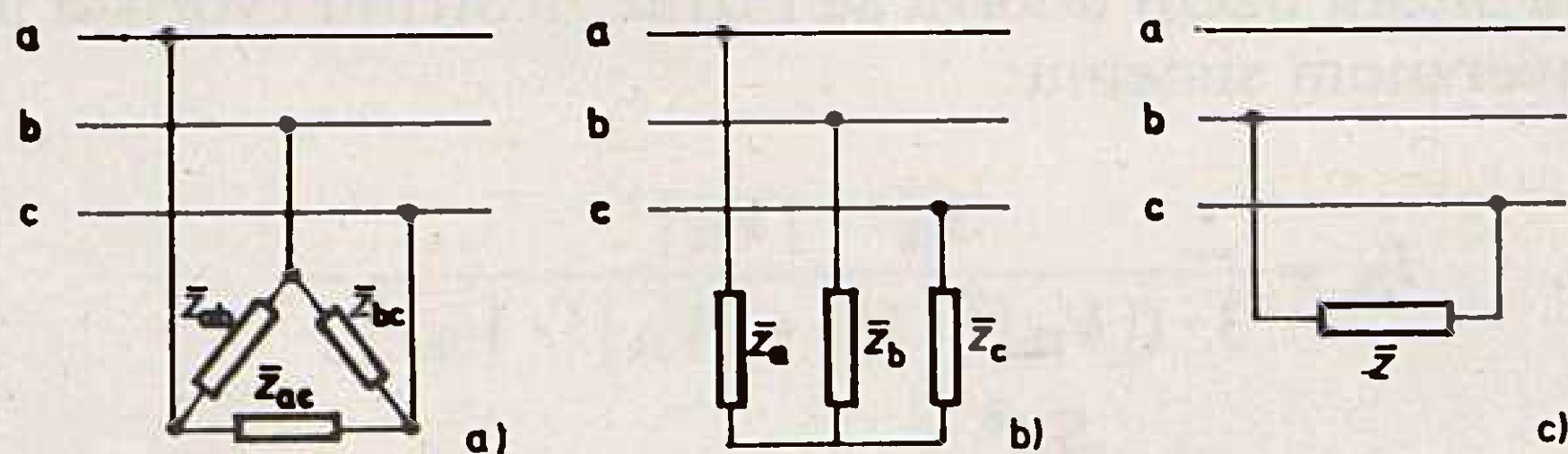
Priključak nesimetričnog potrošača na trofaznu energetsku mrežu dovodi do pojave nesimetričnih struja i napona u mreži. Posljedica nesimetrične struje jest pojava inverzne komponente struje, koja u generatorima proizvodi okretno magnetsko polje. To se polje okreće u suprotnom smjeru od smjera okretanja rotora, te inducira u vodičima rotora napone i struje dvostruke frekvencije. Sinhroni generator postaje za inverzni sistem asinhroni motor, koji koči okretanje agregata, te dovodi do nepoželjnih vibracija i dodatno zagrijava generator. Samo kočenje nije velika opasnost za generator, no zagrijavanje rotora zbog vrtložnih struja može bitno smanjiti dozvoljeno opterećenje generatora ili skratiti životnu dob generatora.

Ovdje opisan proračun pretpostavlja potpuno simetrične izvore u elektroenergetskom sistemu, što je gotovo sasvim realna pretpostavka i u račun unosi neznatne pogreške. Osim toga pretpostavljeno je da u mreži imamo samo nesimetrična opterećenja u čvorištima (teret između dvije faze), a da su vodovi i transformatori simetrični elementi mreže. Naponska nesimetrija koju u mrežu unose ovi potrošači lokalne su prirode i prigušuju se udaljavanjem od izvora smetnje. Međutim, strujna nesimetrija može biti vrlo neugodna, pogotovo ako se u blizini nesimetričnog opterećenja nalaze generatori. Koliko je realna ta opasnost za pogon generatora i mreže, trebao bi pokazati proračun tokova snaga. Zbog toga je uz navedene pretpostavke napravljen proračun nesimetričnih tokova snaga metodom GAUSS-SEIDEL sa Z-matricom.

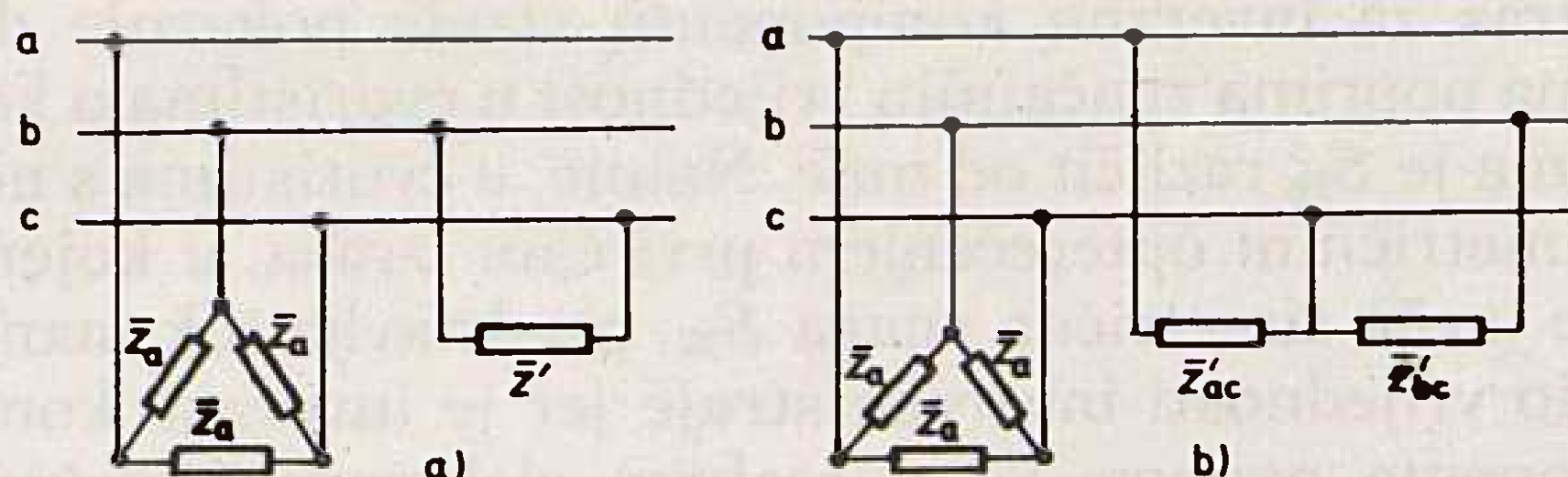
## 2. MATEMATIČKI MODEL

### 2.1. Snage kao ulazni podaci

U proračunu tokova snaga u elektroenergetskim mrežama simetrični potrošači se modeliraju pomoću konstantne trofazne snage. Nesimetrične potrošače moramo, međutim, modelirati drugačije. Sasvim općenito, nesimetrični potrošač može se pojaviti u oblicima prikazanim na slici 1. Ovdje nisu prikazani trofazni potrošači s uzemljenim zvjezdištem, niti jednofazni potrošači spojeni između faze i zemlje, jer se takvi potrošači redovito ne pojavljuju u visokonaponskim mrežama te ih u ovom trenutku nećemo ni razmatrati. Velika većina potrošača su jednofazni (monofazni) potrošači, priključeni međufazno prema sl. 1.c (elektrovučna postrojenja, jednofazne elektro-lučne peći i dr.). Malobrojni nesimetrični potrošači općeg oblika prema sl. 1.a i 1.b daju se rastaviti na jednog simetričnog potrošača i jednog nesimetričnog (sl. 2.a). Samo u najsloženijim slučajevima opći nesimetrični potrošač rastavljat ćemo na jednog simetričnog i dva nesimetrična (sl. 2.b).



Slika 1. Vrste nesimetričnih potrošača u VN-mrežama



Slika 2. Rastavljanje općeg nesimetričnog potrošača

Nesimetrični potrošač, priključen između dvije faze potrebno je modelirati za potrebe proračuna tokova snaga. To znači da treba u  $k$ -tom čvorištu u kojem je, uz simetrični teret, priključen i nesimetrični dvofazni potrošač (npr. između faza b i c) struju u pojedinim fazama prikazati pomoću trofazne simetrične snage  $S_{3k}$  i pomoću dvofazne snage  $S_{2k}$  koja karakterizira dvofaznog potrošača. [3]

Nesimetrični proračun tokova snaga s faznim veličinama bio bi vrlo složen i zbog toga se taj proračun provodi metodom simetričnih komponenata. Budući da se ne promatraju nesimetrični uzemljeni potrošači, u proračunu se neće pojaviti nulti sistem. Za Gauss-Seidel metodu pomoću  $Z$ -matrice, koja će biti korištena za ovaj proračun, potrebno je potrošače i izvore prikazati strujama, u direktnom i inverznom sistemu. Pritom se polazi od izraza za struje po fazama u  $k$ -tom čvorištu:

$$\begin{aligned} I_a &= \frac{S_{3k}^*}{3 \cdot V_{ak}^*} && \text{— struja faze a} \\ &&& \text{u čvoru k} \\ I_b &= \frac{S_{3k}^*}{3 \cdot V_{bk}^*} + \frac{S_{2k}^*}{(V_{bk} - V_{ck})^*} && \text{— struja faze b} \\ &&& \text{u čvoru k} \quad (1) \\ I_c &= \frac{S_{3k}^*}{3 \cdot V_{ck}^*} - \frac{S_{2k}^*}{(V_{bk} - V_{ck})^*} && \text{— struja faze c} \\ &&& \text{u čvoru k} \\ V_{ak}^*, V_{bk}^*, V_{ck}^* &&& \text{— konjugirano-kompleksne vrijednosti napona u čvorištu k} \end{aligned}$$

Primjenjujući pravila o rastavljanju faznih veličina u simetrične komponente [1] i prihvaćajući pretpostavku da nema nulte komponente napona, odnosno struje, dobiva se izraz za struju čvorišta u direktnom sistemu:

$$\begin{aligned} I_{1k} &= \frac{S_{3k}^* \cdot |V_{1k}|^2}{3 \cdot (|V_{1k}|^2 \cdot V_{1k} + |V_{2k}|^2 \cdot V_{2k})^*} + \\ &+ \frac{S_{2k}^*}{3 \cdot (V_{1k} - V_{2k})^*} \quad (2) \end{aligned}$$

Taj izraz prelazi u već poznati oblik za direktnu struju u mrežama u kojima nema nesimetričnih potrošača, ako snagu  $S_{2k}$  i inverzni napon  $V_{2k}$  izjednačimo s nulom.

Na sličan način dobiva se i izraz za struju čvorišta u inverznom sistemu:

$$\begin{aligned} I_{2k} &= \frac{S_{3k}^* \cdot |V_{2k}|^2}{3 \cdot (|V_{1k}|^2 \cdot V_{1k} + |V_{2k}|^2 \cdot V_{2k})^*} - \\ &- \frac{S_{2k}^*}{3 \cdot (V_{1k} - V_{2k})^*} \quad (3) \end{aligned}$$

Izraz za inverznu komponentu struje pokazuje da ona poprima značajniju vrijednost u čvorištima u kojima je  $S_{2k}$  različit od nule. Naime, u čvorištima s nesimetričnim opterećenjem prvi član izraza, u kojem se javlja simetrična snaga  $S_{3k}$ , predstavlja tek manji dio vrijednosti inverzne struje jer je inverzna komponenta napona  $V_{2k}$  u realnim elektroenergetskim mrežama uvijek znatno manja od direktne.

## 2.2. Iterativni postupak Gauss-Seidel pomoću $Z$ -matrice

Proračun tokova snaga u mreži svodi se zapravo na određivanje napona čvorišta mreže, jer uz poznat vektor napona čvorišta i parametre mreže jednostavno se odrede tokovi snaga. Nekoliko je metoda za određivanje tokova snaga, a Gauss-Seidelova iterativna metoda pomoću  $Z$ -matrice odabrana je zbog velike konvergentnosti i prikladnosti za opisani matematički model. Budući da se računa nesimetrični proračun tokova snaga, to se iterativni postupak mora vršiti za direktni i za inverzni sistem.

Iterativni postupak započinjemo određivanjem struja čvorišta u direktnom i inverznom sistemu u  $\emptyset$ -toj iteraciji za  $(n-1)$  nezavisna čvorišta. Za  $k$ -to čvorište mreže te su struje dane izrazima:

$$\begin{aligned} I_{1k}^{(\emptyset)} &= \frac{S_{3k}^* \cdot |V_{1k}^{(\emptyset)}|^2}{3 \cdot (|V_{1k}^{(\emptyset)}|^2 \cdot V_{1k}^{(\emptyset)} + |V_{2k}^{(\emptyset)}|^2 \cdot V_{2k}^{(\emptyset)})^*} + \\ &+ \frac{S_{2k}^*}{3 \cdot (V_{1k}^{(\emptyset)} - V_{2k}^{(\emptyset)})^*} - V_{1k}^{(\emptyset)} \cdot Y_{\emptyset-k} \quad (4) \\ I_{2k}^{(\emptyset)} &= \frac{S_{3k}^* \cdot |V_{2k}^{(\emptyset)}|^2}{3 \cdot (|V_{1k}^{(\emptyset)}|^2 \cdot V_{1k}^{(\emptyset)} + |V_{2k}^{(\emptyset)}|^2 \cdot V_{2k}^{(\emptyset)})^*} - \\ &- \frac{S_{2k}^*}{3 \cdot (V_{1k}^{(\emptyset)} - V_{2k}^{(\emptyset)})^*} - V_{2k}^{(\emptyset)} \cdot Y_{\emptyset-k} \quad (5) \end{aligned}$$

U navedenim izrazima admitancija  $Y_{\emptyset-k}$  predstavlja porednu admitanciju grane kod  $k$ -tog čvorišta, i ona je identična za oba sistema, tj. vrijedi sljedeće:

$$Y_{\emptyset-k} = Y_{1,\emptyset-k} = Y_{2,\emptyset-k}.$$

Za napone svih  $(n-1)$  nezavisnih čvorišta u 0-toj iteraciji, koji se pojavljuju u prethodnim formulama pretpostavlja se:

$$\begin{aligned} V_{1k}^{(\emptyset)} &= 1 + j\emptyset \text{ (p.u.)}, \\ V_{2k}^{(\emptyset)} &= \emptyset + j\emptyset \text{ (p.u.)}, \quad k = 1, \dots, n-1 \end{aligned}$$

dok su direktna i inverzna komponenta napona referentnog čvorišta ( $V_{1n}$ ,  $V_{2n}$ ) konstantne i zadane za cijeli iterativni postupak.

Pošto se izračunaju struje u 0-toj iteraciji za  $(n-1)$  nezavisnih čvorišta, određuje se direktni i inverzni napon u 1. čvorištu prema izrazima:

$$V_{11}^{(1)} = V_{1n} + \sum_{j=1}^{n-1} Z_{1-j} \cdot I_{1j}^{(\emptyset)} \quad (6)$$

$$V_{21}^{(1)} = V_{2n} + \sum_{j=1}^{n-1} Z_{2-j} \cdot I_{2j}^{(\emptyset)} \quad (7)$$

Slično kao za poredne admitancije, pretpostavlja se da su matrice impedancije čvorišta za direktni i inverzni sistem jednake, tj. za međusobnu impedanciju između bilo koja dva čvorišta » $k$ « i » $j$ « vrijedi:

$$Z_{k-j} = Z_{1,k-j} = Z_{2,k-j}.$$

S izračunatim naponom u 1. iteraciji za 1. čvorište računa se ponovo direktna i inverzna komponenta struje prema sljedećim izrazima:



$$I_{11}^{(1)} = \frac{S_{31}^* \cdot |V_{11}^{(1)}|^2}{3 \cdot (|V_{11}^{(1)}|^2 \cdot V_{11}^{(1)} + |V_{21}^{(1)}|^2 \cdot V_{21}^{(1)})^*} + \frac{S_{21}^*}{3 \cdot (V_{11}^{(1)} - V_{21}^{(1)})^*} - V_{11}^{(1)} \cdot Y_{\emptyset-1} \quad (8)$$

$$I_{21}^{(1)} = \frac{S_{31}^* \cdot |V_{21}^{(1)}|^2}{3 \cdot (|V_{11}^{(1)}|^2 \cdot V_{11}^{(1)} + |V_{21}^{(1)}|^2 \cdot V_{21}^{(1)})^*} - \frac{S_{21}^*}{3 \cdot (V_{11}^{(1)} - V_{21}^{(1)})^*} - V_{21}^{(1)} \cdot Y_{\emptyset-1} \quad (9)$$

S izračunatim strujama u 1. čvorištu računa se direktni i inverzni napon za 2. čvorište. Zatim se ponovo računa struja (ovaj put u 1. iteraciji) za 2. čvorište i na taj način odrede se svi naponi i struje ( $n-1$ ) nezavisnih čvorišta u 1. iteraciji. Iterativni postupak nastavlja se dok se ne ispuni zadani kriterij. Općenito, za  $k$ -to čvorište u ( $m$ )-toj iteraciji možemo napisati, za napone:

$$V_{1k}^{(m)} = V_{1n} + \sum_{j=1}^{k-1} Z_{k-j} \cdot I_{1j}^{(m)} + \sum_{j=k}^{n-1} Z_{k-j} \cdot I_{1j}^{(m-1)} \quad (10)$$

$$V_{2k}^{(m)} = V_{2n} + \sum_{j=1}^{k-1} Z_{k-j} \cdot I_{2j}^{(m)} + \sum_{j=k}^{n-1} Z_{k-j} \cdot I_{2j}^{(m-1)} \quad (11)$$

odnosno, za struje:

$$I_{1k}^{(m)} = \frac{S_{3k}^* \cdot |V_{1k}^{(m)}|^2}{3 \cdot (|V_{1k}^{(m)}|^2 \cdot V_{1k}^{(m)} + |V_{2k}^{(m)}|^2 \cdot V_{2k}^{(m)})^*} + \frac{S_{2k}^*}{3 \cdot (V_{1k}^{(m)} - V_{2k}^{(m)})^*} - V_{1k}^{(m)} \cdot Y_{\emptyset-k} \quad (12)$$

$$I_{2k}^{(m)} = \frac{S_{3k}^* \cdot |V_{2k}^{(m)}|^2}{3 \cdot (|V_{1k}^{(m)}|^2 \cdot V_{1k}^{(m)} + |V_{2k}^{(m)}|^2 \cdot V_{2k}^{(m)})^*} - \frac{S_{2k}^*}{3 \cdot (V_{1k}^{(m)} - V_{2k}^{(m)})^*} - V_{2k}^{(m)} \cdot Y_{\emptyset-k} \quad (13)$$

Iterativni postupak završava se kada se direktni i inverzni naponi u ( $m$ )-toj i ( $m+1$ )-oj iteraciji razlikuju za manji iznos od unaprijed zadane točnosti EPS, tj. ako je:

$$M_{ax} |V_{1k}^{(m+1)} - V_{1k}^{(m)}| < EPS \quad (14)$$

$$M_{ax} |V_{2k}^{(m+1)} - V_{2k}^{(m)}| < EPS \quad (15)$$

za  $k = 1, \dots, n-1$

### 2.3. Vrste čvorišta

Predloženi matematički model za proračun nesimetričnih tokova snaga pomoću Gauss-Seidelove iterativne metode sa  $Z$ -matricom pretpostavlja postojanje 4 tipa čvorišta:

- potrošačko čvorište
- generatorsko čvorište
- ekvivalent mreže
- referentno čvorište.

Potrošačko čvorište se najčešće pojavljuje u mreži. To je čvorište u kojem je priključen teret, bilo simetrični, bilo nesimetrični, ili oba zajedno. Osim toga, potrošačko čvorište je i ono u kojem nema nikakvog tereta. Dakle, ovaj tip čvorišta zadan je trofaznom i dvofaznom snagom ( $S_3 = P_3 + jQ_3$ ,  $S_2 = P_2 + jQ_2$ ).

Čvorište u mreži na čije sabirnice je priključen generator naziva se generatorsko čvorište. Jedino čvorište u mreži na koje je priključen agregat, a ipak nije generatorsko, jest referentno čvorište. Za generatorsko čvorište zadaju se podaci o proizvodnji generatora ( $P_g$ ,  $Q_g$ ) i njegova inverzna reaktancija ( $X_{ig}$ ).

Ekvivalent mreže je tip čvorišta koji modelira vanjsku mrežu priključenu na njegove sabirnice. Ona je predočena jednim ekvivalentnim generatorom čija je proizvodnja ( $P_{eg}$ ,  $Q_{eg}$ ) određena razmjenom snage između promatrane i vanjske mreže. Inverzna reaktancija ovog ekvivalentnog generatora, tj. vanjske mreže ( $X_{im}$ ), jednaka je direktnoj reaktanciji mreže ( $X_{dm}$ ), koja se računa pomoću izraza:

$$X_{im} = \frac{U_n^2}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{ks}} \quad (16)$$

gdje je  $I_{ks}$  udio struje kratkog spoja od vanjske mreže. Ovaj tip čvorišta dozvoljava i postojanje tereta na njegovim sabirnicama zadanog sa:  $S_3 = P_3 + jQ_3$ .

Za referentno čvorište potrebno je znati samo direktni napon  $V_{1n}$ , jer je inverzni jednak nuli.

Pojam referentnog, tj. regulacijskog čvorišta definiran je konstantnim naponom njegovih sabirnica, dok mu je snaga određena razlikom proizvodnje i potrošnje u promatranoj mreži. Takva definicija referentnog čvorišta ima smisla u direktnoj mreži s obzirom na to da tamo referentno čvorište ima stvarno zadatak da drži napon svojih sabirnica konstantnim i da nadoknadi sve eventualne potrebe za radnom i jalovom snagom koju nisu proizveli ostali izvori snage. Za inverzni sistem ovakva definicija referentnog čvorišta ne zadovoljava jer se u inverznoj mreži u svim generatorima, pa i referentnom, struja koju oni daju u mrežu računa prema ovom izrazu:

$$I_{2g} = V_{2g}/X_{2g} \quad (17)$$

Veličine u navedenoj formuli imaju sljedeće značenje:

- $I_{2g}$  — inverzna struja u generatorskom čvoru u  $m$ -toj iteraciji
- $V_{2g}$  — inverzni napon u generatorskom čvoru u  $m$ -toj iteraciji
- $X_{2g}$  — inverzna reaktancija generatora.

Prema tome, sve točke iza inverzne reaktancije generatora predstavljaju za inverzni sistem referentno čvorište.

Iz izračunatih direktnih i inverznih napona čvorišta lako se odrede struje i snage u svim granama mreže. [2]

Direktna, odnosno inverzna struja u grani » $k$ - $j$ « kod  $k$ -tog čvorišta određene su izrazima:

$$I_{1,k-j} = (V_{1k} - V_{1j}) \cdot Y_{k-j} + V_{1k} \cdot Y_{\emptyset-k} \quad (18)$$

$$I_{2,k-j} = (V_{2k} - V_{2j}) \cdot Y_{k-j} + V_{2k} \cdot Y_{\emptyset-k} \quad (19)$$

odnosno kod  $j$ -tog čvorišta:

$$I_{1,j-k} = (V_{1j} - V_{1k}) \cdot Y_{k-j} + V_{1j} \cdot Y_{\emptyset-j} \quad (20)$$

$$I_{2,j-k} = (V_{2j} - V_{2k}) \cdot Y_{k-j} + V_{2j} \cdot Y_{\emptyset-j} \quad (21)$$

pri čemu je:  $Y_{k-j} = Y_{1,k-j} = Y_{2,k-j}$  zadan uzdužna admitancija grane » $k-j$ «, a  $Y_{\emptyset-k}$  i  $Y_{\emptyset-j}$  po-

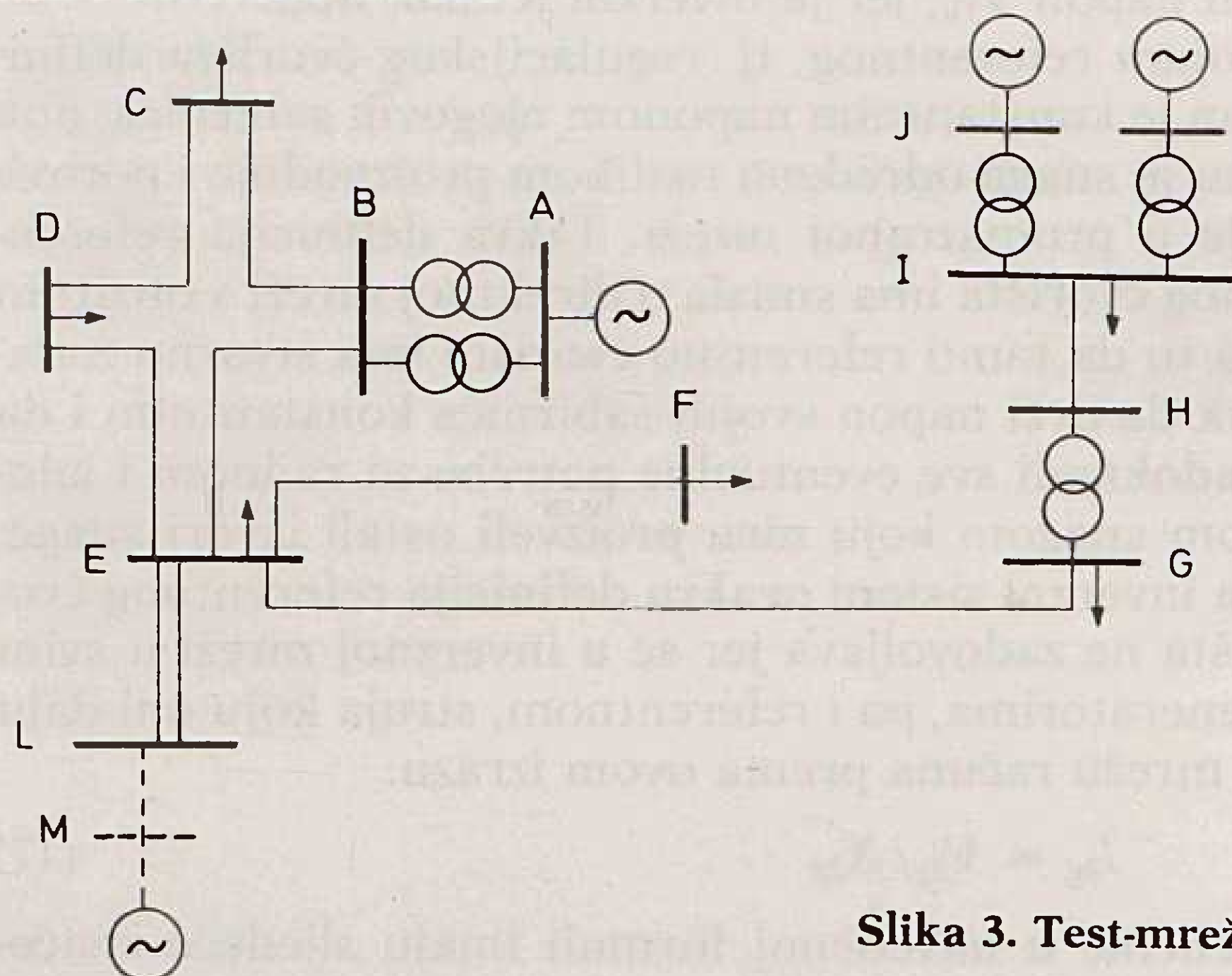
redne admitancije grane kod k-tog odnosno j-tog čvorišta.

Struje po fazama odrede se iz poznatih jednadžbi za simetrične komponente [1], a tokovi snaga u mreži množenjem tih struja s faznim naponima dotičnih čvorišta.

### 3. PRIMJER PRORAČUNA

#### 3.1. Test-mreža

Za testiranje matematičkog modela napravljen je program za elektroničko računalo VAX785. Uzet je dio mreže sjeverozapadne Hrvatske s realnim podacima vodova i transformatora (sl. 3. i tabela 1.). Ostali dio mreže, koji nije prikazan slikom 3, ekvivalentiran je u spojnim točkama generatorom i reaktancijom vanjske mreže, onako kako je to predviđeno proračunom. U ovoj mreži postoji jedno takvo čvorište: L. Osim toga, za potrebe proračuna dodano je i čvorište M, koje predstavlja referentno čvorište za direktnu i inverznu mrežu.



Slika 3. Test-mreža

Inverzna reaktancija generatora priključena u referentnom čvorištu, kojim je ekvivalentirana vanjska mreža, dobivena je pomoću izraza (16), pri čemu je za udio struje kratkog spoja od mreže priključene na čvorište L uzeta vrijednost 20.59 kA.

Tablica 1. Podaci vodova i transformatora promatrane mreže

Čvor I	Čvor J	Br.	R(Ω)	Xd(Ω)	Xi(Ω)	B <sub>pol</sub> (μS)	TAP	U <sub>n</sub> (kV)
A	B	1	0.	40.00	40.00	0.	1.00	110.
A	B	2	0.	40.00	40.00	0.	1.00	110.
B	C	1	0.84	2.87	2.87	9.80	0.	110.
C	D	1	1.04	3.57	3.57	12.20	0.	110.
D	E	1	1.19	4.06	4.06	13.85	0.	110.
E	B	1	0.01	0.33	0.33	1.10	0.	110.
E	L	1	1.88	6.39	6.39	21.85	0.	110.
E	L	2	1.88	6.39	6.39	21.85	0.	110.
E	F	1	0.74	2.50	2.50	8.55	0.	110.
E	G	1	1.46	4.96	4.96	16.95	0.	110.
G	H	1	0.	29.24	29.24	0.	1.00	110.
H	I	1	0.12	0.44	0.44	138.20	0.	30.
I	J	1	0.	3.54	3.54	0.00	1.00	30.
I	K	1	0.	2.62	2.62	0.	1.00	30.
L	M	1	0.27	3.08	3.08	0.	0.	110.

#### 3.2. Pogonsko stanje mreže

Pogonske prilike za promatranu mrežu prikazane su u tablici 2. Nesimetrično dvofazno opterećenje pretpostavljeno je u čvorištima:

$$C - 18.70 + j12.60 \text{ MVA}$$

$$E - 20.00 + j10.00 \text{ MVA}$$

U referentnom čvorištu »M« zadan je direktni napon 1.05 p.u. Inverzni napon referentnog čvorišta jednak je nuli.

Tablica 2. Pogonsko stanje mreže

Čvor	Tip	P <sub>3</sub> (MW)	Q <sub>3</sub> (MVA <sub>r</sub> )	P <sub>g</sub> (MW)	Q <sub>g</sub> (MVA <sub>r</sub> )	U <sub>n</sub> (kV)	X <sub>ig</sub> (om)
A	2	0.	0.	48.00	23.00	6.3	0.109
B	1	0.	0.	0.	0.	110.0	0.
C	1	19.00	8.00	0.	0.	110.0	0.
D	1	23.00	9.00	0.	0.	110.0	0.
E	1	61.00	25.50	0.	0.	110.0	0.
F	1	61.00	24.50	0.	0.	110.0	0.
G	1	155.00	59.00	0.	0.	110.0	0.
H	1	0.	0.	0.	0.	30.0	0.
I	1	20.00	10.00	0.	0.	30.0	0.
J	2	0.	0.	10.00	7.00	5.25	0.250
K	2	0.	0.	31.00	15.00	10.5	0.470
L	1	0.	0.	0.	0.	110.0	0.

U čvorištima A, J, K i M priključeni su generatori (tip 2). Čvorište M je referentno čvorište.

#### 3.3. Rezultati

Iterativni postupak završen je nakon 7 iteracija uz zadani EPS = 10<sup>-4</sup>. Između ostalih međurezultata program daje inverznu vrijednost napona u svim čvorištima i inverzne struje u svim granama. U tablici 3. prikazane su inverzne struje i naponi samo u generatorskim čvorištima.

Tablica 3. Rezultati

čvorišta	I <sub>2</sub> (A)	U <sub>2</sub> (kV)
A	463.7	0.05
J	108.0	0.03
K	97.9	0.05
M	217.9	0.00

Osim navedenih vrijednosti program daje sljedeće rezultate:

- direktni i inverzni napon u svim čvorištima
- napon po fazama u svim čvorištima
- direktnu i inverznu struju u svim granama
- snage po fazama u svim granama
- snage po fazama u svim čvorištima
- struje po fazama u svim generatorima.

Sve spomenute veličine osim snaga dane su kao kompleksni brojevi u polarnom obliku. Snage su prikazane u pravokutnom sistemu.

### 4. ZAKLJUČAK

Prikazana metoda s izrađenim programom poslužila je da se odredi nesimetrično strujno opterećenje generatora u planiranoj HE Podsused. Nesimetrično opterećenje pojavljuje se u 110 kV mreži zbog priključka EVP-a Zaprešić. U sjeverozapadnoj Hrvatskoj postoje i drugi izvori nesimetrije (ostali EVP)

koji su, međutim, »električki« udaljeni od promatranne hidroelektrane, pa nisu uzeti u obzir. Dobiveni rezultati koji su prikazani u tablici 4. pokazuju da inverzna struja na stezaljkama generatora ni u jednom pogonskom slučaju ne prelazi vrijednost 10% od nazivne struje generatora. Mreža uzeta za analizu, zajedno s pogonskim stanjem, nalazi se u [4].

Tablica 4. Rezultati za mrežu sjeverozapadne Hrvatske

Pogonski slučaj	$I_2$ (%)		$U_2$ (%)			
	Podsused	Podsused	Strmec	Zaprešić	Rakitje	Samobor
1.	2.21	0.36	0.58	0.99	0.55	0.79
2.	6.37	1.05	1.68	1.78	0.49	1.17
3.	2.12	0.35	0.57	2.14	0.57	1.40
4.	1.67	0.28	0.44	0.79	0.41	0.52
5.	4.86	0.80	1.28	1.35	0.30	0.72
6.	1.27	0.21	0.33	1.57	0.35	0.83
7.	2.23	0.37	0.58	0.99	0.55	0.79

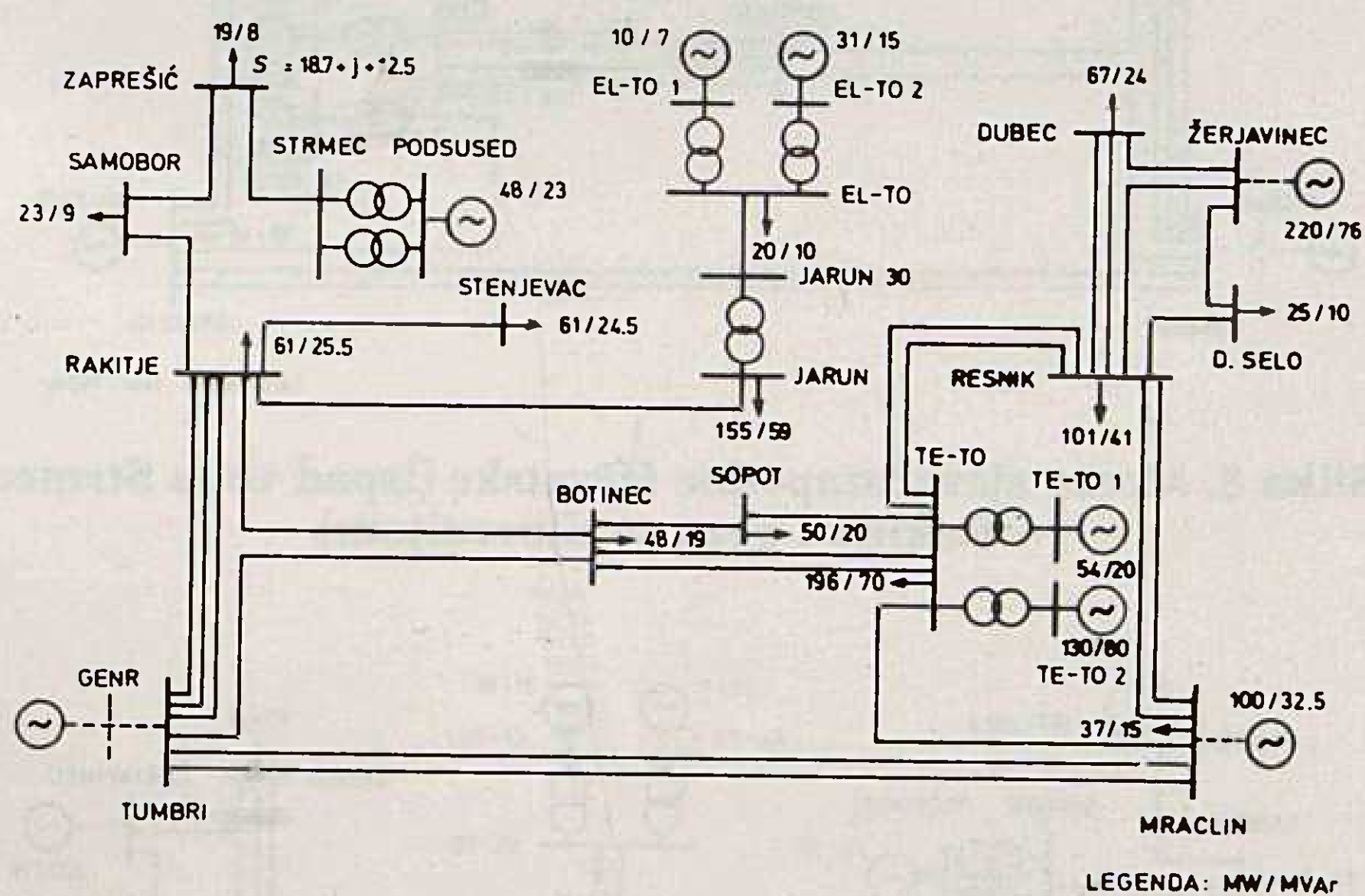
Pogonski slučajevi označeni u prethodnoj tablici rednim brojevima, odnose se na sljedeća stanja mreže:

1. osnovno stanje mreže (slika 4)
2. ispad voda Strmec-Rakitje (slika 5)
3. ispad voda Strmec-Zaprešić (slika 6)
4. osnovno stanje mreže i veza sa Slovenijom (slika 7)
5. ispad voda Strmec-Rakitje u mreži vezanoj sa Slovenijom (slika 8)
6. ispad voda Strmec-Zaprešić u mreži vezanoj sa Slovenijom (slika 9)
7. osnovno stanje mreže uz 50% opterećenja HE Podsused (sl. 4).

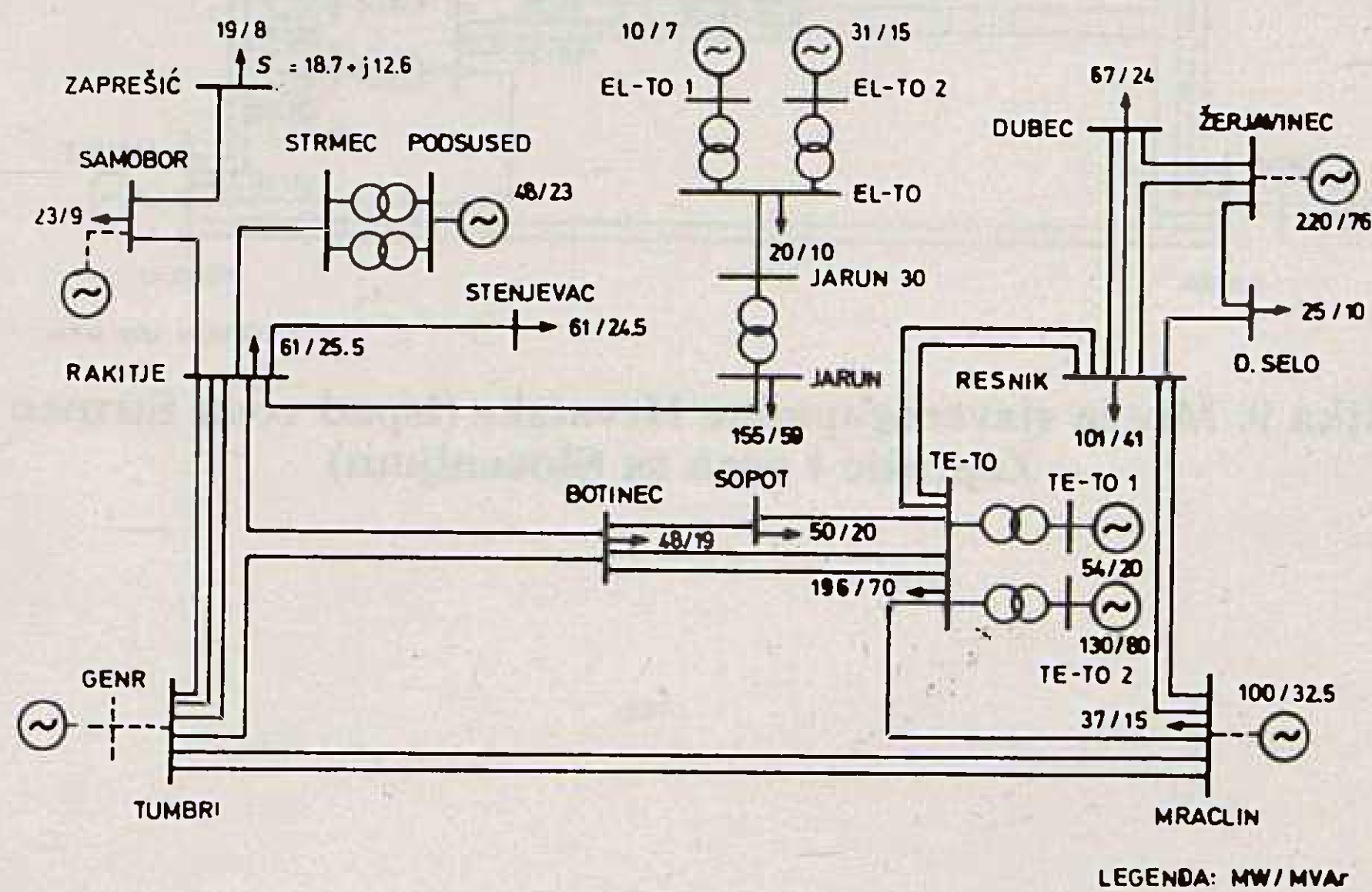
Struja odnosno naponska nesimetrija određene su izrazima:

$$I_2(\%) = (I_2(A) / I_n(A)) \cdot 100(\%) \quad (22)$$

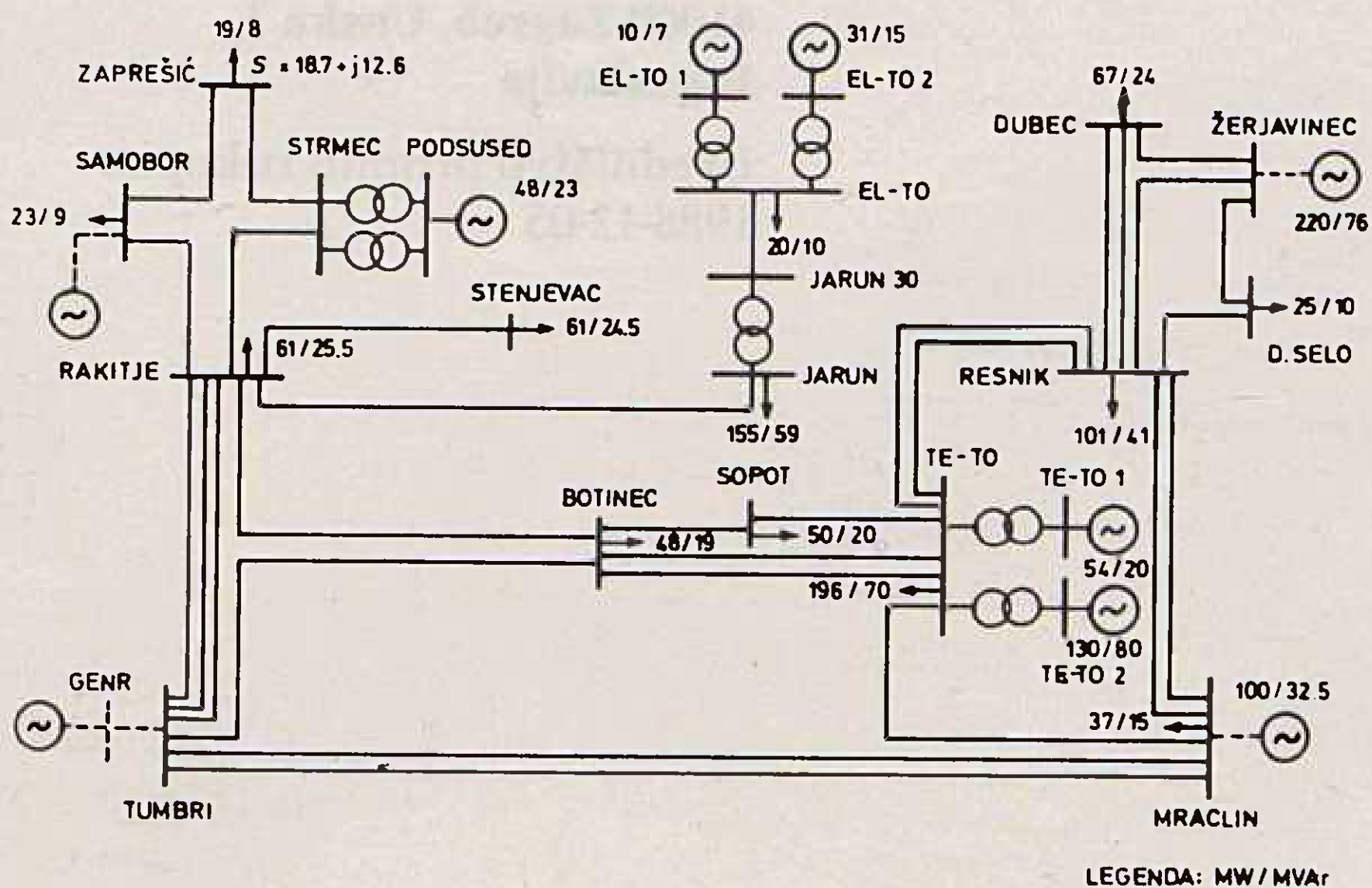
$$U_2(\%) = (U_2(kV) / U_n(kV)) \cdot 100(\%) \quad (23)$$



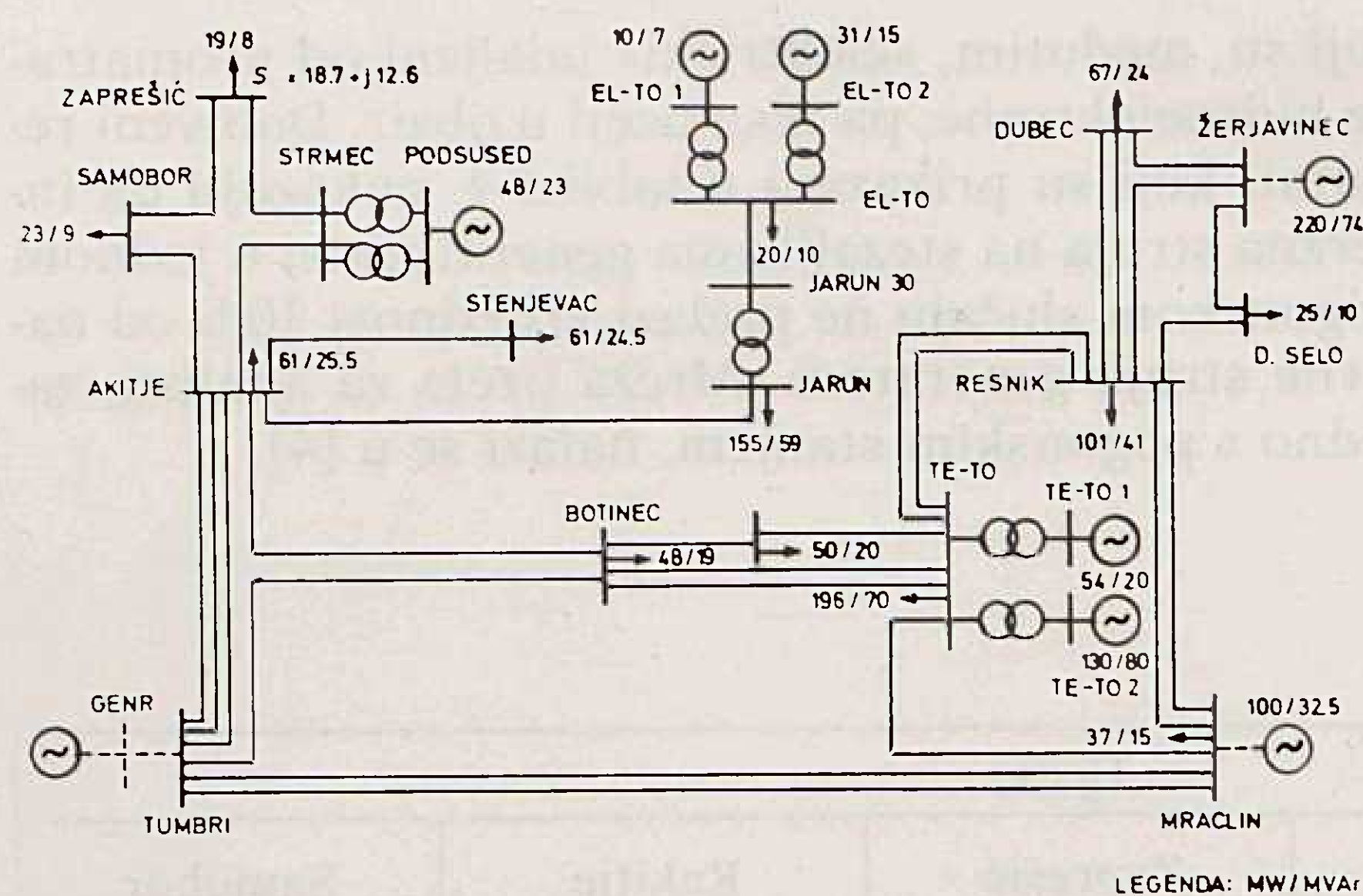
Slika 5. Mreža sjeverozapadne Hrvatske (ispad voda Strmec - Rakitje)



Slika 6. Mreža sjeverozapadne Hrvatske (ispad voda Strmec - Zaprešić)



Slika 4. Mreža sjeverozapadne Hrvatske (osnovno stanje)



Slika 7. Mreža sjeverozapadne Hrvatske (osnovno stanje mreže i veza sa Slovenijom)

## LITERATURA

- [1] POŽAR: Visokonaponska rasklopna postrojenja Tehnička knjiga — Zagreb, Zagreb, 1984.
- [2] M. i K. OŽEGOVIĆ: Električne mreže I, Split, 1977.
- [3] M. i K. OŽEGOVIĆ: Električne mreže II, Split, 1980.
- [4] Z. HEBEL, I. PAVIĆ: Nesimetrično strujno opterećenje generatora HE Podsused, ETF-Zagreb, Zagreb, listopad 1988.

### POWER FLOWS IN ELECTRICAL NETS WITH NON-SYMMETRICAL LOADS

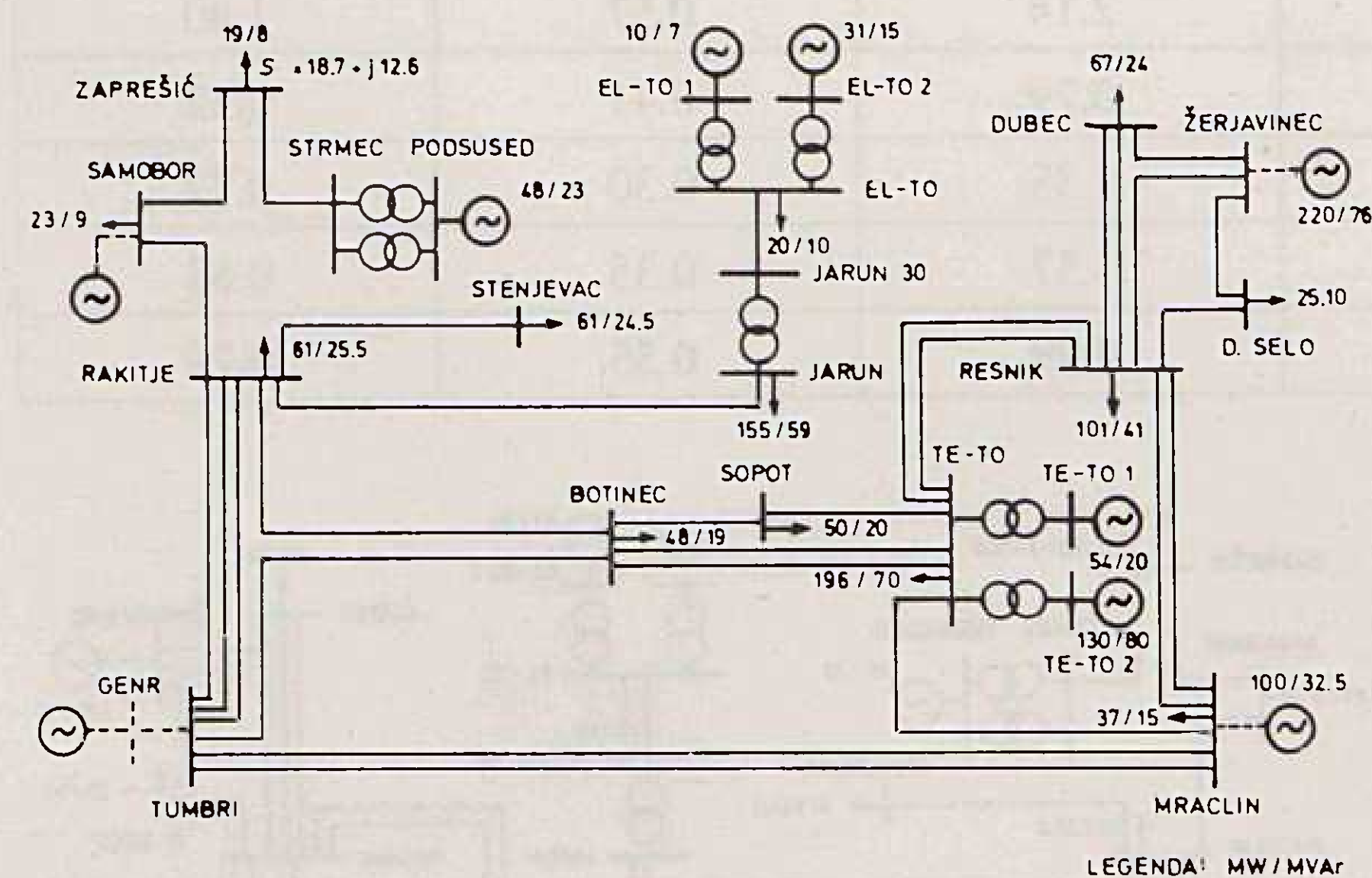
In the article is presented a method for calculation of power flows in electrical nets with non-symmetrical loads. Presented is an algorithm for computer program. The method and program are verified on a test model. The program is used for calculation of non-symmetrical current loads of HPP Podsused generator.

### BERECHNUNG DER KRAFTLÄUFE IN DEN ELEKTROENERGETISCHEN NETZEN MIT EINER UNSYMMETRISCHEN BELASTUNG

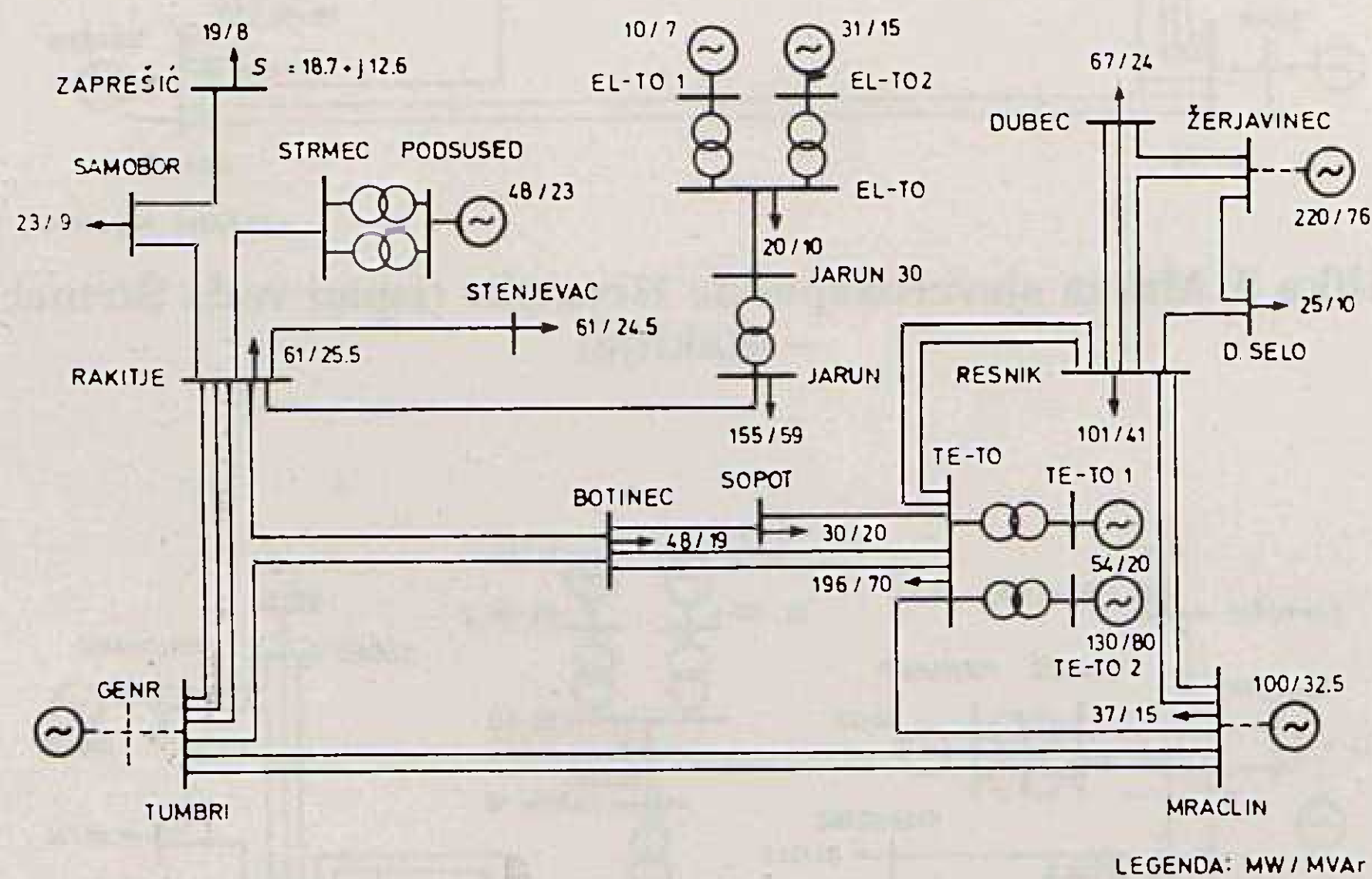
Hier wird die Methode der Berechnung der Kraftläufe unter der Voraussetzung einer unsymmetrischen Belastung in den Knotenpunkten geschildert. Die Methode und das Programm wurden am Test — Netz getestet. Das ausgearbeitete Programm wurde auch zur Überprüfung der unsymmetrischen Strombelastung des Generators des Wasserwerkes Podsused benutzt.

### РАСЧЕТ ПОТОКОВ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СЕТЯХ НЕСИММЕТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Показан метод расчета потоков мощности в предположении несимметрической нагрузки в узлах. Приводится математическая модель и выполнена программа для ЭВМ. Выполнен тест метода и программы на сети теста. Выполненная программа была использована при исследовании несимметричной токовой нагрузки высокочастотного генератора «Приокрестный».



Slika 8. Mreža sjeverozapadne Hrvatske (ispad voda Strmec — Rakitje i veza sa Slovenijom)



Slika 9. Mreža sjeverozapadne Hrvatske (ispad voda Strmec — Zaprešić i veza sa Slovenijom)

Naslov pisaca:

Prof. dr. Zdravko Hebel, dipl. inž.  
Ivica Pavić, dipl. inž.  
Elektrotehnički fakultet Zagreb,  
41000 Zagreb, Unska 3,  
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:  
1988-12-05

# FREKVENTNA OVISNOST PARAMETARA PODZEMNIH KABELA

Doc. dr. Rusmir Mahmutćehajić, Osijek

UDK 621.315.001.621.3.063  
ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu se obraduju osnovna pitanja frekventne ovisnosti parametara podzemnih kablskih sistema u funkciji proračunavanja rasprostiranja vala i prijelaznih pojava. Frekventne ovisnosti »konstante« rasprostiranja, karakteristične impedancije i modalne transformacione matrice prikazuju se na primjeru kablskog sistema koji se sastoji od tri jednožilna koaksijalna kabla raspoređena u trokutu. Dobiveni rezultati upućuju na osnovne poteškoće proračunavanja rasprostiranja vala i prijelaznih pojava u vremenskoj domeni kada se uključuju frekventne ovisnosti parametara. U brojnim slučajevima, kako se navodi u zaključku, nije moguće koristiti uobičajene metode uključivanja frekventne ovisnosti parametara nadzemnih vodova u slučaju proračunavanja prijelaznih pojava u kablskim sistemima.

**Ključne riječi:** frekventna ovisnost, konstanta rasprostiranja, karakteristična impedancija, modulna transformaciona matrica.

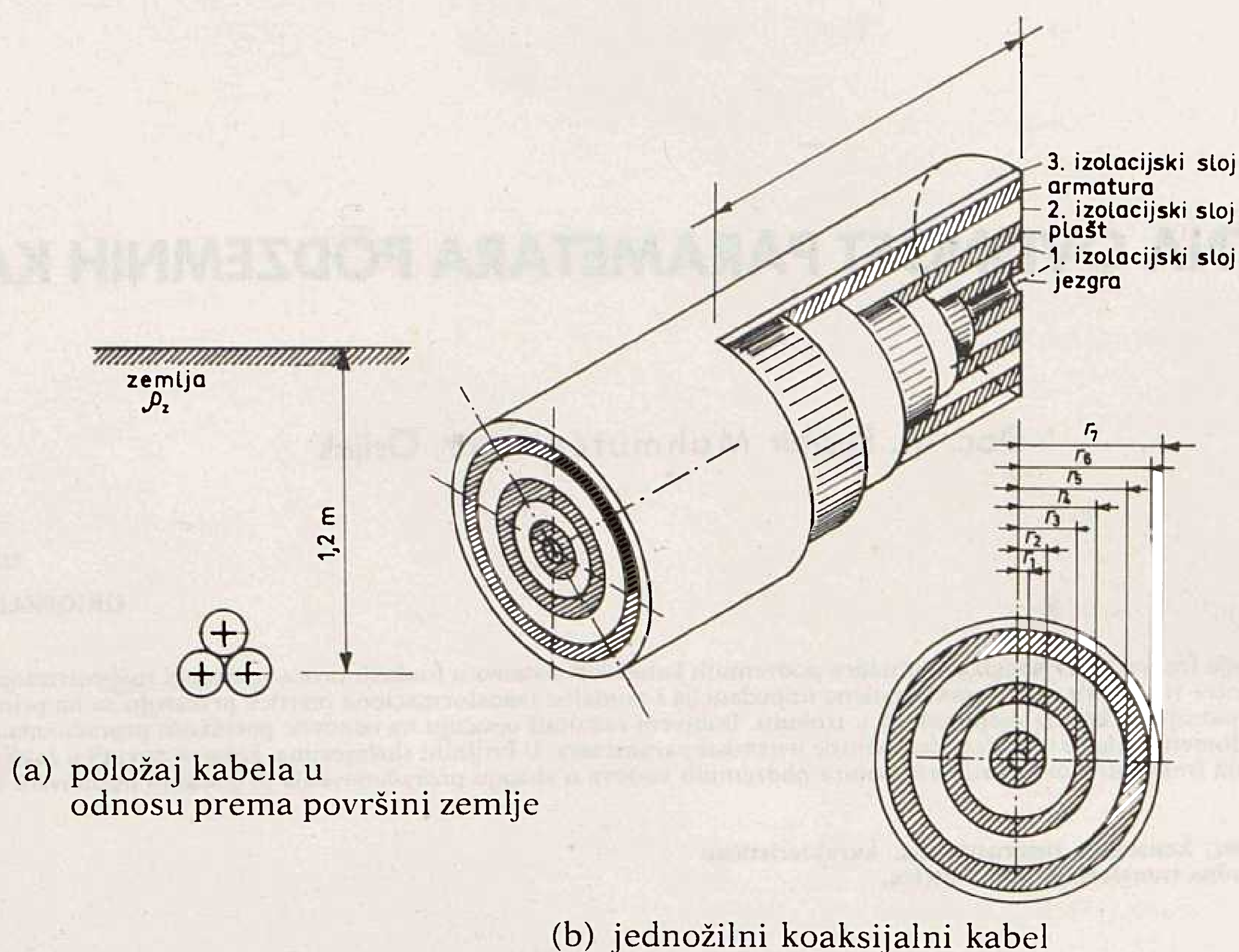
## 1. UVOD

Primjena tehnike putnog vala u simuliranju prijelaznih pojava na nadzemnim vodovima i podzemnim kablama dovela je do razvoja različitih programa za računalno. Među tim programima su najpoznatiji BPA EMTP [1], UBC EMPT [2] i FDTP [3]. Prva dva programa simuliraju prijelazne pojave u vremenskoj domeni, a pomoću trećeg prijelazne se pojave simuliraju u frekvencijskoj domeni. Prvi je pristup znatno prošireniji i uobičajeno se smatra da njegova prilagodljivost proračunavanju velikih mreža i radu s nelinearnim elementima čini u općem pogledu takav pristup nezamjenjivim. Međutim, on ima stanovita uskraćenja kada je u pitanju uključivanje frekventnih ovisnosti parametara nadzemnih vodova i podzemnih kabela. Unatoč brojnim nastojanjima koja su dovela do izgradnje različitih modela frekventno ovisnih parametara nadzemnih vodova i kabela, i sada smo suočeni s neriješenošću tog pitanja u njegovu općem obliku. (Cjelovit prikaz različitih pristupa u modeliranju frekventne ovisnosti parametara nadzemnog voda u EMTP dan je u [4].) Korištenjem dosada razvijenih tehnika modeliranja moguće je u simuliranju prijelaznih pojava uključiti frekventnu ovisnost konstante rasprostiranja i karakteristične impedancije (ili admitancije); međutim, treći faktor frekventne ovisnosti — transformaciona matrica — do sada nije uključen u proračunavanje prijelaznih pojava na nadzemnim vodovima i kablama. Obično se pretpostavlja da je frekventna ovisnost transformacione matrice zanemarljiva; ta je pretpostavka to na samo za posebne slučajeve ali ne i općenito. To, razumljivo, dovodi do rezultata proračuna koji nisu prihvatljivi. U primjeru neprepletenih nadzemnih vodova i naročito u slučaju podzemnih sistema koaksijalnih kabela frekventna ovisnost modalne transformacione matrice snažno se iskazuje pa njezino zanemarivanje nije dopustivo [5, 13].

Međutim, cjelovitije istraživanje vladanja transformacione matrice jasno pokazuje da je njezina frekventna ovisnost različita u različitim područjima frekvencije. U nekim je područjima ona približno konstantna. U skladu s tim, ako se promatrana prijelazna pojava o u takvom području, pretpostavka o konstantnosti transformacione matrice može se primijeniti i tako dobiti valjani rezultati. Ovdje će se raspravljati pitanja frekventne ovisnosti parametara kabela s obzirom na zadaće simuliranja prijelaznih elektromagnetskih pojava korištenjem BPA EMTP.

Cjelovita osnova suvremenog proračunavanja parametara kablskih sistema koji se sastoje od koaksijalnih jednožilnih kabela dana je u drugom radu koji, zapravo, predstavlja prvi dio istraživanja koje se ovdje izlaže [5]. Sva ta istraživanja, čiji se djelomični rezultati prikazuju u ovome radu, provedena su za trofazni kablški sistem koji se sastoji od tri jednožilna koaksijalna kabla domaće proizvodnje (110 kV, XHE 48 A, »Moša Pijade«). Pojedinačni su kabeli raspoređeni tako da im središta leže u vrhovima jednakostraničnog trokuta, kako je to prikazano na slici 1 (a). Aksonometrijski prikaz pojedinačnog jednožilnog kabela dan je na slici 1 (b). Jednožilni koaksijalni kabel se u općem slučaju sastoji od jezgre, plašta i armature, kao vodljivih dijelova, i izolacionih slojeva. Jednožilni koaksijalni kabel, koji je izabran za provođenje našeg istraživanja, poseban je primjer kabela sa slike 1 (b) naime, taj se kabel sastoji samo od jezgre i plašta kao vodljivih dijelova.

Istraživanja čiji je sažet prikaz prikazan u idućem tekstu obuhvatit će razmatranje frekventne ovisnosti triju osnovnih faktora: konstante rasprostiranja, karakteristične impedancije i modalne transformacione matrice. U postojećim modelima nadzemnih vodova i podzemnih kabela, s uzimanjem u obzir frekventne ovisnosti parametara prva od ova tri faktora mogu se uključiti u simuliranje elektromagnetskih prijelaznih pojava [10], dok se u slučaju uzimanja u obzir frekventne ovisnosti transformacione matrice



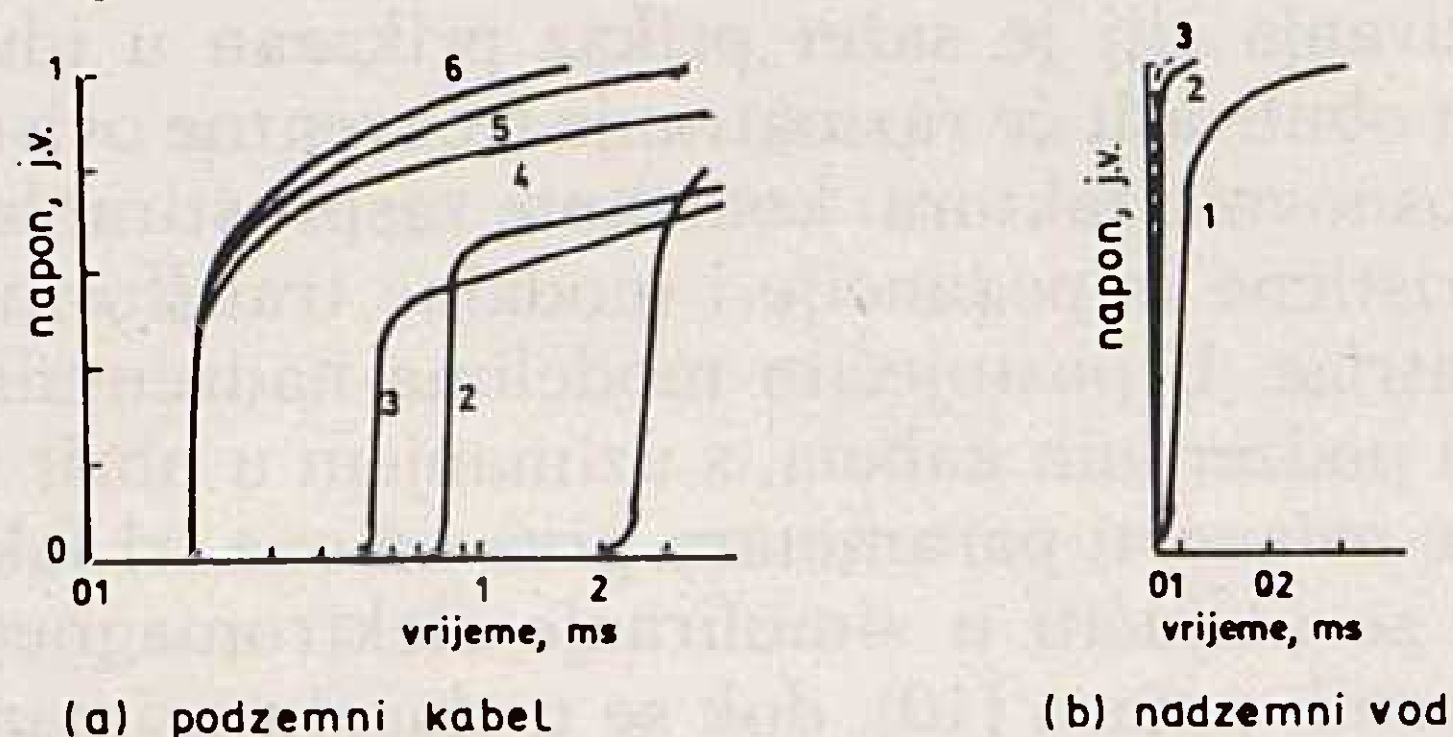
Slika 1. Trofazni kabelski sistem sačinjen od tri jednožilna koaksijalna kabela raspoređena u trokut

susrećemo s poteškoćama koje inače izgledaju nerješivima ako se primjenjuju raspoloživi modeli. Međutim, kako to pokazuju naša istraživanja, pažljivom procjenom frekvencijskog područja, koje odgovara promatranoj prijelaznoj pojavi, može se doći do kriterija korištenja postojećih modela ugrađenih u BPA EMTP. To znatno unapređuje primjenjivost toga programa i omogućuje djelotvornije proračunavanje prijelaznih elektromagnetskih pojava na kabelskim sistemima prijenosa električne energije.

Čitaoca koji se zanima za više pojedinosti u vezi s ovim istraživanjem upućujemo na naše druge radove u vezi s ovim pitanjima koji su već tiskani ili čije je tiskanje u toku.

## 2. FREKVENTNA OVISNOST KONSTANTE RASPROSTIRANJA

U nizu radova [6, 7, 8] jasno je pokazano da je frekventna ovisnost konstante rasprostiranja u slučaju kabela znatno izrazitija nego u slučaju nadzemnih vodova. Na sl. 2 [8] prikazana je frekventna ovisnost konstante rasprostiranja pomoću step-odziva valne deformacije u vremenskoj domeni; na istoj je slici dan i step-odziv netransponiranog nadzemnog voda. Odzivi su promatrani na udaljenosti 30 km od početnog kraja.



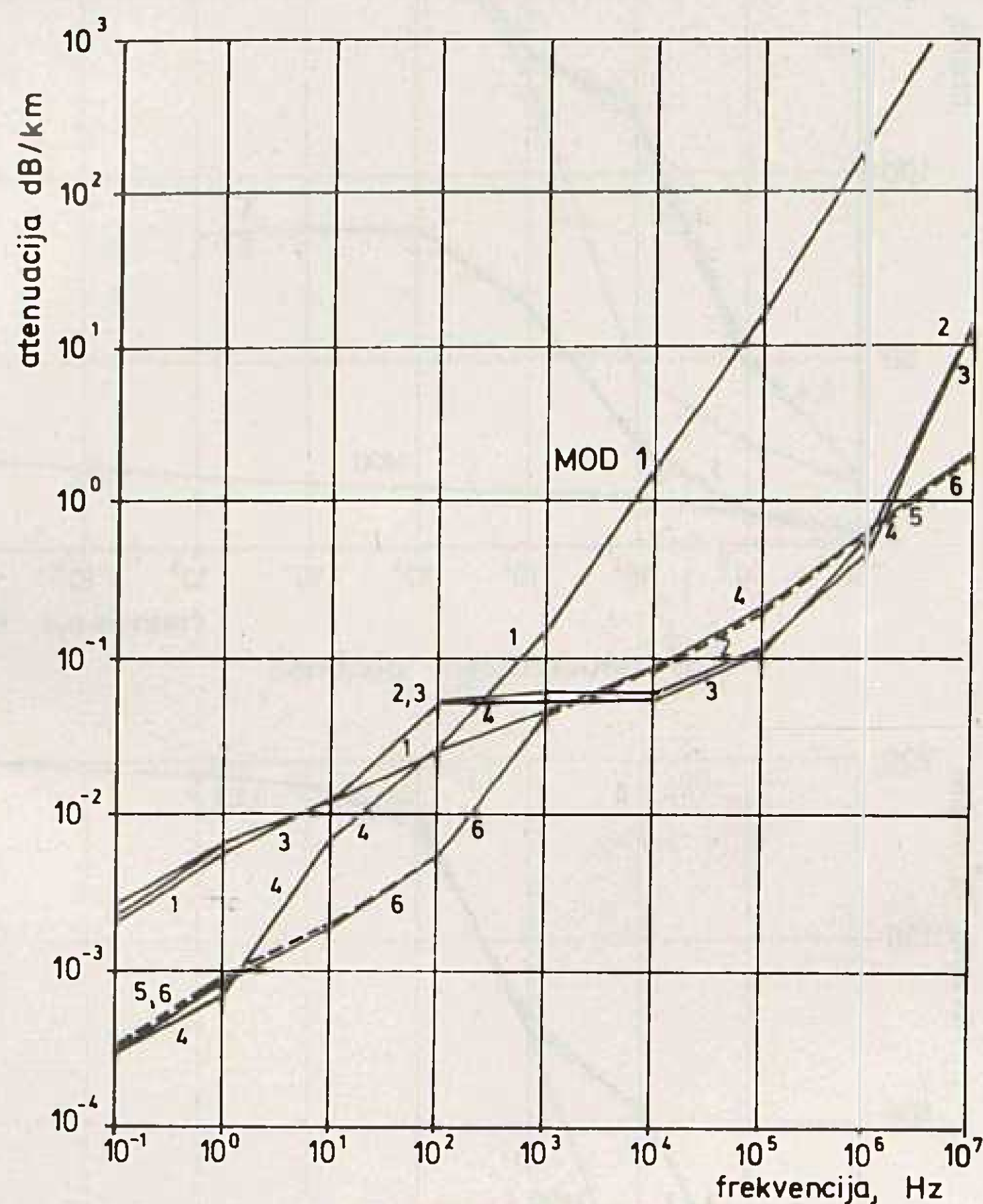
Slika 2. Modalni step-odzivi valne deformacije na udaljenosti 30 km

S prethodne je slike sasvim očito da su prigušenje i retardacija putnog vala na kabelu znatno veći od onih na nadzemnom vodu. Vrijeme putovanja putnog vala zemnog moda (mod 1) kabela je oko 2 ms, dok je za slučaj nadzemnog voda to vrijeme samo 0.1 ms. Prema tome, vrijeme putovanja zemnog moda kabela je 20 puta veće nego u slučaju korespondentnog nadzemnog voda. Posljedica te pojave jest nemogućnost dobivanja step-odziva ili impulsnog odziva valne deformacije na isti način kao u slučaju nadzemnog voda. Naime, step-odziv ili impulsnodziv određuje se korištenjem numeričke diskretne Fourierove ili Laplaceove transformacije s jednako razdvojenim uzorcima. Budući da je retardacija velika, treba se pažljivo odabrati vremenski korak  $\Delta t$ , frekvencijski korak  $\Delta f$ , broj frekvencijskih uzoraka  $N$  i vremenski pomak  $\tau$  (vremensko zakašnjenje) u inverznoj transformaciji. Ako oni nisu odgovarajući, ne može se dobiti step-odziv ili impulsnodziv. Općenito se zahtijeva da su  $\Delta t$  i  $\tau$  oko 10 puta veći u slučaju zemnog povratnog moda nego u slučaju koaksijalnog moda (modovi 4 do 6). Najbolji je način izbjegavanja tih poteškoća usvajanje Fourierove ili Laplaceove transformacije s eksponencijalnom raspodjelom uzoraka jer se tako pokriva veoma široko područje frekvencije i vremena [9].

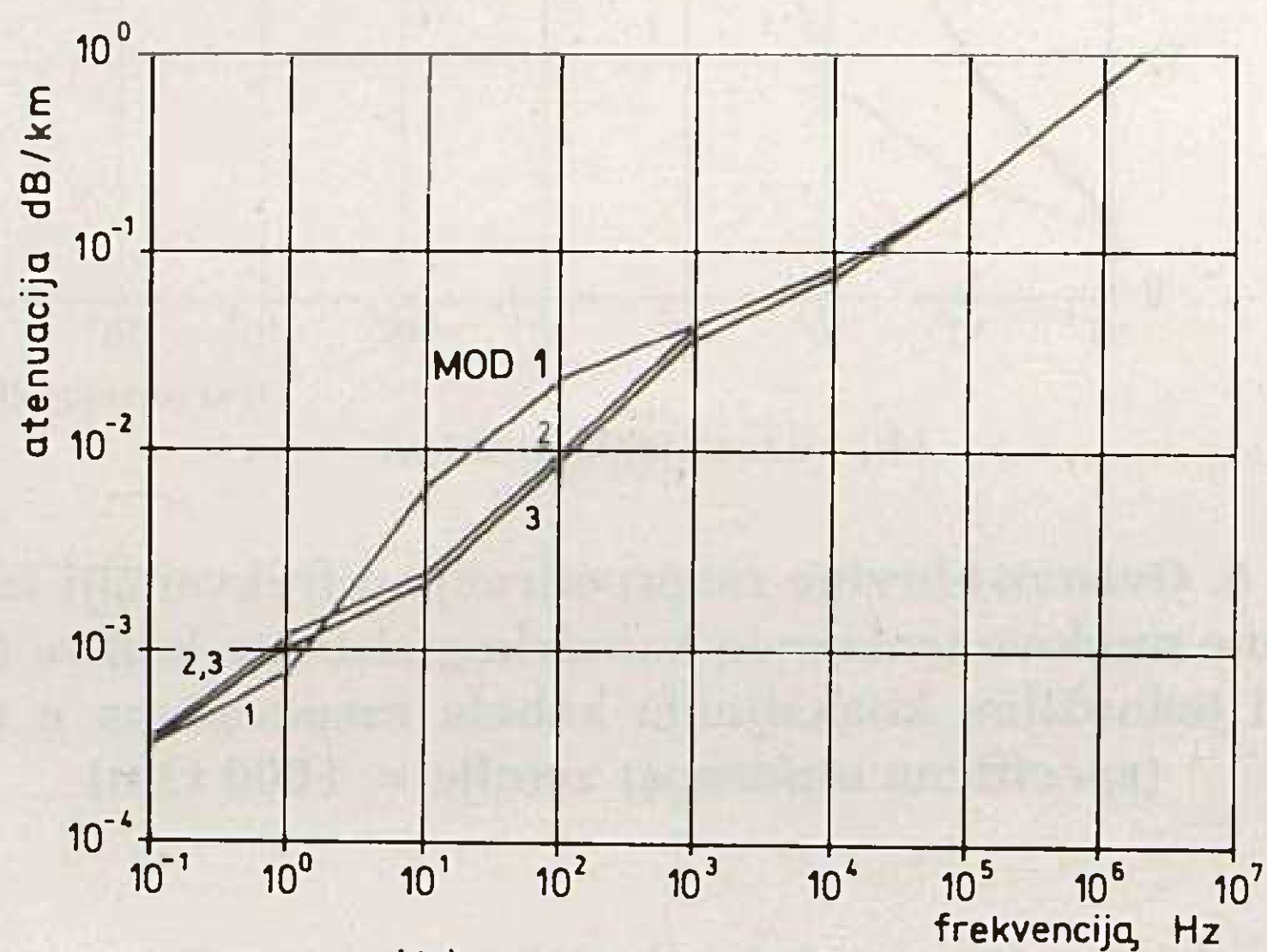
Drugi je problem konvolucija u realnom vremenu. Budući da je valna deformacija zemnog povratnog moda znatno veća od deformacije drugih modova, konvolucija se ne može izvesti s jednakim vremenskim korakom i brojem uzoraka ako se zahtijeva djelotvorno korištenje računala (kraće vrijeme računanja i manje zauzimanje memorije). Ta se poteškoća najčešće zaobilazi usvajanjem rekurzivne konvolucije; takav je pristup svojstven većini modela za uključivanje frekventne ovisnosti parametara.

Ako se promatraju samo prijelazne pojave u jezgri, pri čemu su plašt ili cijev kruto uzemljeni, proraču-

navanje prijelaznih pojava jednostavno se obavlja isto kao kod nadzemnih vodova. Tada su izbjegnute navedene poteškoće.



(a) neuzemljeni plaševi



(b) uzemljeni plaševi

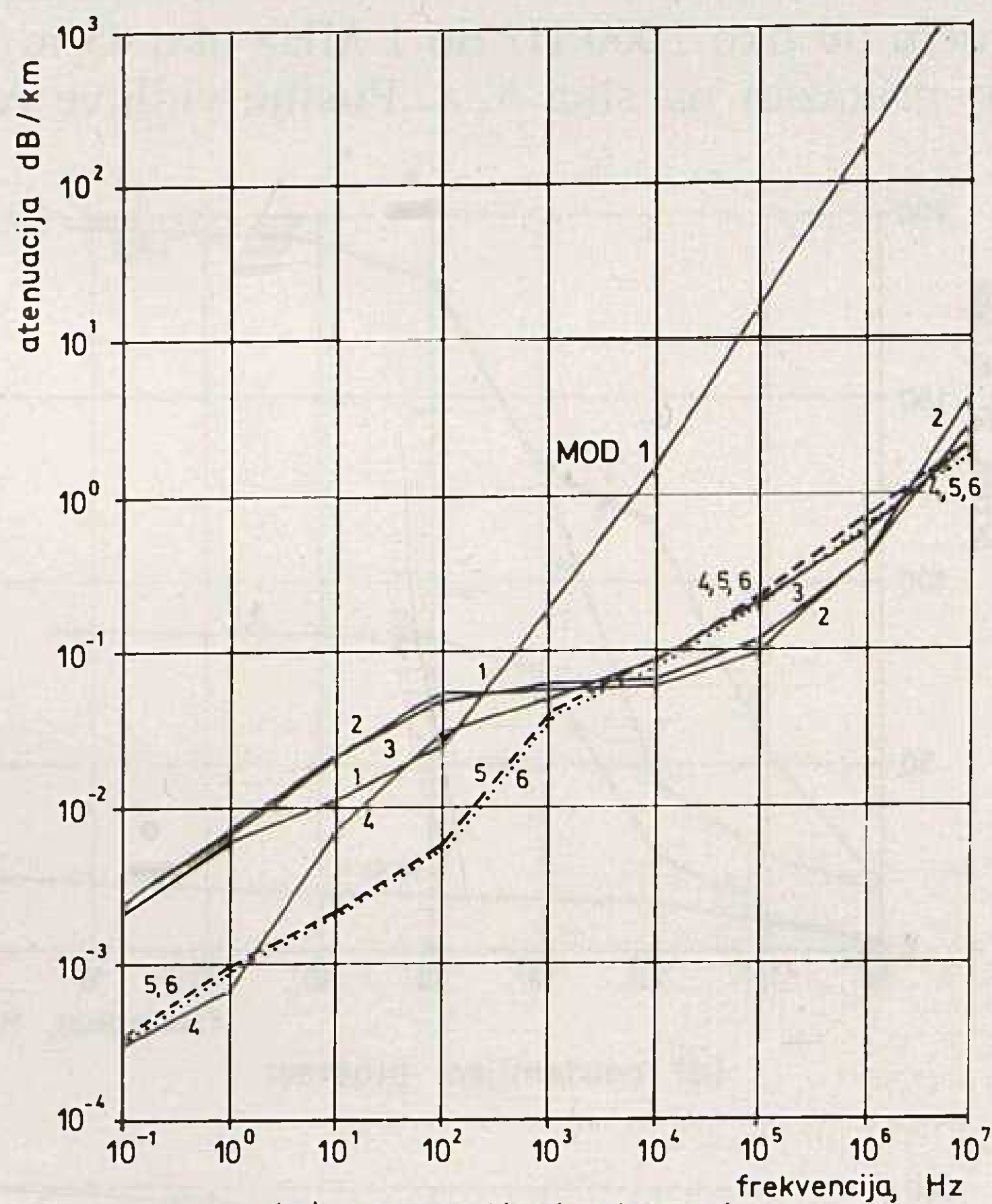
**Slika 3. Ovisnost atenuacije o frekvenciji za pojedinačne modove trofaznog kabelskog sistema koji se sastoji od tri jednožilna kabela raspoređena u trokut (specifična otpornost zemlje = 100  $\Omega$ m)**

Na slici 3. a i b prikazana je promjena atenuacije za pojedinačne modove s frekvencijom. Slika 3 a prikazuje slučaj kada su plaševi neuzemljeni a slika 3 b, slučaj istog kabela kada su svi plaševi kruto uzemljeni. Oba su proračuna izvršena za specifičnu otpornost zemlje 100  $\Omega$ m (Ti prikazi, kao i svi koji slijede, osnivaju se na proračunima koji su izvršeni za 110 kV kabelski sistem koji se sastoji od tri jednožilna koaksijalna kabela domaće proizvodnje raspoređena u trokut. Opis toga sistema dan je u četvrtom odjeljku prvog dijela rada pod [5].) Slike 4. a i b prikazuju promjenu atenuacije s frekvencijom za pojedinačne modove istog trofaznog kabeskog sistema, s razlikom u specifičnoj otpornosti zemlje u koju je sistem položen, koja je sada 1000  $\Omega$ m.

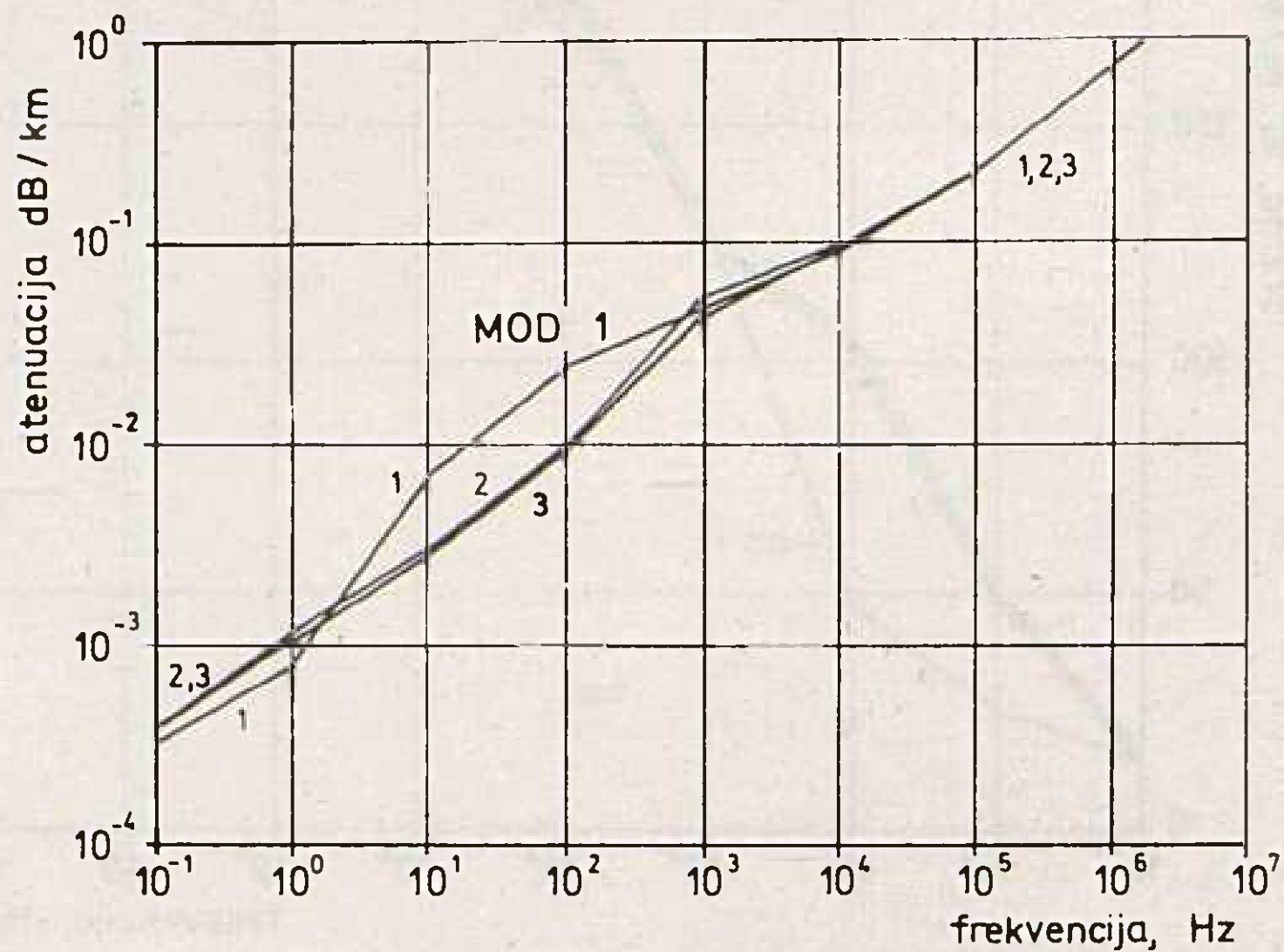
Kako je vidljivo sa slike 3. a, atenuacija moda 1 znatno je izrazitija. Ona se počinje bitno razlikovati od atenuacije od svih ostalih modova u području frek-

vencije između 100 i 1000 Hz. Također se opaža primjetno razilaženje između modova 5 i 6, na jednoj strani, i moda 4, na drugoj strani, sve do frekvencije od 1000 Hz. Ta tri moda nazivamo koaksijalnim modovima. Već ovdje zapravo dolazimo do uvida u fizikalnu pojavu koja ima bitno značenje za razmatranje i proračunavanje prijelaznih pojava u kabelima. U nekim područjima frekvencije prestaje zakriljivanje električnog polja jezgre plaštom te prestaje valjanost modalnog razdvajanja; veličine ponovo postaju međusobno spregnute, kao što ćemo vidjeti u sljedećim razmatranjima. S iste slike vidi se da se atenuacija zemnog povratnog moda mijenja od 0.01 dB/km za frekvenciju od 10 Hz do 400 dB/km za frekvenciju od 1 MHz.

U promatranom kabelskom sistemu postoji 6 modova rasprostiranja. Mod 1 je, kao što smo rekli, zemni povratni mod i njegova je atenuacija veoma velika. Zanimarimo li plaštevne, vlastiti vektori toga moda dani su približno sa  $[1/3 \ 1/3 \ 1/3]$ . Očito je da taj skup vlastitih vektora odgovara zemnom povratnom



(a) neuzemljeni plaševi

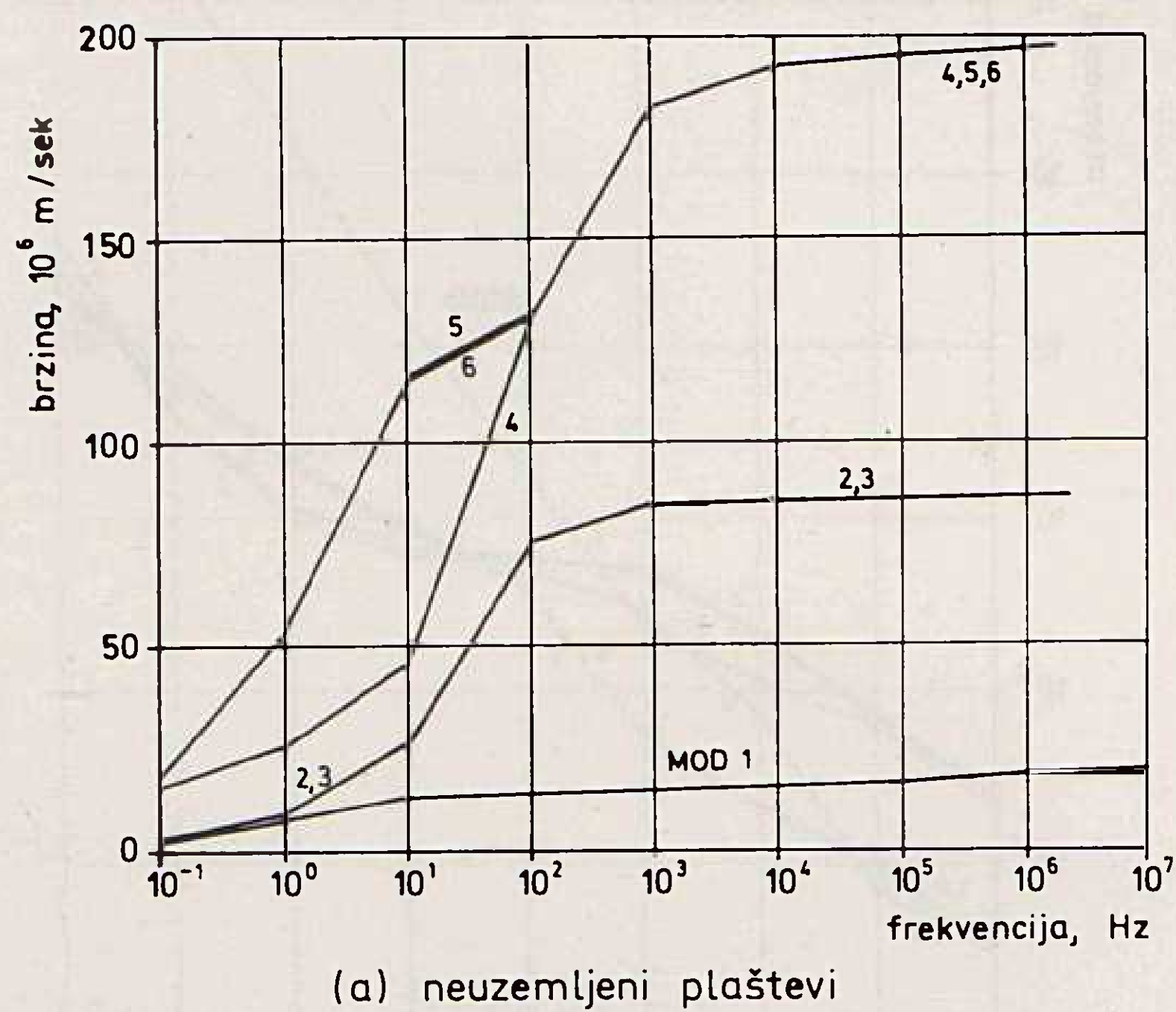


(b) uzemljeni plaševi

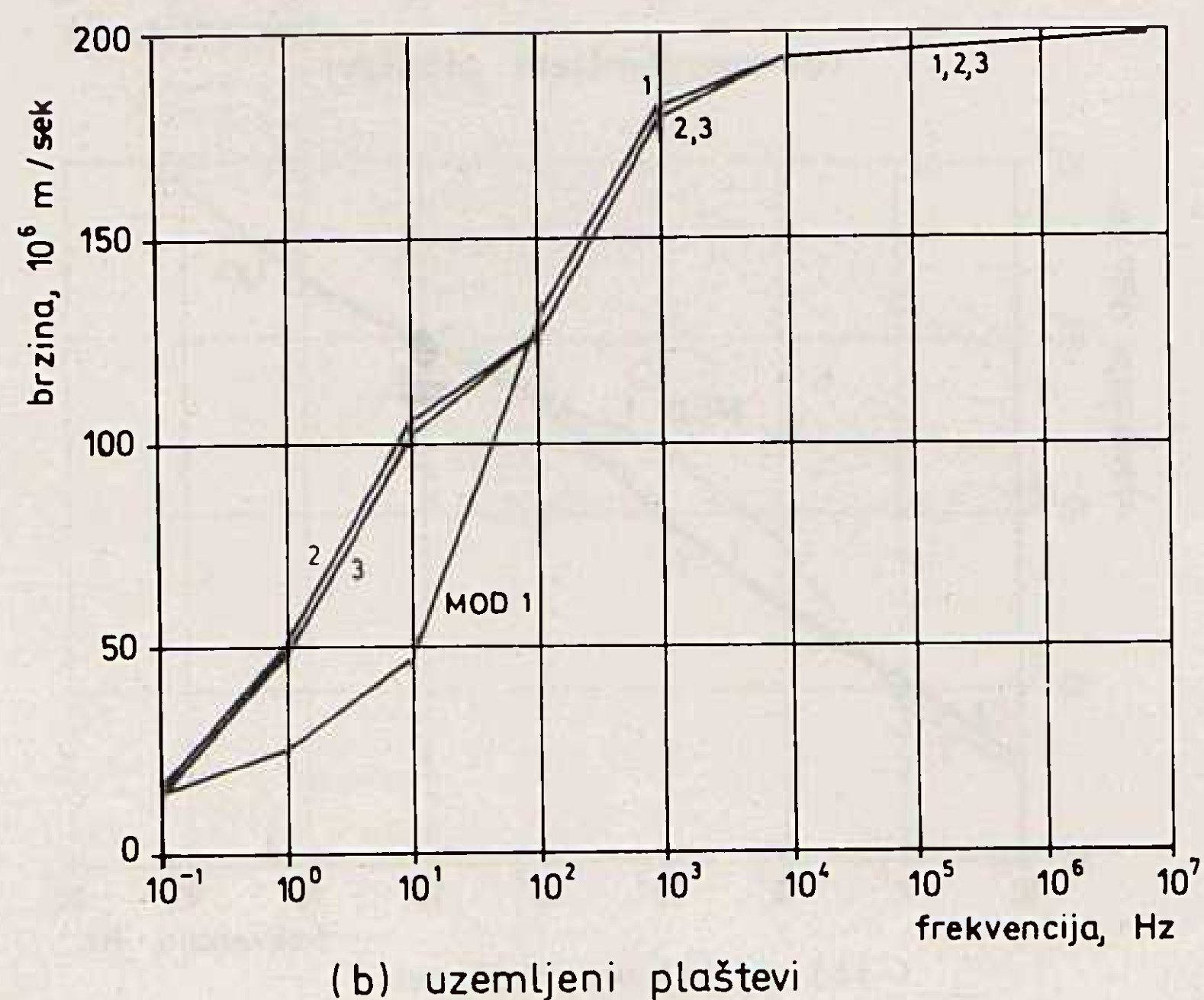
**Slika 4. Ovisnost atenuacije o frekvenciji za pojedinačne modove trofaznog kabelskog sistema koji se sastoji od tri jednožilna koaksijalna kabela raspoređena u trokut (specifična otpornost zemlje 1000  $\Omega$ m)**

modu nadzemnog voda. Modovi 2 i 3 u osnovi su modovi rasprostiranja između plašteva triju kabela koji čine trofazni kableski sistem. Zanemarujući jezgru, vlastiti vektori tih modova dani su približno s  $[-1/2 \ 0 \ 1/2]$  i  $[-1/3 \ 2/3 \ -1/3]$ . Modovi 4 do 6 su u osnovi koaksijalni modovi rasprostiranja između jezgre i plašta svakog kabela. S promatranih slika jasno se može vidjeti da karakteristike tih modova nisu jasne za nisku frekvenciju. Atenuacije tih modova gotovo su jednake u promatranom frekvencijskom području.

U vezi s brzinom rasprostiranja za pojedine modove, kako se to vidi iz slika 5. a i b, koje odgovaraju istim uvjetima kao za slike 3. a i b i sa slika 6. a i b, koje odgovaraju istim uvjetima kao za slike 4. a i b, brzina moda 1 gotovo je jednaka preko cijelog frekvencijskog područja. Njezina je promjena, točno rečeno, od oko  $10 \text{ m}/\mu\text{s}$  za  $1 \text{ Hz}$  do  $20 \text{ m}/\mu\text{s}$  za  $1 \text{ MHz}$ . Brzine modova 2 i 3 međusobno su jednake preko cijelog frekvencijskog područja; te brzine rastu s promjenom frekvencije i svoju maksimalnu vrijednost dosežu na oko  $1000 \text{ Hz}$ ; ta je brzina u frekvencijskom području od oko  $1000 \text{ Hz}$  do  $1 \text{ MHz}$  oko  $85 \text{ m}/\mu\text{s}$  za slučaj prikazan na slici 5. a. Poslije vidljive razlike

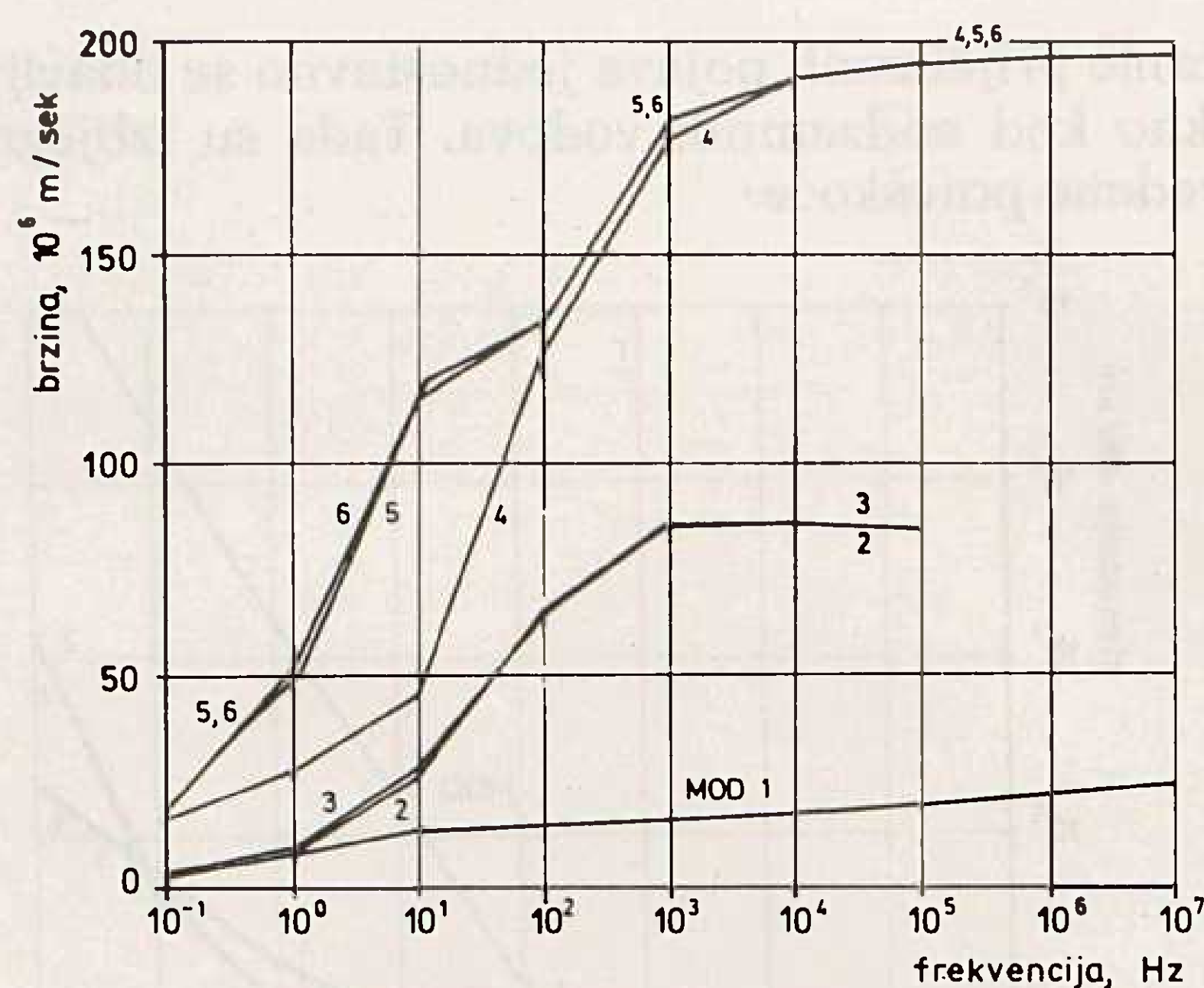


(a) neuzemljeni plaštevi

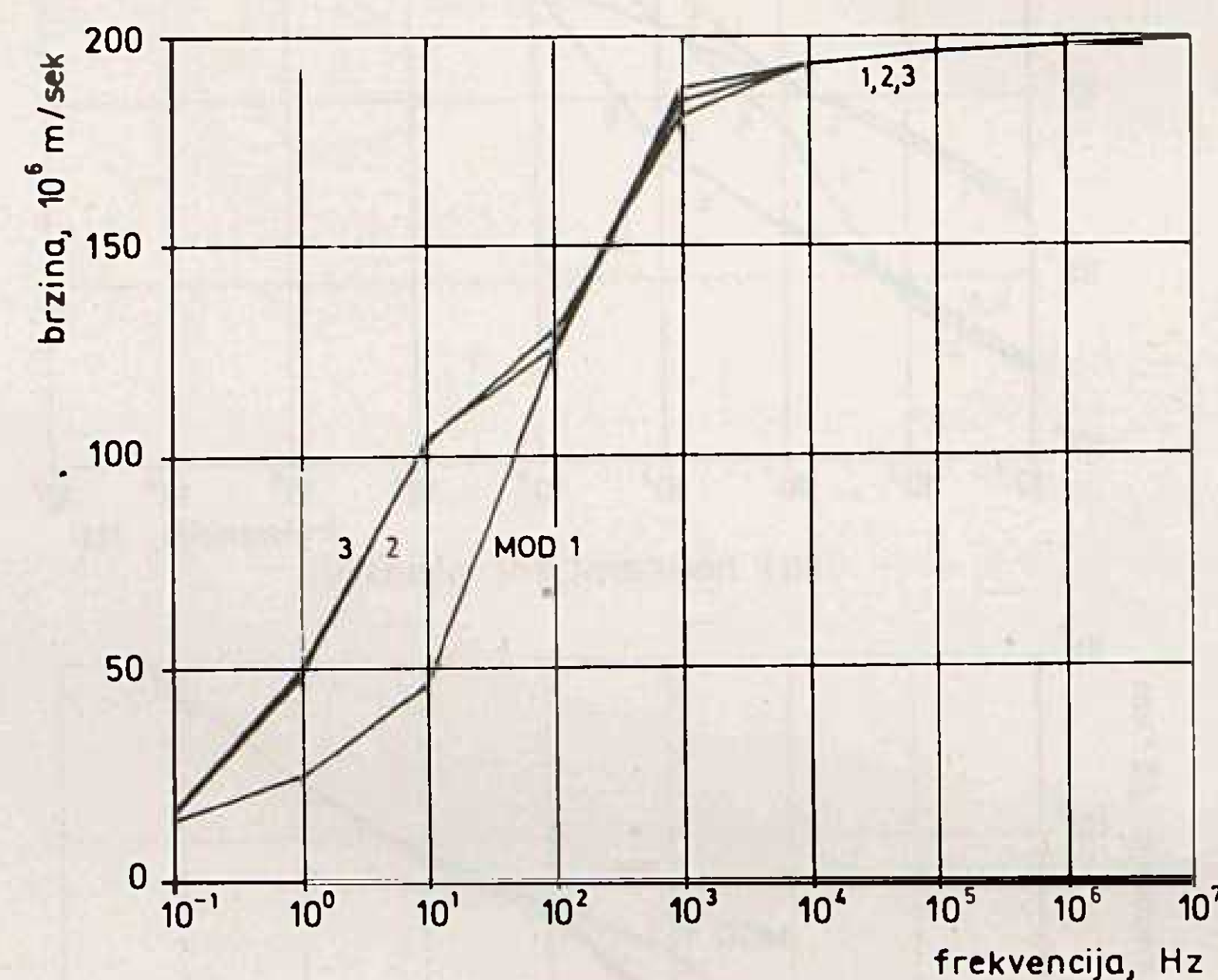


(b) uzemljeni plaštevi

**Slika 5.** Ovisnost brzine rasprostiranja o frekvenciji za pojedinačne modove trofaznog kableskog sistema koji se sastoji od tri jednožilna kabela raspoređena u trokut (specifična otpornost zemlje =  $100 \ \Omega\text{m}$ )



(a) neuzemljeni plaštevi



(b) uzemljeni plaštevi

**Slika 6.** Ovisnost brzine rasprostiranja o frekvenciji za pojedinačne modove trofaznog kableskog sistema koji se sastoji od tri jednožilna koaksijalna kabela raspoređena u trokut (specifična otpornost zemlje =  $1000 \ \Omega\text{m}$ )

među brzinama rasprostiranja modova 5 i 6, na jednoj strani, i moda 4, na drugoj strani, njihove brzine postaju jednake na oko  $100 \text{ Hz}$  i dosežu maksimalnu vrijednost na oko  $10 \text{ kHz}$  koja je stalna preko sljedećeg dijela promatranog frekvencijskog područja; ta je brzina, kako se vidi, sa slike 5. a, oko  $200 \text{ m}/\mu\text{s}$ . Kada se zanemare plaštevi svih triju jednožilnih kabela, odnosno kada su oni kruto uzemljeni, karakteristike rasprostiranja vala mogu se prikazati pomoću tri moda; promjena brzine rasprostiranja za tri pojedinačna moda s promjenom frekvencije prikazana je na slici 5. b, za slučaj kada je specifična otpornost zemlje  $100 \ \Omega\text{m}$ , i na slici 6. b, kada je specifična otpornost zemlje  $1000 \ \Omega\text{m}$ .

U ovome razmatranju, kao što se vidi, promatrani su dvojni slučajevi: (i) specifična otpornost zemlje je  $100 \ \Omega\text{m}$ , neuzemljeni i uzemljeni plaštevi, i (ii) specifična otpornost zemlje je  $1000 \ \Omega\text{m}$ , neuzemljeni i uzemljeni plaštevi. Dvojnost neuzemljeni i uzemljeni plaštevi odabrana je prvenstveno radi prikaza promjene modalne strukture valne pojave ovisno o broju vodiča koji čine kableski sistem. Kao što je pokazano u prvom dijelu rada, u slučaju neuzemljenih plašteva, dimenzije matrica  $[Z]$  i  $[Y]$  su  $6 \times 6$ , dok te



iste matrice u slučaju uzemljenih plašteva imaju dimenzije  $3 \times 3$ . (Naprimjer, u slučaju kablenskog sistema koji se sastoji od tri jednožilna koaksijalna kabela koji osim jezgre i plašta imaju i armaturu, odgovarajuće bi matrice imale dimenzije  $9 \times 9$ , to jest fazne veličine bile bi razdvojene u devet modova rasprostiranja u modalnoj domeni.) Uz tu dvojnost uzete su i dvije različite specifične otpornosti tla kako bismo **ukazali** na osjetljivost karakteristika rasprostiranja elektromagnetskog vala u podzemnim kablenskim sistemima na specifičnu otpornost tla u koje su kabeli položeni. Naglašavamo **ukazali**, budući da je osnovna svrha ovog rada cjelovito prikazati uzajamnost parametara podzemnih kabela s frekvencijom, što, razumljivo, onemogućuje prikazivanje brojnih važnih i zanimljivih pojedinosti koje smo spoznali u našem istraživanju. (O utjecaju rasporeda pojedinih kabela i specifične otpornosti zemlje raspravljali smo na drugome mjestu [10].)

S obzirom na već spomenutu »zamašnjenu« sliku modalnih uzajamnosti za niže frekvencije, u tekstu ćemo se više baviti područjima viših frekvencija koja su posebno važna sa stajališta proračunavanja prijelaznih elektromagnetskih pojava. Uspoređivanjem slika 5. a i 6. a, koje odgovaraju specifičnim otpornostima zemlje  $100 \Omega\text{m}$  i  $1000 \Omega\text{m}$ , uočavamo da je spomenuti lagani porast brzine s frekvencijom za mod 1 nešto sporiji za specifičnu otpornost zemlje  $1000 \Omega\text{m}$  nego za slučaj specifične otpornosti zemlje  $100 \Omega\text{m}$ . Također se opaža nešto veće frekvencijsko područje u kome istrajava spomenuta razlika između brzina rasprostiranja za modove 5 i 6, na jednoj strani, i moda 4, na drugoj strani, u slučaju niže specifične otpornosti zemlje. Slična se pojava uočava u oba slučaja: i kada su plaštevci neuzemljeni i kada su uzemljeni. Međutim, taj utjecaj zemlje na brzine rasprostiranja pojedinačnih modova prilično je malen. To u cjelovitom promatranju valnih pojava u podzemnim kablenskim sistemima nikako ne znači da se taj utjecaj može zanemariti, kako ćemo to vidjeti u razmatranju promjene drugih faktora rasprostiranja vala. Već se u promatranju krivulja koje prikazuju promjenu atenuacije s frekvencijom (slike 3. i 4) uočava veća razlika između atenuacije za pojedinačne modove za te dvije specifične otpornosti zemlje. Točke presijecanja krivulja za pojedine modove su, kako se to vidi, unekoliko pomaknute i razlike su u nekim frekvencijskim područjima naglašenije. Te će se razlike jasnije uočiti provedemo li proračunavanje oblika valova za pojedinačne modove na kraju razmjerno dugog kabela na čiji je početak narinut step-impuls. Razlike između dvaju slučajeva specifičnih otpornosti bit će vidljive u deformacijama pojedinačnih modova nakon rasprostiranja uzduž promatranog kablenskog sistema.

### 3. FREKVENTNA OVISNOST KARAKTERISTIČNE IMPEDANCIJE

Stvarna karakteristična impedancija trofaznog kablenskog sistema, sačinjenog od jednožilnih kabela

(tip jednožilnog kabela je prikazan na slikama 3, 4 i 7 [5]) dana je u sljedećem matricnom obliku:

$$[Z_c] = \begin{bmatrix} [Z_{cc}] & [Z_{cs}] \\ [Z_{cs}] & [Z_{ss}] \end{bmatrix}, \quad (1)$$

gdje su

$$\begin{aligned} [Z_{cc}] &= \text{impedancija između jezgara triju faza,} \\ [Z_{ss}] &= \text{impedancija između plašteva triju faza,} \\ [Z_{cs}] &= \text{impedancija između jezgara i plašteva.} \end{aligned}$$

Svaka podmatrica matrice u jednadžbi (1) izražava se pomoću

$$[Z_{jk}] = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ab} & Z_{bb} & Z_{ab} \\ Z_{ac} & Z_{ab} & Z_{aa} \end{bmatrix}_{jk} \quad ; j, k = c, s \quad (2)$$

Općenito,  $Z_{aa} \cong Z_{bb}$ , a u slučaju kabela s trokutnom konfiguracijom,  $Z_{ab} \cong Z_{ac}$ . Na višim frekvencijama,  $Z_{ss} \cong Z_{cs}$ ,  $(Z_{ab})_{ss} \cong (Z_{ab})_{cs}$ .

Iz provedenih proračuna za stvarnu karakterističnu impedanciju primijećeno je da se vlastita impedancija jezgre  $(Z_{aa})_{cc}$ , za slučaj specifične otpornosti zemlje  $100 \Omega\text{m}$ , mijenja od  $89.78630 \Omega$  za frekvenciju  $10 \text{ Hz}$  na  $54.37976 \Omega$  za frekvenciju od  $1 \text{ MHz}$ , kako se to vidi iz tablice 1. To znači da će se za taj porast frekvencije vlastita impedancija jezgre (realni dio) smanjiti za  $39.14\%$ . Kada se uzme specifična otpornost zemlje jednaka  $1000 \Omega\text{m}$ , ta će se vrijednost promijeniti od  $91.86335$  za frekvenciju  $10 \text{ Hz}$  na  $56.41919 \Omega$  za frekvenciju  $1 \text{ MHz}$ , što predstavlja smanjenje od  $38.59\%$ , kako se to može vidjeti iz tablice 2.

Međusobna impedancija jezgre  $(Z_{ab})_{cc}$ , kako se to vidi iz tablice 1, za slučaj specifične otpornosti zemlje  $100 \Omega\text{m}$ , promijenit će se od  $38.82823$  za frekvenciju  $10 \text{ Hz}$  na  $15.39477$  za frekvenciju  $1 \text{ MHz}$ , što čini smanjenje za  $60.35\%$ . Ta će se ista vrijednost u slučaju specifične otpornosti zemlje  $1000 \Omega\text{m}$ , kako se vidi iz tablice 2, promijeniti od  $40.90295 \Omega$  za frekvenciju od  $10 \text{ Hz}$  na  $17.49177 \Omega$  za frekvenciju  $1 \text{ MHz}$ , što je smanjenje za  $57.24\%$ .

Promjena vlastite impedancije plašta  $(Z_{aa})$  za slučaj specifične otpornosti zemlje  $100 \Omega\text{m}$ , kao što je vidljivo iz tablice 1, promijenit će se od  $59.61563$  za frekvenciju  $10 \text{ Hz}$  na  $30.20055 \Omega$  za frekvenciju  $1 \text{ MHz}$ , što čini smanjenje za  $49.33\%$ . U slučaju specifičnog otpora zemlje  $1000 \Omega\text{m}$ , kako se vidi iz tablice 2, ta će se vrijednost promijeniti od  $61.06806$  za frekvenciju  $10 \text{ Hz}$  na  $32.23998 \Omega$  za frekvenciju  $1 \text{ MHz}$ , što čini smanjenje za  $47.21\%$ .

Tablica 1. Stvarna karakteristična impedancija (realni dio, za uvjete sa slike 3a)

frekvencija (Hz)	$(Z_{aa})_{cc}$ ( $\Omega$ )	$(Z_{ab})_{cc}$ ( $\Omega$ )	$(Z_{ac})_{cc}$ ( $\Omega$ )	$(Z_{aa})_{ss}$ ( $\Omega$ )
1 E0	146.029316	35.27110	35.23559	137.10404
1 E1	89.78630	38.82823	38.77042	59.61563
1 E2	70.06752	25.27147	25.05309	40.32498
1 E3	61.94531	21.38925	21.31168	36.21174
1 E4	58.89976	19.47041	19.38503	34.24975
1 E5	56.58206	17.47791	17.39668	32.25244
1 E6	54.37976	15.39477	15.34309	30.20055
1 E7	51.64039	12.80937	12.68246	27.50261

**Tablica 2. Stvarna karakteristična impedancija (realni dio, za uvjete sa slike 4a)**

frekvencija (Hz)	$(Z_{aa})_{cc}$ ( $\Omega$ )	$(Z_{ab})_{cc}$ ( $\Omega$ )	$(Z_{ac})_{cc}$ ( $\Omega$ )	$(Z_{aa})_{ss}$ ( $\Omega$ )
1 E0	148.90315	38.13046	38.10223	137.84040
1 E1	91.86335	40.90295	40.84659	61.06806
1 E2	71.68334	26.92396	26.86227	42.10782
1 E3	63.73982	23.18424	23.10635	38.00434
1 E4	60.79978	21.37237	21.28552	36.15010
1 E5	58.57346	19.47333	19.38807	34.24403
1 E6	56.41919	17.49177	17.41049	32.23998
1 E7	54.33422	15.39606	15.34441	30.19643

Iz prethodnih rezultata vidimo da će smanjenje promatranih elemenata matrice karakteristične impedancije s porastom frekvencije biti manje u slučajevima s većom specifičnom otpornošću zemlje. Međutim, taj je utjecaj, kako dani rezultati jasno pokazuju, razmjerno mali.

Općenito se iz prethodnih izraza može zaključiti da je promjena karakteristične impedancije kod podzemnih kabela znatno izrazitija nego kod nadzemnih vodova.

Prethodna se razmatranja odnose na stvarne fazne komponente. Kao što je već naglašeno u prethodnim dijelovima ove studije, proračunavanje prijelaznih pojava u vremenskoj domeni na nadzemnim vodovima i podzemnim kabelima izvodi se u modalnoj domeni, jer je potrebno znatno kraće vrijeme proračuna za uključivanje utjecaja frekventne ovisnosti parametara korištenja konvolucije u realnom vremenu. Frekventne ovisnosti modalnih karakterističnih impedancija prikazane su na slikama 7 do 10. Slike 7. a i b prikazuju promjenu modalnih karakterističnih impedancija ovisno o frekvenciji za slučajeve kada su svi plaševi istraživanog trofaznog kablenskog sistema neuzemljeni odnosno kruto uzemljeni. Pritom su svi proračuni izvršeni uzimajući da je specifična otpornost zemlje jednaka  $100 \Omega\text{m}$ .

Slike 8. a i b prikazuju jednake ovisnosti karakterističnih modalnih impedancija za pojedinačne modove kao i slike 7. a i b samo što je proračun izvršen uzimajući da je specifična otpornost zemlje  $1000 \Omega\text{m}$ . Na slikama 9. i 10. prikazana je ovisnost imaginarnog dijela modalne karakteristične impedancije o frekvenciji za slučajeve koji odgovaraju onima sa slika 3.a i 4.b.

Na slikama 11. i 12. prikazana je frekventna ovisnost modalne karakteristične admitancije za pojedinačne modove za uvjete koji odgovaraju slikama 3. i 4. Dani su prikazi, kao i prije, za primjere kada su plaševi neuzemljeni i kada su oni uzemljeni. Ti se prikazi odnose na frekventnu ovisnost realnog dijela modalne karakteristične admitancije, dok je na slikama 13. i 14. prikazana ovisnost imaginarnog dijela modalne karakteristične admitancije o frekvenciji za uvjete koji odgovaraju slikama 3.a i 4.b.

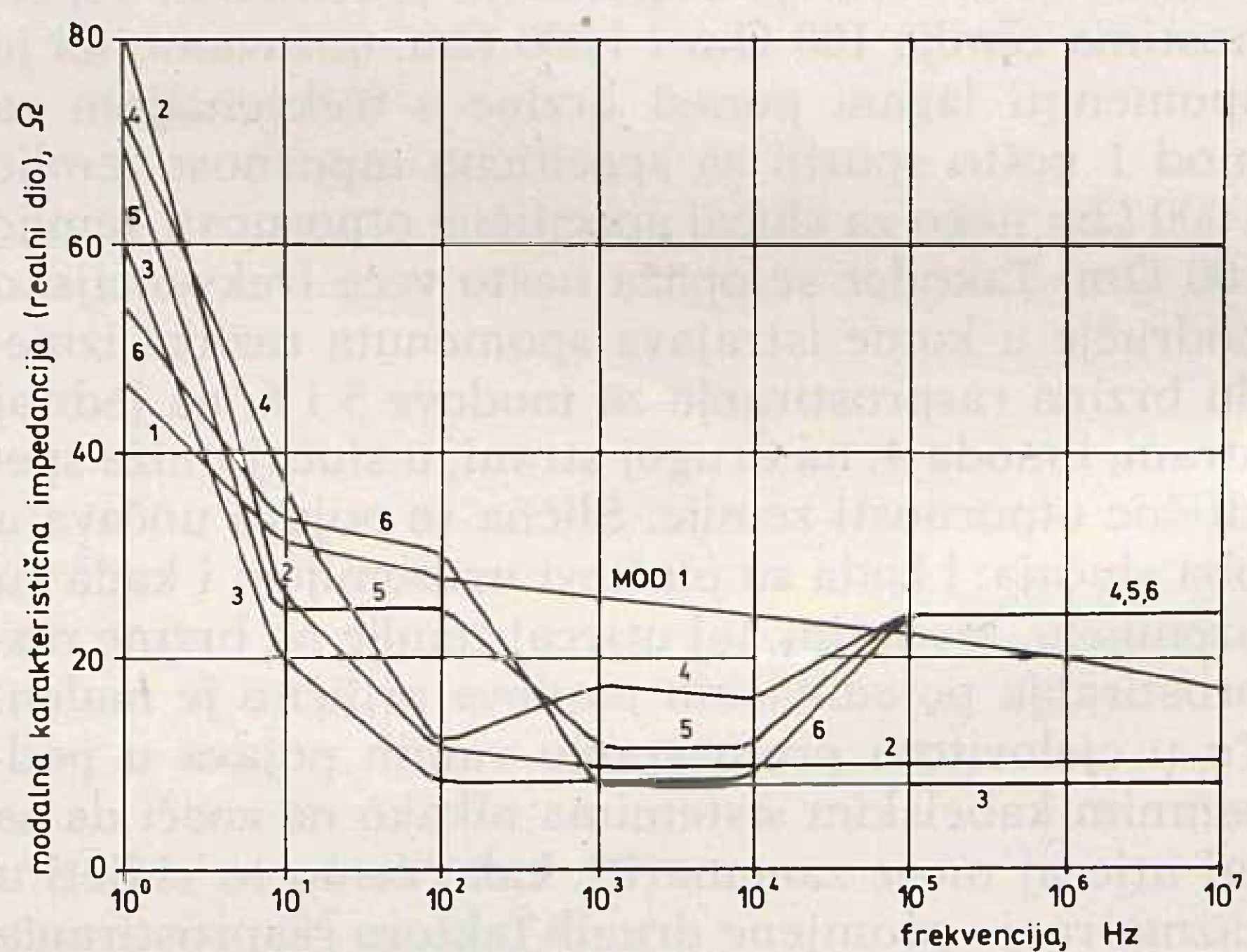
Ponovimo, ovaj rad je sažet prikaz opsežnog istraživanja, te su dani prikazi samo izbor koji će omogućiti stjecanje uvida i razumijevanje osnovnih pojava u vezi s rasprostiranjem vala u kablenskim sistemima, što nesumnjivo predstavlja važnu zadaću u suvremenom

proučavanju, građenju i razvijanju elektroenergetskog sistema.

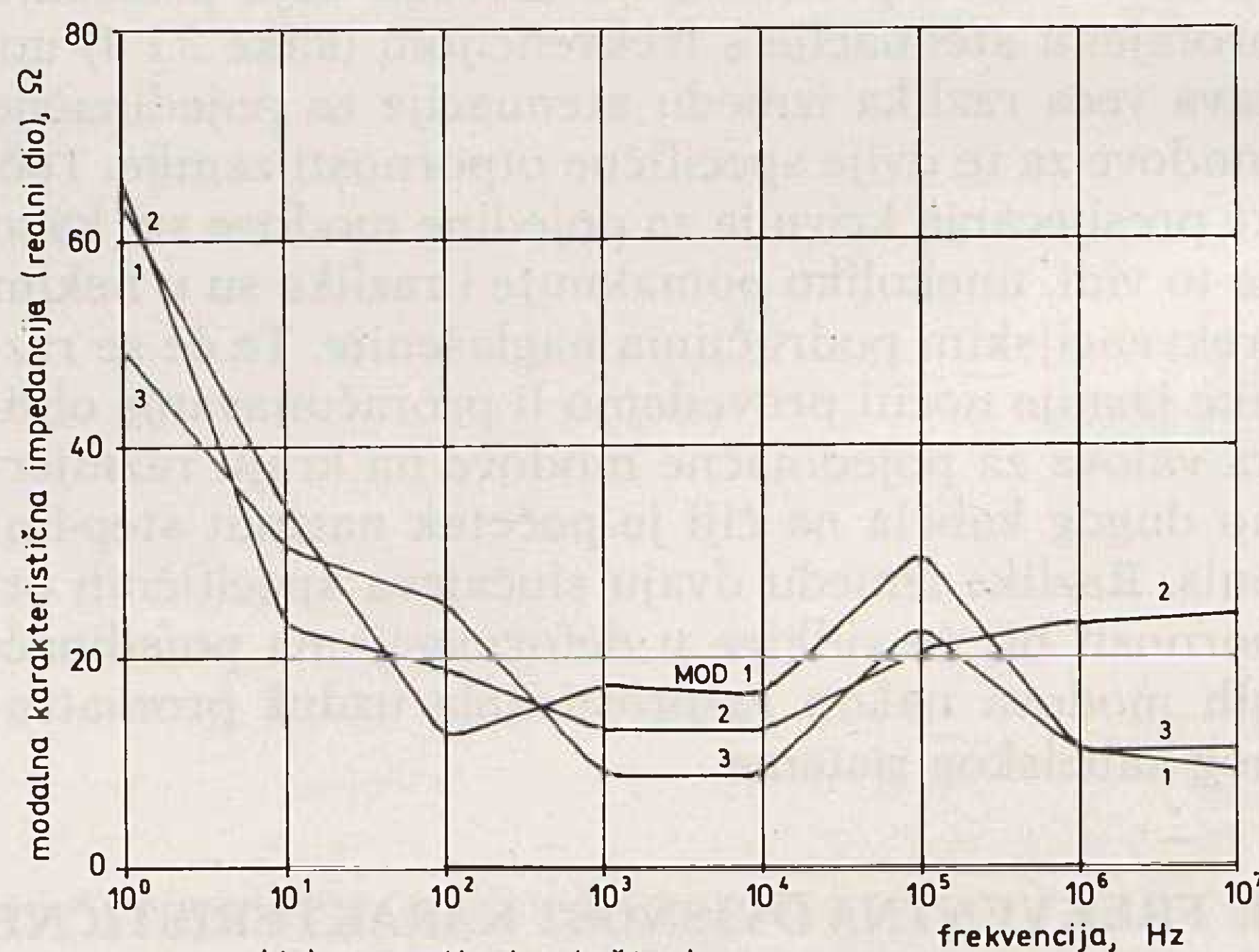
Sa slika 7.a i 8.a primjećuje se da su karakteristične impedancije modova 1 do 3, koji su zapravo zemni povratni mod i međuplaštni modovi, prilično ravni za frekvencije veće od  $100 \text{ Hz}$ , dok one modova 4 do 6, što odgovara koaksijalnim modovima za više frekvencije, pokazuju oscilatornu narav, to jest one se smanjuju sve do frekvencije oko  $1 \text{ kHz}$ , i postaju ravne do  $50 \text{ kHz}$ . Onda one rastu i postaju ponovo ravne za frekvencije veće od  $100 \text{ kHz}$ . Ta je karakteristika zbog činjenice da se modalna struktura, to jest transformaciona matrica mijenja s promjenom frekvencije.

Oscilatorna narav karakteristične impedancije primjećuje se kada je debljina plašta malena, a i njegova otpornost. U protivnom, takva se karakteristika ne pojavljuje, i karakteristična impedancija opada glatko kako frekvencija raste.

Veoma se često karakteristična impedancija pretpostavlja jednaka konstantnoj vrijednosti u proračunavanjima prijelaznih pojava. To je u redu ako su frekvencije prijelazne pojave u području gdje je karakteristična impedancija približno konstantna, naprim-



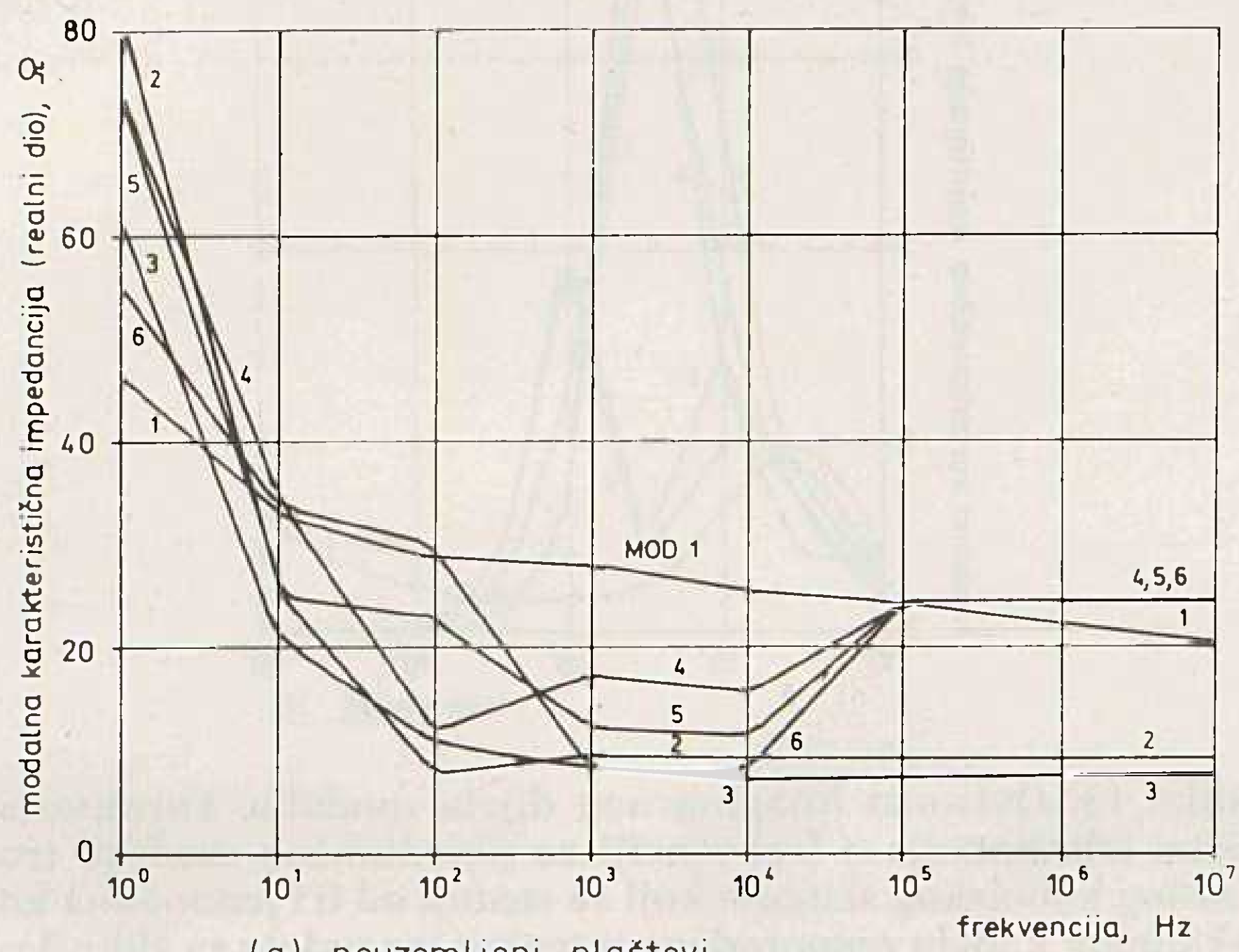
(a) neuzemljeni plaševi



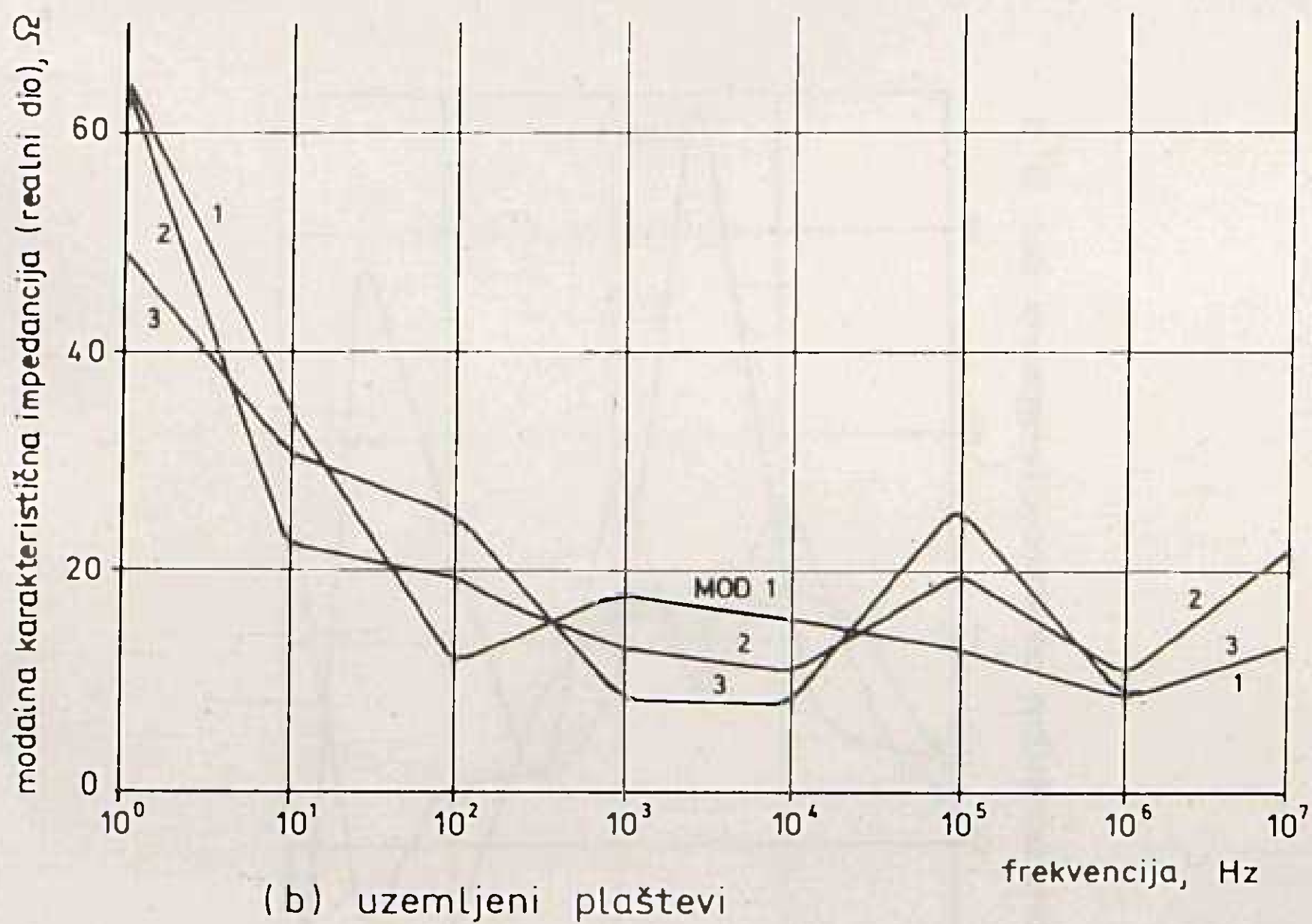
(b) uzemljeni plaševi

**Slika 7. Ovisnost realnog dijela modalne karakteristične impedancije za pojedinačne modove trofaznog kablenskog sistema koji se sastoji od tri jednožilna koaksijalna kabela raspoređena u trokut (specifična otpornost zemlje je  $100 \Omega\text{m}$ )**

jer u području frekvencije od 1 kHz do 50 kHz, za slike 7a do 8a. Ako frekvencije prijelazne pojave nisu u tome području, treba se uzeti u obzir frekventna ovisnost karakteristične impedancije da bi se dobili rezultati sa zadovoljavajućom točnošću.

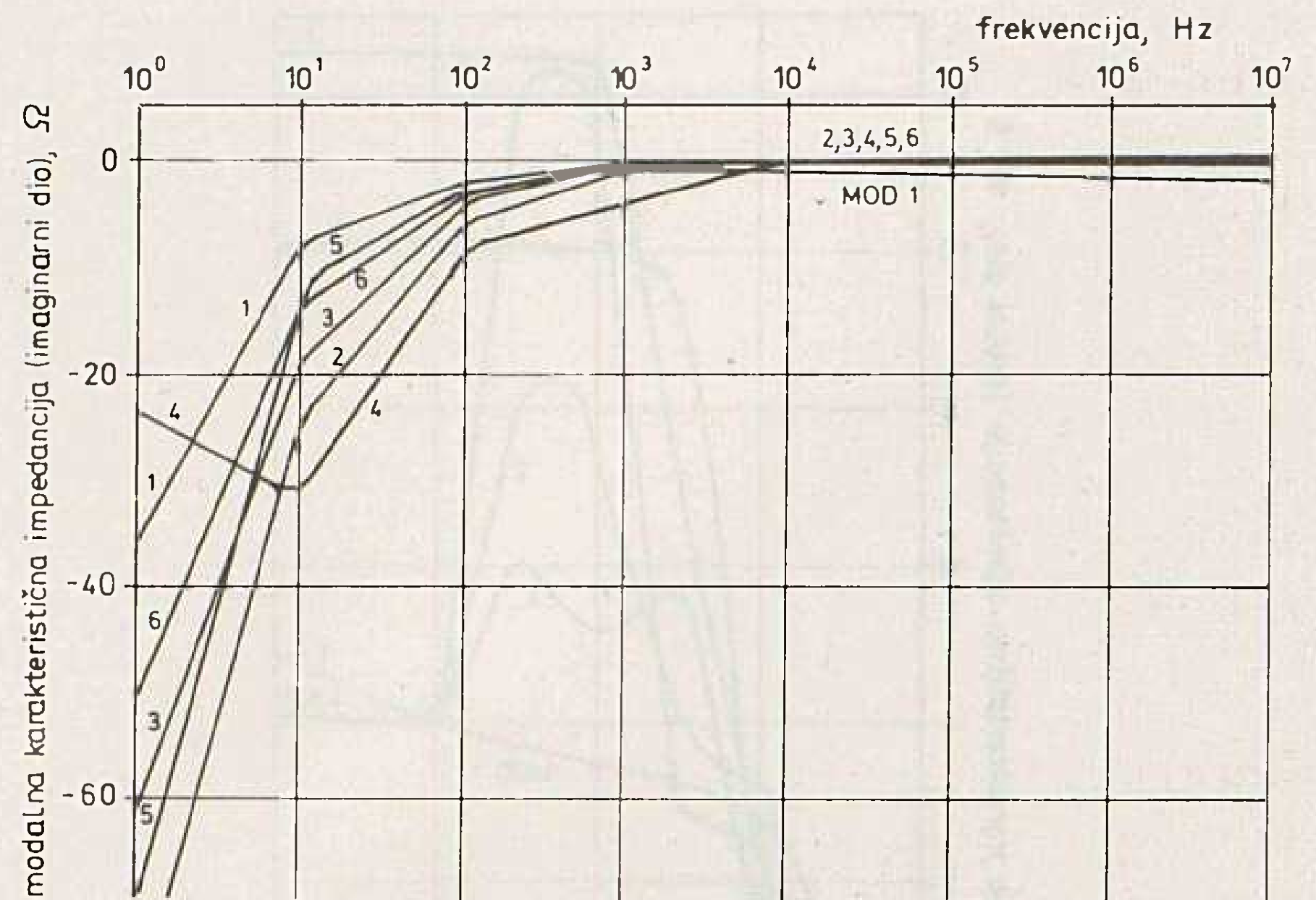


(a) neuzemljeni plaševi

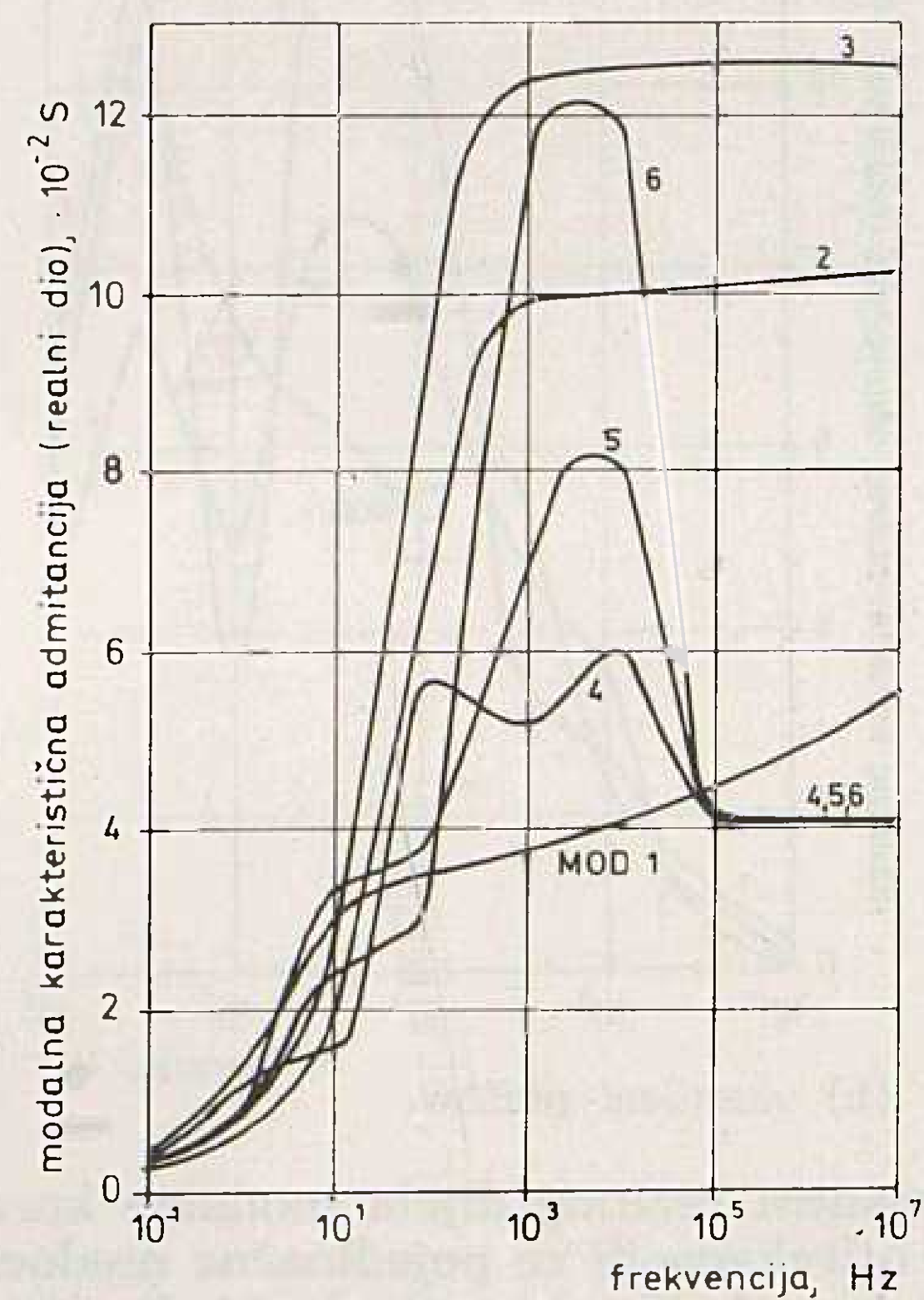


(b) uzemljeni plaševi

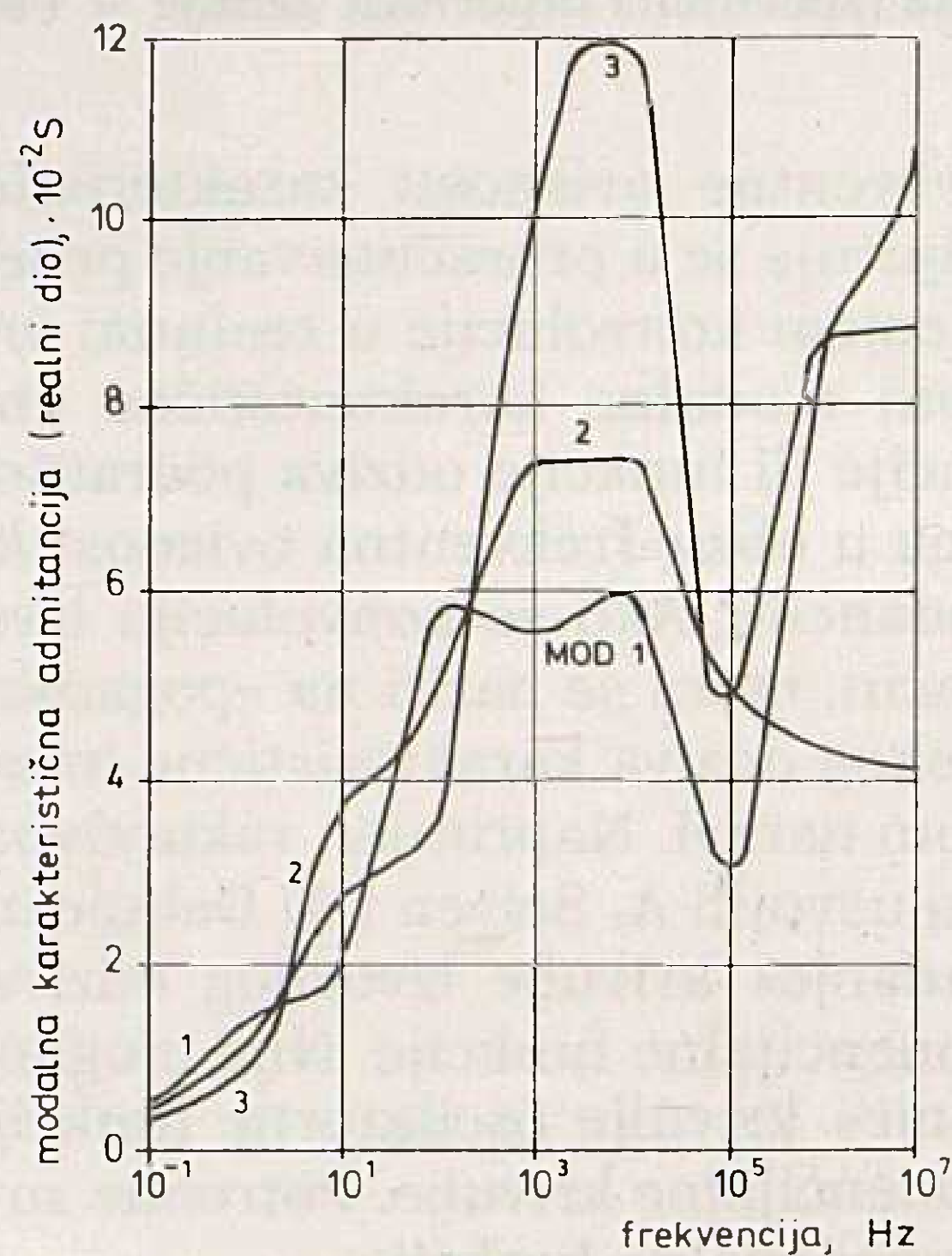
Slika 8. Ovisnost realnog dijela modalne karakteristične impedancije o frekvenciji za pojedinačne modove trofaznog kablenskog sistema koji se sastoji od tri jednožilna koaksijalna kabela raspoređena u trokut (specifična otpornost zemlje je 1 000 Ωm)



Slika 10. Ovisnost imaginarnog dijela modalne karakteristične impedancije o frekvenciji za pojedinačne modove za trofazni kablenski sistem koji se sastoji od tri jednožilna koaksijalna kabela raspoređena u trokut (za uvjete sa slike 4.b)



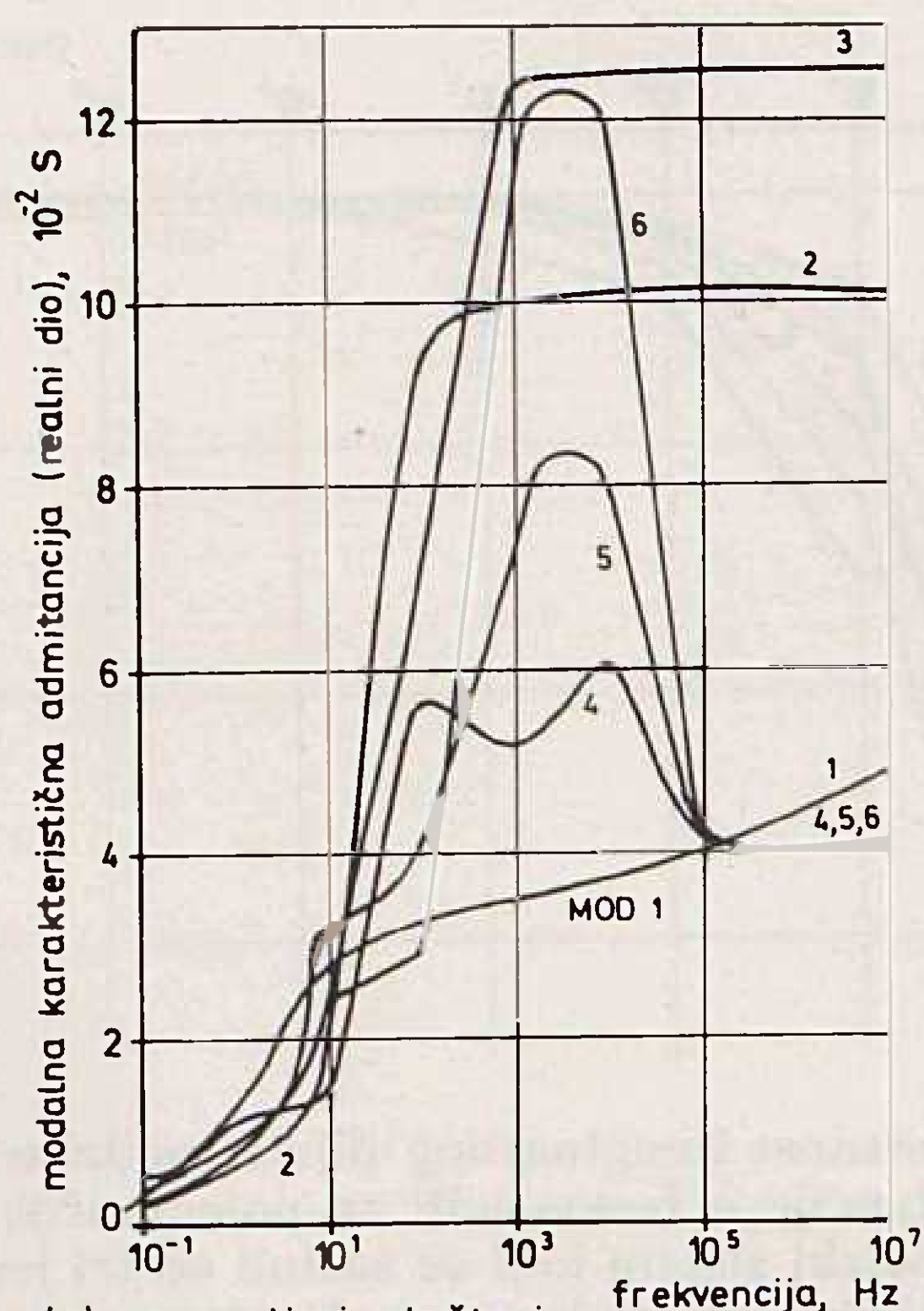
(a) neuzemljeni plaševi



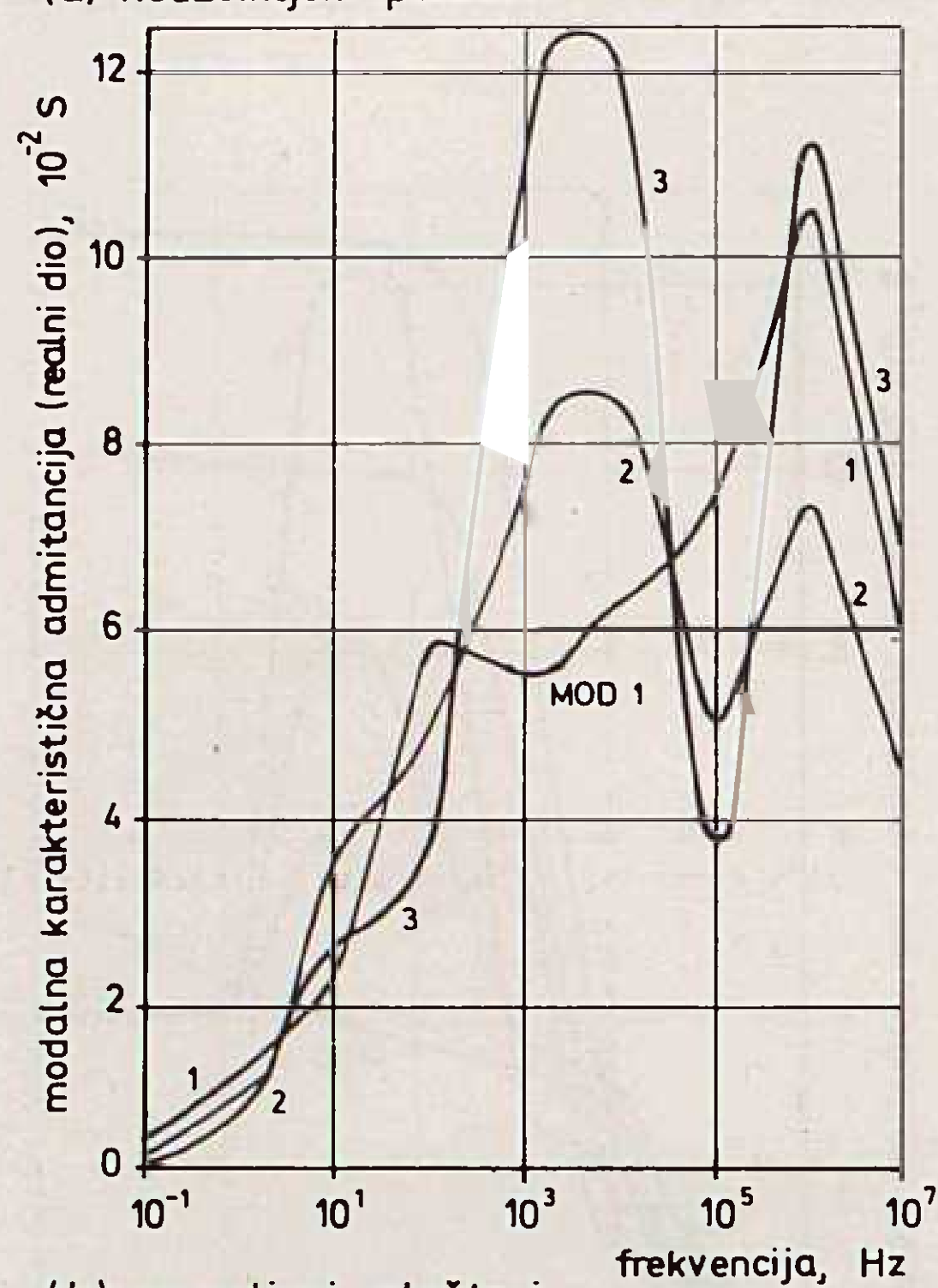
(b) uzemljeni plaševi

Slika 9. Ovisnost imaginarnog dijela modalne karakteristične impedancije o frekvenciji za pojedinačne modove trofaznog kablenskog sistema koji se sastoji od tri jednožilna koaksijalna kabela raspoređena u trokut (za uvjete sa slike 3.a)

Slika 11. Ovisnost realnog dijela modalne karakteristične admittancije za pojedinačne modove trofaznog kablenskog sistema koji se sastoji od tri jednožilna koaksijalna kabela raspoređena u trokut (specifična otpornost zemlje  $\cong 100 \Omega\text{m}$ )



(a) neuzemljeni plaštev

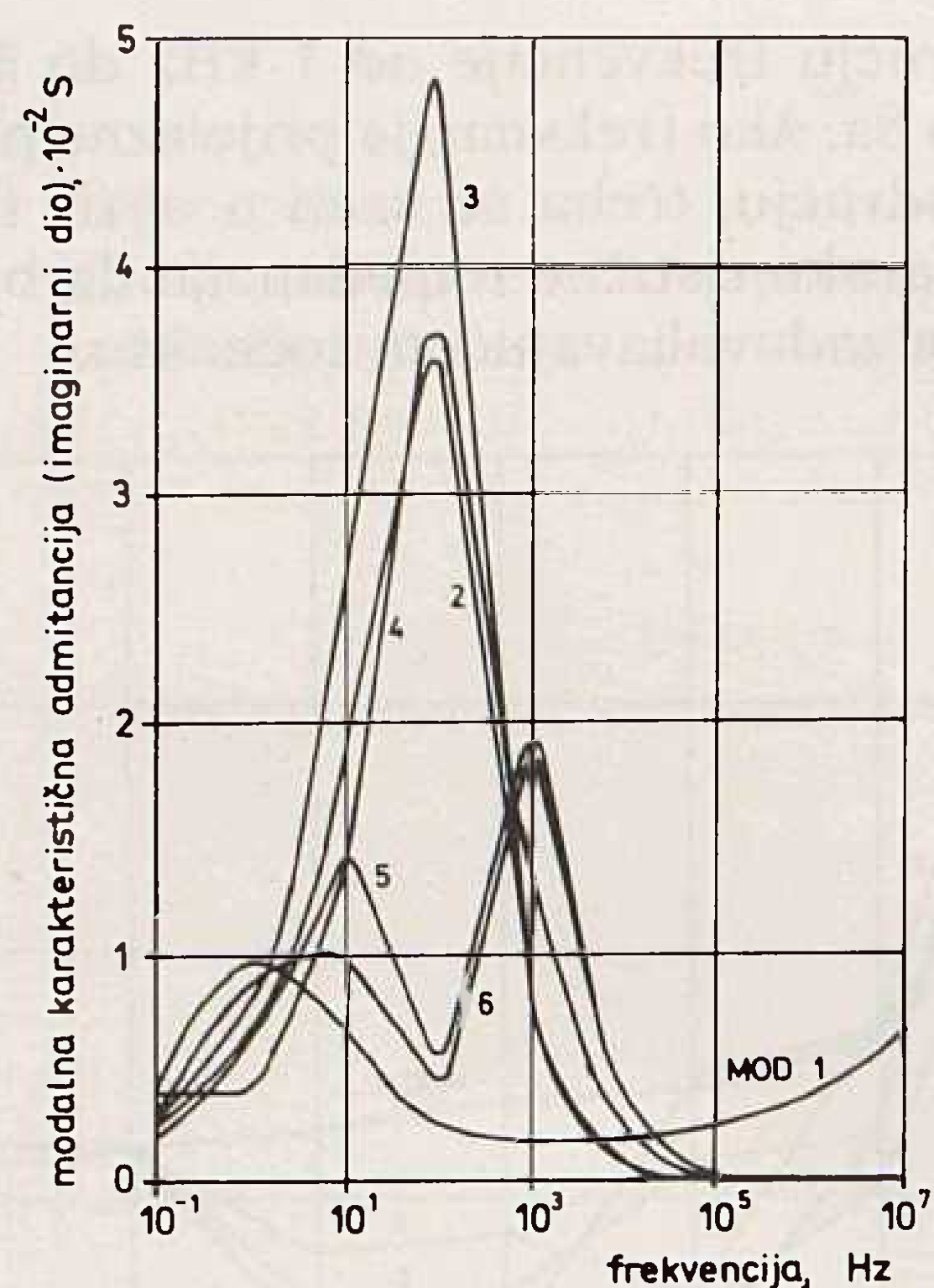


(b) uzemljeni plaštev

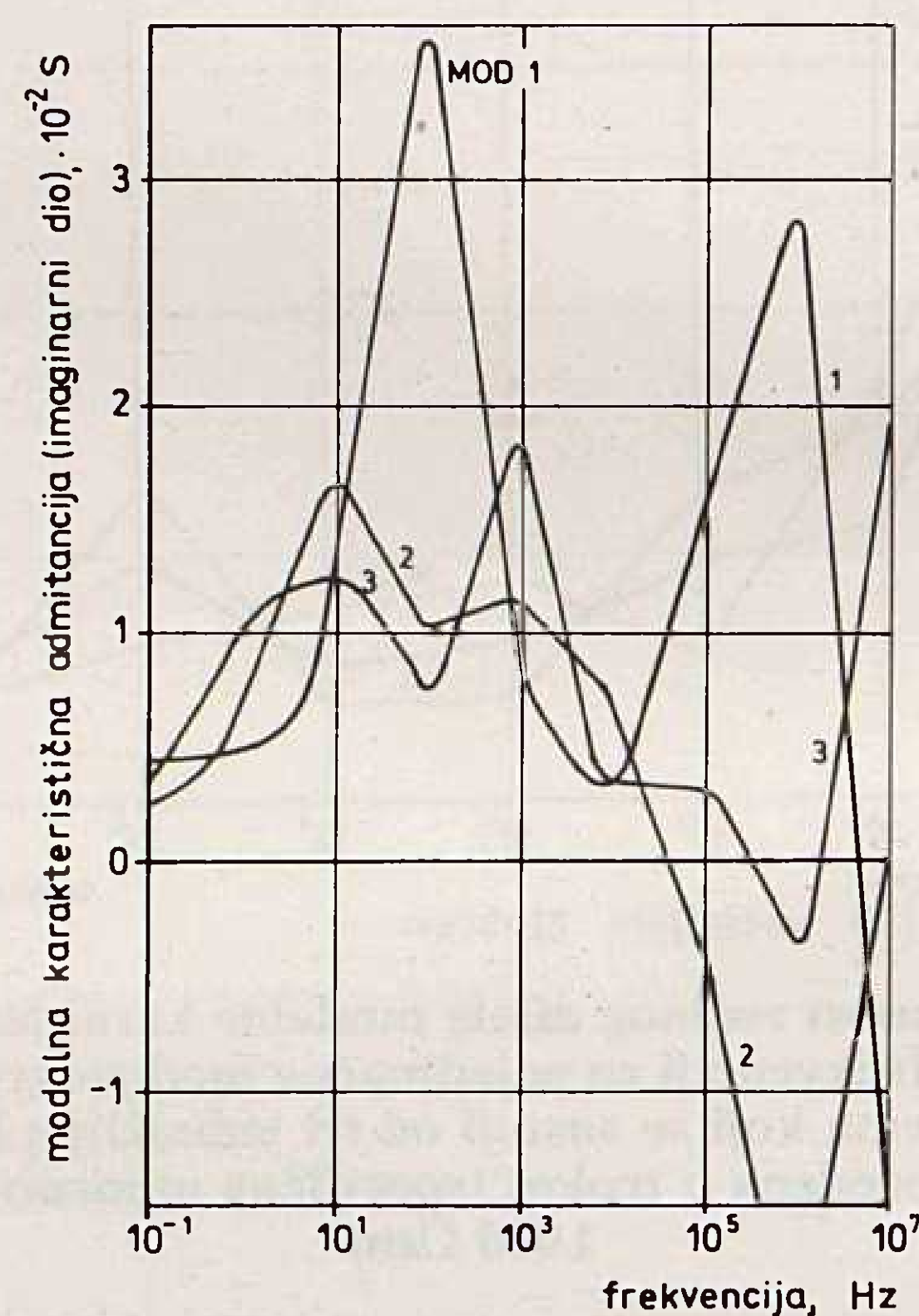
**Slika 12. Ovisnost realnog dijela modalne karakteristične admitancije o frekvenciji za pojedinačne modove trofaznog kablenskog sistema koji se sastoji od tri jednožilna koaksijalna kabela (specifična otpornost zemlje = 1000  $\Omega\text{m}$ )**

Utjecaj frekventne ovisnosti karakteristične impedancije uključuje se u proračunavanje prijelaznih pojava korištenjem konvolucije u realnom vremenu sa step-odzivom modalne karakteristične impedancije ili admitancije ili funkcije odziva povratnog vala, čime se uzima u obzir frekventna ovisnost karakteristične impedancije. Ako se konvolucija izvodi na rekurzivni način, mora se paziti na »pogađanje« krivulje vremenskog odziva karakteristične impedancije s oscilatornom naravi. Naprimjer, rekurzivna konvolucija koju su usvojili A. Selyen i A. Dabuleanu [11] usvaja »pogađanje« krivulje izvornog odziva pomoću dvije eksponencijalne funkcije. Nije moguće napraviti »pogađanje« krivulje oscilatorne funkcije samo s dvije eksponencijalne krivulje. Potrebne su najmanje četiri eksponencijalne funkcije.

Tako, kada se uključuje frekventna ovisnost modalne karakteristične impedancije u proračunavanje prijelaznih pojava korištenjem rekurzivne konvolucije, broj krivulja za »pogađanje« krivulje vremenskog



**Slika 13. Ovisnost imaginarnog dijela modalne karakteristične admitancije o frekvenciji za pojedinačne modove trofaznog kablenskog sistema koji se sastoji od tri jednožilna koaksijalna kabela raspoređena u trokut (za uvjete sa slike 3.a)**



**Slika 14. Ovisnost imaginarnog dijela modalne karakteristične admitancije o frekvenciji za pojedinačne modove trofaznog kablenskog sistema koji se sastoji od tri jednožilna koaksijalna kabela raspoređena u trokut (za uvjete sa slike 4b)**

odziva trebao bi biti dovoljno velik da bi se točno proizvela njezina oscilatorna narav.

Usporedimo sada sliku 7.a i 8.a. I u jednom i drugom slučaju ustvrđujemo da se vrijednost koja odgovara modu 1 glatko mijenja s promjenom frekvencije preko cijelog promatranog frekvencijskog područja. U slučaju specifične otpornosti zemlje 100  $\Omega\text{m}$ , za promjenu frekvencije od 100 Hz do 1 MHz realni dio modalne karakteristične impedancije za mod 1 promijenit će se od vrijednosti 28  $\Omega$  na vrijednost 20  $\Omega$ , što čini smanjenje za 28.57%. U slučaju istog kablenskog sistema položenog u zemlju specifične otpornosti 1000  $\Omega\text{m}$ , ta će promjena, za isti porast frekvencije, kako se to vidi sa slike 8a, biti od 29  $\Omega$  na 22.5  $\Omega$ , što predstavlja smanjenje od 24.14%. Vidimo

da će realni dio modalne karakteristične impedancije za mod 1 opadati sporije s porastom frekvencije ako je otpornost okružujuće zemlje veća. U istom frekvencijskom području, kako pokazuje usporedba slika 7a i 8a, mod 3 će u slučaju specifične otpornosti zemlje  $1000 \Omega$  pokazivati nešto izrazitiju promjenu nego isti mod u slučaju specifične otpornosti zemlje  $100 \Omega$ .

U slučaju imaginarnog dijela modalne karakteristične impedancije za pojedinačne modove, kako se to vidi sa slika 9. i 10, vrijednosti imaginarnog dijela teže nuli s porastom frekvencije. U slučaju moda 4 primjećuje se vidljiv sporiji rast u usporedbi s ostalim modovima i njegovo ponovno opadanje za vrlo visoke frekvencije. Budući da razdvajanje električnih karakteristika u serijsku impedanciju i shunt-admitanciju predstavlja pristup koji je valjan uglavnom do frekvencije od 1 MHz, mi se ovdje nećemo baviti tom pojavom, premda je ona teorijski zanimljiva i važna za dublje razumijevanje valnih pojava u viševodičkim sistemima.

U slučaju uzemljenih plašteva, kako se to opaža na slikama 7.b i 8.b, promjena realnog dijela karakteristične modalne impedancije za tri moda znatno je drukčija nego u slučaju neuzemljenosti plašteva. U tome se slučaju također opaža postojanje područja konstantnih vrijednosti za sva tri moda; to je područje, kako se vidi, između 1 kHz i 10 kHz. Poslije 10 kHz vrijednosti rastu preko cijele sljedeće dekade frekvencije, ali — za razliku od slučaja neuzemljenih plašteva — one ne dosežu maksimalnu vrijednost poslije čega su konstantne, nego poslije maksimalne vrijednosti opadaju. Također je vidljivo drukčije ponašanje modova. U ovome slučaju, kako se to jasno vidi, i u skladu s napomenom koju smo dali u prethodnom tekstu, utjecaj specifične otpornosti zemlje vidljivije dolazi do izražaja i promjena moda 1 u ova dva slučaja postaje sasvim različita. To ponovo potvrđuje naš raniji zaključak da je utjecaj zemlje u koju se polaže kabelski sistem znatno zamršeniji nego što se obično pretpostavlja te da je njegovo točno uključivanje u proračunavanje prijelaznih pojava i pojava valnog rasprostiranja općenito važan faktor u unapređivanju sadašnjih pristupa u ovoj zadaći.

Razmotrimo li frekventnu ovisnost modalnih karakterističnih admitancija, što je prikazano na slikama 11. a i b, 12. a i b te 13 i 14, ustvrdit ćemo postojanje zamršene strukture zadaće frekventne ovisnosti parametara podzemnih kabelskih sistema. Taj je uvid važan, posebno kada se usporedi s frekvencijskom ovisnošću modalnih karakterističnih impedancija, budući da postoje modeli koji se koriste objema ovim veličinama (karakterističnu impedanciju i karakterističnu admitanciju). Vidimo, mod 1 glatko raste preko cijelog frekvencijskog područja; taj je porast, od frekvencije 100 Hz do frekvencije 1 MHz, od 3.5 S na 5.2 S, što predstavlja porast od 48.57%. Nadalje, vidimo da vrijednosti koje odgovaraju modovima 2 i 3 najprije rastu pa zatim, poslije dosezanja maksimalne vrijednosti na približno 1 kHz, postaju konstantne preko preostalog dijela promatranog frekvencijskog područja. Ta maksimalna vrijednost za mod 2

iznosi oko 10 S, dok je ona za mod 3 oko 12.5 S. Međutim, vrijednosti koje odgovaraju modovima 4, 5 i 6, to jest koaksijalnim modovima, najprije rastu pa nakon dosezanja maksimalne vrijednosti opadaju, da bi poslije dosegle zajedničku vrijednost od 4 S za frekvenciju od 100 kHz. Utjecaj specifične otpornosti zemlje, kako to pokazuje usporedba između slika 11. a i 12. a, posebno je vidljiv u slučaju vrijednosti koje odgovaraju modu 1. U slučaju specifične otpornosti zemlje  $100 \Omega$ , realni dio modalne karakteristične admitancije moda 1 raste od 3.5 S za 100 Hz na do oko 5 S za frekvenciju od 1 MHz, što čini porast od 42.86%. U slučaju specifične otpornosti zemlje  $1000 \Omega$ , ta je promjena, za isti frekvencijski raspon, od oko 3.3 do 4.5 S, što je porast za oko 36.37%. Ponovo ustvrđujemo da se utjecaj specifične otpornosti zemlje iskazuje tako da je porast realnog dijela modalne karakteristične admitancije za mod 1 manji ako je specifična otpornost zemlje u koju je položen promatani kabelski sistem veća.

U slučaju uzemljenih plašteva ponovo ustvrđujemo pojavu da modalne vrijednosti nijednog moda ne dosežu maksimalnu vrijednost na kojoj se ustaljuju, nego da se vladaju slično kao modalne karakteristične impedancije za slučaj uzemljenih plašteva.

Slike 13. i 14. prikazuju promjenu imaginarnog dijela modalne karakteristične admitancije za pojedinačne modove za uvjete koji odgovaraju slikama 3.a i 4.b.

Razmatranja koja su u toku — valja imati na umu — u cijelosti se osnivaju na formulaciji impedancija i admitancija, kako je to detaljno izloženo u radu pod [5]. Stoga je, vjerojatno, upravo sada umjesno razmotriti pretpostavke navedene u prvom dijelu. Tako je razmatranje preduvjet cjelovitijeg uvida u mogućnosti primjene i ograničenja takve formulacije.

Prva aproksimacija na kojoj se osniva izložena formulacija uzima pomaćne struje i gubitke u dielektricima zanemarljivim. Ta je pretpostavka održiva sve dok su posrijedi frekvencije manje od 1 MHz. Kako je to poznato, u analizi prijelaznih pojava i valnog rasprostiranja u kabelskom sistemu frekvencije koje se uključuju u razmatranje uglavnom su niže od 1 MHz. Gubici u dielektricima su maleni u usporedbi s gubicima u vodljivim tvarima i zemlji. Prema tome, ta je pretpostavka valjana i ona neće, uzimajući u obzir navedena ograničenja, znatnije utjecati na primjenjivost izložene formulacije.

Prema drugoj od tri navedene početne pretpostavke, svako vodljivo tvarivo kabela ima konstantnu permeabilnost. Međutim, kao što znamo, cijev i armatura kabela veoma su često feromagnetici. Međutim, veoma rijetko se pojavljuju tako visoke struje da bi bilo uzrokovano zasićenje cijevi ili armature. Stoga se u većini slučajeva zasićenje cijevi i armature može zanemariti. Međutim, ako se to zasićenje treba uzeti u obzir, moguće je koristiti pristup koji su izložili G. W. Brown i P. S. Rocamora ([3], u literaturi prvog dijela).

Nikakve dodatne aproksimacije nisu uključene u formulaciju impedancija i admitancija s obzirom na Carsonove i Pollaczekove izraze za impedancije zemnog povratnog puta i Scheikunffove impedancije ci-

lindričnog vodiča. Valja, međutim, imati na umu da Carsonovi i Pollaczekovi izrazi za impedanciju zemnog povratnog puta nisu primjenljivi za frekvencije iznad 1 MHz jer u njih nije uključen utjecaj pomačnih struja.

Jednostavno je ustvrdljivo da je formulacija impedancija i admitancija jednožilnih koaksijalnih kabela dana u ovoj studiji istovjetna onoj koju su dali L. M. Wedepolh i R. J. Wilcox ([1], u literaturi uz prvi dio rada).

Na spomenutoj četvrtoj stranici prvog dijela rada navedena je i pretpostavka o debljini cijevi s obzirom na dubinu prodiranja struje u stijenu. Budući da se važnost te pretpostavke odnosi uglavnom na cjevotipe kabele, koji su izvan okvira ovog rada, cjelovitije će se razmotriti u člancima koji će se baviti drugim vrstama kabela.

#### 4. FREKVENTNA OVISNOST TRANSFORMACIJSKE MATRICE

Transformacijska je matrica  $[A^{-1}]$  trofaznog kabelskog sistema, pri čemu se jedna faza sastoji od jednožilnog kabela s jezgrom i plaštem, dana je približno u ovom obliku:

$$\begin{aligned} \text{za } f < f_s : [A]^{-1} &= \begin{bmatrix} [\Delta] & [a] \\ [a] & [\Delta] \end{bmatrix} = \\ &= \text{tip - A matrica,} \\ \text{za } f_s \leq f < f_c : [A]^{-1} &= \begin{bmatrix} [O] & [a] \\ [a] & -[a] \end{bmatrix} = \\ &= \text{tip - B matrica,} \\ \text{za } f_c \leq f : [A]^{-1} &= \begin{bmatrix} [O] & [a] \\ [U] & -[U] \end{bmatrix} = \\ &= \text{tip - C matrica,} \end{aligned} \quad (3)$$

gdje su

$$[V] = [A]^{-1} \begin{bmatrix} [V_{\text{jezgra}}] \\ [V_{\text{plašt}}] \end{bmatrix}, \quad v = \text{modalni napon,} \\ V = \text{stvarni fazni napon,}$$

$$[a] = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 1/2 & 0 & -1/2 \\ -1/3 & 2/3 & -1/3 \end{bmatrix},$$

$$[U] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad [\Delta] \cong \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

i

$f_s$  = frekvencija za koju je tip - B matrica kompletirana = karakteristična frekvencija,

$f_c$  = frekvencija za koju je tip - C matrica kompletirana = kritična frekvencija.

Zanimljivo je da je podmatrica  $[a]$  u navedenoj jednadžbi identična transformacijskoj matrici trofaznoga transponiranog nadzemnog voda, i približno odgovara onoj netransponiranoga horizontalnog voda. Transformacijska matrica  $[a]^{-1}$  u jednadžbi (3) primjenljiva je na trofazni kabel koji se sastoji od jednožilnih jedinica i također na trofazni cjevotipi kabel ako se zanemari cijev - zemlja povratni mod.

U transformacionoj matrici u jednadžbi (3), gornje dvije podmatrice odgovaraju međuplaštnim modovima, uključujući zemni povratni mod, to jest modove 1 do 3. Donje dvije matrice odgovaraju jezgrenim modovima, to jest modovima 4 do 6. Na niskim frekvencijama,  $f < f_s$ , plaštevima ne mogu zakriliti napone ili struje jezgre. Tako, modovi 4 do 6 se odnose samo na jezgre tri faze, i transformacijska matrica postaje tip - A matrica. Za više frekvencije, to jest  $f > f_c$ , budući da se plašt vlada kao kompletno zakriljenje, modovi 4 do 6 postaju takozvani koaksijalni mod na svakoj fazi. Stoga, tip - C matrica se kompletira. Za srednje frekvencije,  $f_s < f < f_c$ , napon jezgre ili struja se inducira prema plaštu iste faze sa suprotnim predznakom. Napon i struja plašta onda su međusobno spregnuti s plaštevima drugih faza. Tako se dobiva tip - B matrica.

Sračunate vrijednosti karakteristične i kritične frekvencije trofaznih jednožilnih kabela pokazuju jasno tendencije objašnjene u vezi s jednadžbom (3). Transformacijske matrice su veoma frekventno ovisne u području određenih frekvencija.

Ispitivanja pokazuju da je transformacijska matrica u slučaju debelog plašta i niske otpornosti plašta manje frekventno ovisna nego ona u slučaju tankog plašta i velike otpornosti. Također, ustvrđuje se da je transformacijska matrica jednofaznog kabela manje frekventno ovisna nego ona višefaznog kabela.

Kod cjevotipnog kabela s unutrašnjim vodičima koji se sastoje samo od jezgre transformacijska je matrica znatno frekventno ovisna ako su unutrašnji vodiči nesimetrično raspoređeni u cijevi. Ako su raspoređeni simetrično, transformaciona je matrica konstantna. Općenito, unutrašnji vodiči vijugaju unutar cijevi, te se stoga čak i cjevotipi kabeli s nesimetrično raspoređenim unutrašnjim vodičima mogu smatrati jednako kao i cjevotipi kabel sa simetrično raspoređenim unutrašnjim vodičima. Tako, transformacijska matrica cjevotipnog kabela s unutrašnjim vodičima koji se sastoje samo do jezgre većinom je konstantna.

Kada je transformaciona matrica frekventno ovisna, postojeći programi osnovani na tehnikama vremenske domene, kao što su BPA EMTP i UBC EMTP, koji izvode proračunavanje prijelaznih pojava u modelnoj domeni, ne mogu raditi s prijelaznim pojavama na vodovima s raspodijeljenim parametrima.

Iz tih razmatranja u vezi s transformacionom matricom, što predstavlja bitno pitanje suvremenog proračunavanja prijelaznih pojava u kabelskim sistemima, izvedimo zaključke o praktičnim aspektima rada s transformacijskom matricom. Kao što smo vidjeli, transformacijska je matrica približno konstantna u području frekvencija  $f_s < f < f_c$  ili  $f > f_c$ . Općenito, frekvencije koje su sadržane u prijelaznim pojavama pripadaju spektru prilično visokih frekvencija. Dominantna frekvencija  $f_t$  neke prijelazne pojave na vodu s raspodijeljenim parametrima duljine »x« može se definirati na sljedeći način (izuzimajući prenapone atmosferskog podrijetla):

$$f_t = 1/2 \tau = v/2x, \quad (4)$$

gdje su  $\tau =$  vrijeme putovanja nekog rasprostrućeg vala,  $v =$  brzina rasprostiranja vala  $= c_0/\sqrt{\epsilon_1}$ . Istraživanja omogućuju postavljanje sljedećih uputa u vezi s proračunavanjem prijelaznih pojava jednožilnih kabela:

- (1) U slučaju  $f_s < f_l < f_c$  ili  $f_c < f_l$ , proračun prijelaznih pojava može se provesti pretpostavljajući konstantnu transformacijsku matricu.
- (2) U slučaju  $f > f_l$  ili  $f_l \cong c$  nužno je u proračunavanju prijelaznih pojava uzeti u obzir frekventnu ovisnost transformacione matrice.

Proračun prijelaznih pojava u kabelskim sistemima može se provesti korištenjem programa koji se osnivaju na tehnikama vremenske domene kada su ispunjeni uvjeti dani u točki (1). U protivnom nije moguće koristiti spomenute programe. Prethodno je stajalište primjenljivo i na modelne karakteristične impedancije jer je njihova frekventna ovisnost povezana s frekventnom ovisnošću transformacione matrice. Stoga u slučaju ispunjenosti uvjeta iz točke (1) možemo pretpostaviti konstantnu karakterističnu impedanciju i zaobići konvoluciju u realnom vremenu za modelne karakteristične impedancije.

Frekvencija prijelazne pojave određuje se iz jednadžbe (4) korištenjem danih podataka za kabel. Kritična frekvencija » $f_c$ « i karakteristična frekvencija » $f_s$ « poznate su ako računamo transformacijsku matricu danog kabela kao funkciju frekvencije. Međutim, to je zamršena zadaća. Uobičajena je, ako se formule za  $f_c$  i  $f_s$ , koje se jednostavno dobivaju iz danih podataka za kabel, dobivaju analitički [12].

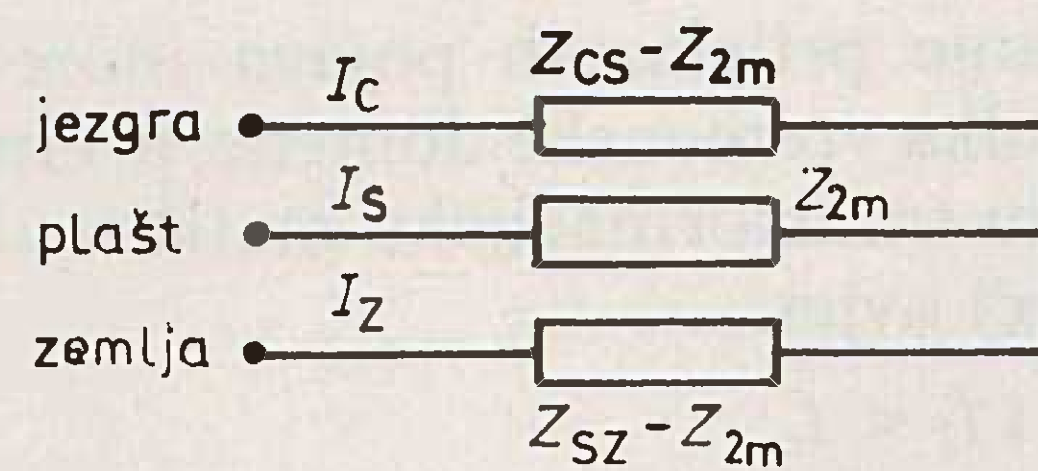
#### 4.1. Kritična frekvencija

Kritična frekvencija postaje niža s poznatom debljinom plašta i opadanjem otpornosti plašta. To znači da je kritična frekvencija  $f_c$  funkcija debljine i otpornosti plašta. To je sasvim razumljivo. Čim su koaksijalni modovi na svakoj fazi kompletirani za frekvencije veće od  $f_c$ , ne postoji nikakvo međusobno djelovanje između jezgara, to jest plaštevima se ponašaju kao potpuno zakriljenje. Za frekvencije niže od  $f_0$  plaštevima ne mogu zakriliti međusobno djelovanje jezgara. Efekt zakriljenja plašta ovisi o njegovoj debljini i otpornosti. Razmotrimo jednožilni kabel radi jednostavnosti. Slika 15. prikazuje ekvivalentni krug jednofaznog jednožilnog kabela s jezgrom i plaštem. Za frekvencije veće od kritične frekvencije  $f_c$  gotovo i ne postoji nikakvo međusobno djelovanje struja između jezgre i zemlje. Stoga bi impedancija od jezgre prema zemlji trebala biti mnogo veća nego ona od jezgre prema plaštu za frekvencije veće od  $f_c$ .

$$Z_{sz} - Z_{2m} \gg Z_{2m}, \quad (5)$$

gdje je  $Z_{sz} =$  vanjska impedancija plašta uključujući impedanciju zemnog povratnog puta;  $Z_{2m} =$  međusobna impedancija između unutrašnje i vanjske površine plašta.

Iz navedene jednadžbe, vidimo, dobiva se kritična frekvencija. Također,  $f_c$  može biti dano kao frekvencija na kojoj dubina prodiranja  $d = \sqrt{S\rho/w\mu}$  postaje jednaka debljini plašta. Oba pristupa daju jednak od-



Slika 15. Ekvivalentni krug jednofaznoga jednožilnog koaksijalnog kabela

govor. Kritična frekvencija daje se sljedećom jednadžbom:

$$f_c = \rho/d^2\pi\mu_0\mu_s, \quad (6)$$

gdje su  $\rho_s =$  otpornost plašta;  $\mu =$  debljina plašta. U skladu s prethodnim opažanjima kritična se frekvencija može objasniti sa fizikalnog stajališta na sljedeći način. Kritična frekvencija je frekvencija za koju impedancija vanjske površine plašta postaje mnogo veća nego međusobna impedancija između unutrašnje i vanjske površine plašta. To dovodi do situacije da se nikakva struja ne vraća kroz vanjsko tvarivo plašta, nego se sva struja koja teče iz jezgre vraća kroz plašt. Tako koaksijalni mod rasprostiranja biva upotpunjen. Povratna struja kroz vanjsko tvarivo plašta ovisi o dubini prodiranja u vodič plašta. Kako frekvencija raste, dubina prodiranja opada. Kada ona postane manja od debljine plašta, nikakve struje ne mogu teći u vanjsko tvarivo plašta. Stoga, kritična frekvencija jest frekvencija za koju dubina prodiranja postaje manja nego debljina plašta u slučaju jednofaznog kabela.

U primjeru viševaznog kabela kritična se frekvencija može definirati kao frekvencija na kojoj međusobna impedancija između faza postaje mnogo veća nego impedancija između jezgre i plašta. U tome slučaju, međutim, izraz postaje znatno zamršeniji od onog za jednofazni slučaj, te se kritična frekvencija ne može dobiti analitički. Sračunati rezultati daju sljedeći eksperimentalni izraz za višefazni slučaj:

$$f_c \approx 10 \rho_s^{3/4}/\pi\mu_0\mu_s ds, \text{ za višefazni kabel,} \quad (7)$$

gdje je  $s =$  rastojanje između faza.

#### 4.2. Karakteristična frekvencija

Karakteristična frekvencija  $f_s$  jest frekvencija za koju se transformacijska matrica mijenja od tipa  $A$  matrice na tip  $B$  matrice, kako je to objašnjeno na početku ovog odjeljka. To znači da su modovi rasprostiranja 4 do 6 međusobno spregnuti jedino jezgrama triju faza za frekvencije manje od  $f_s$ . Za frekvencije veće od  $f_s$  oni su spregnuti jezgrama i plaštevima. Međutim, veoma je teško odrediti  $f_s$  analitički. Sljedeći je izraz dobiven eksperimentalno:

$$f_s \approx \rho_s^{3/4}/10\pi\mu_0\mu_s ds. \quad (8)$$

U analitičkom se proračunavanju prijelaznih pojava najniža i najviša frekvencija ( $f_1$  i  $f_2$ ) sadržane u proračunu određuju iz vremena promatranja  $T$  i vremenskog koraka  $\Delta t = T/N$  pomoću teorije uzrokovanja Fourierove transformacije:

$$f_1 = 1/T, f_2 = 1/\Delta t = Nf_1. \quad (9)$$

Proračunavanje prijelaznih pojava može se izvesti pomoću tehnika vremenske domene, pretpostavljajući konstantnu transformacijsku matricu ako je zadovoljen sljedeći uvjet:

$$f_s < f_1 \text{ i } f_2 < f_c, \quad (10)$$

$$f_1 > f_c. \quad (11)$$

Budući da je  $f_1 < f_t < f_2$ , većinom se navedeni uvjet aproksimira sa:

$$f_s < f_t < f_c,$$

ili

$$f_t > f_c. \quad (12)$$

Pod uvjetom danim u jednadžbama (11) i (12), modelne karakteristične impedancije također se pretpostavljaju konstantnim, te se tako konvolucije u realnom vremenu za karakteristične impedancije ili admitancije zaobilaze.

Kada je  $T$  veoma veliko a  $\Delta t$  veoma malo, navedeni se uvjet ne može zadovoljiti. Međutim, taško je očekivati da će se u inženjerskim zadacima proračunavati prijelazne pojave na kabelima s vremenskim korakom  $1 \mu\text{s}$  za vrijeme promatranja  $1 \text{ sek}$ . Ako, međutim, postoji takav slučaj, savjetuje se računanje prijelazne pojave u odvojenim vremenskim periodima. Naprimjer, od  $0$  do  $1 \text{ ms}$ , s vremenskim korakom  $1 \mu\text{s}$ , od  $100 \mu\text{s}$  do  $100 \text{ ms}$  s  $\Delta t = 100 \mu\text{s}$ , i od  $10 \text{ ms}$  do  $1 \text{ sek}$  s  $\Delta t = 1 \text{ ms}$ . Konstantna transformacijska matrica može biti različita za svaki vremenski korak.

Iz jednadžbi (12) i (6) do (8) proizlazi zapažanje: U slučaju velike debljine plašta, niske otpornosti plašta i malene duljine kabela, transformacijska matrica i modelna karakteristična impedancija pretpostavljaju se konstantnima. Općenito, kada je debljina plašta plinom izoliranih kabela i uljem ispunjenih kabela velika, transformacijska matrica i modalna karakteristična impedancija mogu se pretpostaviti konstantnim u većini proračunavanja prijelaznih pojava. U slučajevima polietilenskih kabela debljina plašta je obično malena, pa kritična frekvencija postaje veoma velika. Međutim, karakteristična frekvencija  $f_c$  je prilično mala. Tako, ako je  $f_t$  između  $f_s$  i  $f_c$ , još je moguće pretpostaviti konstantnu transformacijsku matricu i karakterističnu impedanciju.

## 5. ZAKLJUČAK

Frekventna ovisnost parametara podzemnih kabela znatno je izrazitija i zamršenija nego u slučaju nadzemnih vodova. Uključivanje frekventne ovisnosti kontante rasprostiranja i karakteristične impedancije (ili admitancije) u proračunavanju rasprostiranja vala i prijelaznih pojava u slučaju podzemnih kabela moguće je primjenom istih tehnika koje se koriste u slučaju nadzemnih vodova. Velika atenuacija i niska brzina rasprostiranja, kako pokazuju dobiveni rezultati proračuna za slučaj zemnog povratnog moda, predstavljaju izrazito svojstvo podzemnih kabela koji nisu položeni u metalne cijevi. Za koaksijalne mode rasprostiranja ustvrđuje se da su prilično neovisni o konfiguraciji sistema. To zapravo znači da su ti modovi rasprostiranja gotovo jednaki za podzem-

ne, nadzemne i cjevotipe kabele. Brzine rasprostiranja koaksijalnih modova, kako to jasno pokazuju rezultati proračuna, dosežu prirodnu brzinu određenu relativnim permitivitetom izolacionog tvariva kako frekvencija raste. To znači, ako istražujemo samo prijelazne pojave u jezgrama kabelskih sistema, one se mogu proračunavati kao jednovodične prijelazne pojave uzimanjem u razmatranje samo izolatora i vodiča jezgre i zanemarujući sve druge parametre, kao što su utjecaj zemlje i konfiguracije sistema.

Glavna je poteškoća u proračunavanju prijelaznih pojava u kabelskim sistemima korištenjem tehnika proračunavanja u vremenskoj domeni frekventna ovisnost transformacijske matrice. Naime, u svim dosada razvijenim modelima uključivanja frekventne ovisnosti parametara viševodičkih prijenosnih sistema primjena modelne analize uključuje pretpostavku konstantne transformacione matrice, što je točno samo za uravnotežene nadzemne vodove. Frekventna ovisnost transformacione matrice je posebno izražena u slučaju kabelskih sistema koji se sastoje od jednožilnih koaksijalnih kabela. To, očito, zadaću proračunavanja prijelaznih pojava za tu vrstu kabelskih sistema čini zamršenom, te ako se želi koristiti modalna analiza u okviru raspoloživih programa koji se osnivaju na tehnikama rješavanja u vremenskoj domeni — posebna se pozornost mora obratiti frekventnoj ovisnosti transformacijske matrice.

## LITERATURA

- [1] Electromagnetic Transients Program Rule Book, Bonneville Power Administration, Portland, Oregon, 1982.
- [2] University of British Columbia Transients Program, User's Manual, Vancouver, Canada, 1980.
- [3] Frequency Domain Transients Program; više pojedinosti vidjeti u: L. M. Wedepohl, »Power system transients: Errors incurred in the numerical inversion of the Laplace transform«, Proc. of the 26 th Midwest Symposium on circuits and systems, 1983, s. 174–178.
- [4] D. VAN DOMMELEN, R. MAHMUTĆEHAJIĆ i G. EMPEREUR, »Comparison of various EMTP frequency-dependent transmission models«, 14th European EMTP Meeting, Trondheim, Norveška, 30–31. maj 1988, dokument 88-003.
- [5] R. MAHMUTĆEHAJIĆ, »Proračunavanje parametara kabela; I dio, Opća formulacija«, XI simpozij o energijskim kabelima, Svetozarevo, 24-28. listopada 1988.
- [6] L. M. WEDEPOHL i D. J. VILCOX, »Transient analysis of underground power transmission systems«, Proc. IEE, vol 120, 1973, s. 253–260.
- [7] A. AMETANI, »Wave propagation characteristic of cables«, IEEE Trans. on PAS, vol. PAS–99, no. 2, 1980, s. 499–505.
- [8] A. AMETANI, »A study of cable transients calculation, Part I — Discussion of problems«, The Science and Engineering Review of Doshisha University vol. 24, no. 2, 1983, s. 28–36.
- [9] A. AMETANI i K. IMANISHI, »Development of exponential Fourier transform and its application to electrical transients«, Proc. IEE, vol. 126. no. 1, 1979, s. 51–56.



- [10] D. VAN DOMMELEN, R. MAHMUTĆEHAJIĆ, G. EMPEREUR, »Effects of conductor configuration and earth resistivity on wave propagation characteristics of underground cables«, Predloženo za Revue E, Société Royale Belge des Electriciens, 1988.
- [11] A. SEMLYEN i A. DUBULEANU, »Fast and accurate switching transients calculations on transmission lines with ground return using recursive convolutions«, IEEE Trans. on PAS, 1975, vol. PAS – 94, s 561 – 571.
- [12] A. AMETANI, »A study of cable transient calculations, Part II – Transient calculations«, The Science and Engineering Review of Doshisha University, vol. 21, no. 2, lipanj 1983, s. 37 – 45.
- [13] R. MAHMUTĆEHAJIĆ, »Frekventna ovisnost transformacione matrice u proračunavanju prijelaznih elektromagnetskih pojava«, Elektrotehnika, 12/1988, bit će tiskan.

#### FREQUENZABHÄNGIGKEIT DER UNTERIRDISCHEN KABELPARAMETER

In der Arbeit wurden die Grundfragen der Frequenzabhängigkeit der unterirdischen Parameter der Kabelsysteme in der Funktion der Berechnungen der Wellenverbreitung und Übergangserscheinungen behandelt. Frequente Abhängigkeiten der »Ausbreitungskonstante« der charakteristischen Impedanz und der modalen Transformationsmatrize werden am Beispiel des Kabelsystems der aus drei einzeln zusammengefassten koaxialen Kabel im Dreieck verteilt besteht. Die Ergebnisse weisen auf Grundprobleme bei der Berechnung der Wellenausbreitung und der Übergangserscheinungen in der Zeitdomäne wenn die frequenten Abhängigkeiten der Parameter eingeschaltet werden. In zahlreichen Fällen wie in der Zusammenfassung erwähnt wird ist es unmöglich die herkömmlichen Methoden des Einsatzes der frequenten Abhängigkeit der Parameter der überirdischen Leitungen im Falle der Berechnung der Übergangserscheinungen in den Kabelsystemen zu nutzen.

#### ЧАСТОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПАРАМЕТРОВ ПОДЗЕМНЫХ КАБЕЛЕЙ

В работе обработаны основные вопросы частотной зависимости параметров подземных кабельных систем в функции расчета распространения волны и переходных явлений. Частотные зависимости »константы« распространения, характерные полные сопротивления и модальные трансформационные матрицы показаны на примере кабельной системы, состоящей из трех одножильных коаксиальных кабелей, расположенных в треугольник. Полученные результаты указывают на главные затруднения вычисления распространения волны и переходных явлений в период времени, когда включаются частотные зависимости параметров. Во многих случаях, как указано в заключении, нельзя воспользоваться обыкновенными методами включения частотной зависимости параметров воздушных кабелей в случае расчета переходных явлений в кабельных системах.

#### FREQUENCY CHARACTERISTIC OF UNDERGROUND CABLES

In the article are elaborated some frequency characteristics of underground cables in function of wave transmission and transient conditions. Presented are frequency characteristic of propagation »constant«, impedance and modal transformation matrix for a model of three single coaxial cables connected in triangle. Obtained results show difficulties in calculation of wave propagation and transient conditions in time domain with frequency characteristic. In numerous cases as is stated in the conclusion, it is not possible to include conventional methods for frequency characteristic of overground lines for calculation of transient conditions in cable systems.

Naslov pisca:

**Doc. dr. Rusmir Mahmutćehajić,**  
**dipl. inž.**  
**Studij elektrotehnike,**  
**54000 Osijek,**  
**Istarska 3, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-08-28



## „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

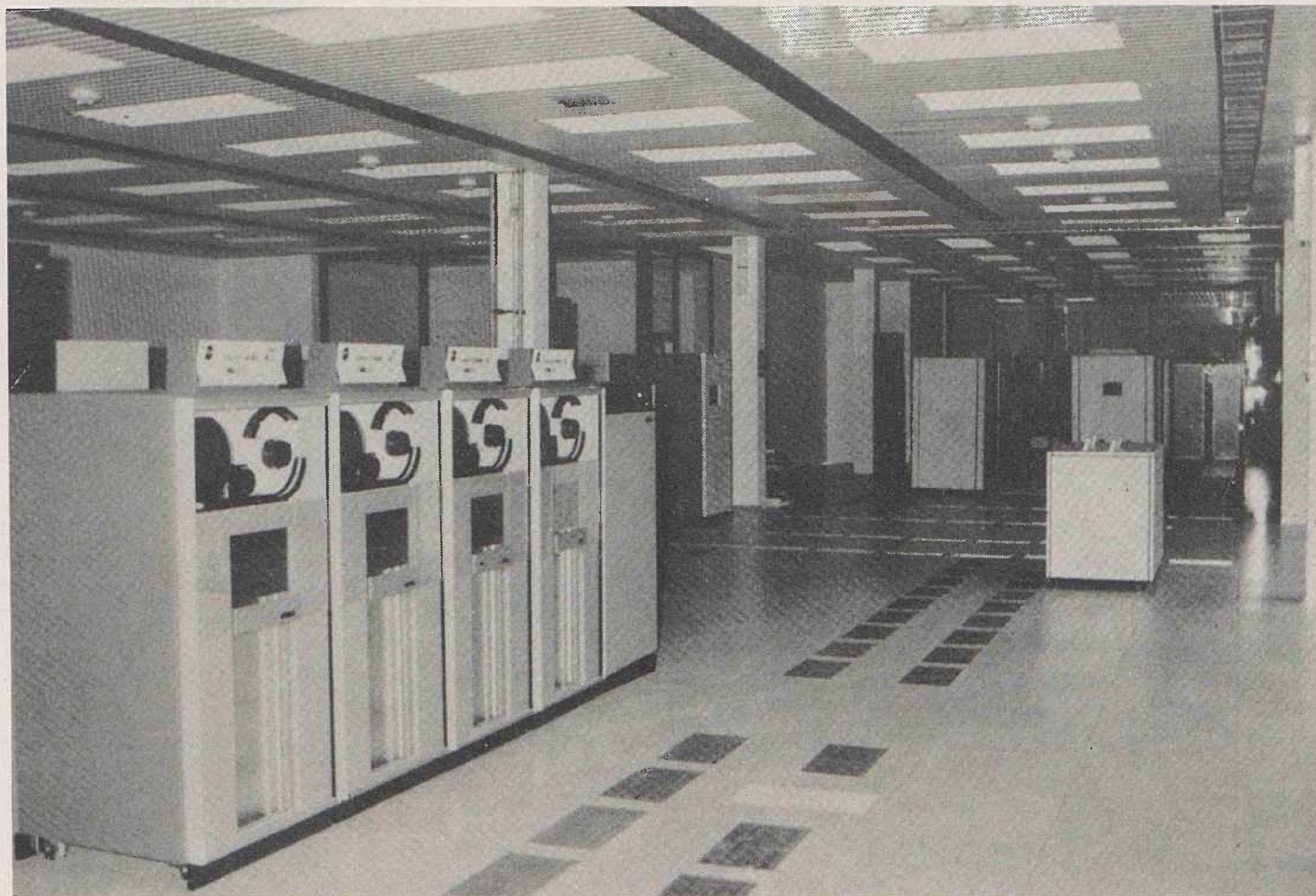
SPONZOR-SUORGANIZATOR  
**UNIVERZIJADE'87**

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

# METODA ODREĐIVANJA TEHNOEKONOMSKIH PODOBNOSTI PRIMJENE I PROBLEM PRIJELAZA NA ADEKVATNI SISTEM ZAŠTITE OD INDIREKTOG DODIRA U ELEKTRODISTRIBUCIJI I KOD POTROŠAČA

Josip Neveščanin, Split

UDK 621.316.9.003  
PRETHODNO SAOPĆENJE

Prikazana je metoda određivanja tehnoeekonomskih podobnosti primjene pojedinih vrsta zaštite od indirektnog dodira kod novih niskonaponskih mreža NN, kao i kod aktualnih prijelaza na adekvatni sistem zaštite u postojećim elektrodistributivnim mrežama i kod potrošača. Metoda se temelji na komparativnom selekcioniranju troškova ovisnih o vrsti zaštite, tipovima naselja i načinu izgradnje objekata, odnosno tehnologiji gradnje elektrodistributivnih mreža NN, a testirana je na konkretnom slučaju iz prakse. Dobiveni rezultati imaju i opće značenje jer omogućavaju sagledavanje globalne strategije izbora ili prijelaza na adekvatni sistem zaštite, kao i problema koji proizlaze iz primjene Smjernica za projektiranje elektrodistributivnih mreža NN Elektroenergetskog inspektorata SR Hrvatske donesene potkraj 1987. godine čija je obaveza primjene u toku.

**Ključne riječi:** zaštita, indirektni dodir, niskonaponske mreže.

## 1. POLAZNA SITUACIJA

U postojećim distributivnim mrežama niskoga napona i kod potrošača još uvijek susrećemo sve moguće vrste zaštite od indirektnog dodira, od kojih su najčešće ove:

- nulovanje
- zaštitno uzemljenje i
- strujna zaštitna sklopka, naponska sklopka, bez zaštite i slično.

Za ilustraciju stanja navode se odgovarajući podaci o zastupljenosti pojedinih vrsta zaštita po vrstama naselja za jedno veće elektrodistributivno područje u Dalmaciji, kao što je to vidljivo iz tablice 1.

Podaci iz tablice odnose se na elektrodistributivna područja veličine oko 2 000 km<sup>2</sup> na kojem danas živi više od 300 000 žitelja s preko 1 000 trafopodručja 10/0,4 kV.

Podaci iz 1. tablice pokazuju ovo:

- Na cijelom području dominira nulovanje, pogotovo u Zagori gdje ne postoje ni teorijske mogućnosti zadovoljenja uvjeta bezopasnosti.
- Zaštitno uzemljenje također je u globalu još uvijek prilično zastupljeno, naročito u prigradskim naseljima u objektima za individualno stanovanje i na otocima kod kojih dominira sistem pojedinačnih uzemljivača za koje je također vrlo dubiozno očekivati mogućnost zadovoljenja propisanih uvjeta bezopasnosti za iole značajnije potrošače, posebno na područjima s ekstremnim vrijednostima specifičnog otpora tla.
- Ostalih vrsta zaštite, npr. strujnih zaštitnih sklopki i sličnoga, još je uvijek vrlo malo.

Takvo šarenilo primjene i postignuta kvaliteta dosadašnjim načinom izvedbe zaštite od indirektnog do-

Tablica 1. Klasifikacija područja obzirom na urbanističke karakteristike

Tip naselja	Vrsta stanovanja	Struktura trafopodručja 10/0,4 kV po vrstama zaštite						Ukupno	
		Nulovanje		Zaštitno uzemljenje		Ostali ili bez podataka			
		Broj	%	Broj	%	Broj	%	Broj	%
1. Grad	1.1. Objekti za kolek. stanovanje	273	62	110	25	58	13	441	100
	1.2. Prigradska indiv. naselja	20	14,3	47	34	71	51,5	138	100
	Ukupno	293	51	157	27	129	22	579	100
2. Sela	2.1. Zagora	205	84	30	12	8	4	243	100
	2.2. Otoci	56	33	111	65	3	2	170	100
	Ukupno	261	63	141	34	11	3	413	100
Sveukupno		554	56	298	30	140	14	992	100

dira u distributivnim mrežama niskog napona i instalacijama potrošača uz činjenicu:

- da pojedne vrste zaštite karakterizira različiti stupanj pouzdanosti i efikasnosti;
- da različiti troškovi izgradnje uz različite refleksije na ekonomiju građana elektrodistributivnih mreža, potrošačkih instalacija i uzemljivačkih sustava;
- da nalažu potrebu izrade odgovarajuće tehnookonomske analize podobnosti primjene pojedinih vrsta zaštite čiju polaznu osnovu čini:
  - selekcioniranje parcijalnih troškova po strukturi elektrodistributivnog podsistema niskog napona;
  - prikaz globalne strukture troškova po vrstama zaštite i izbor optimalnog sistema i
  - svodni prikaz rezultata uz definiranje geografskih zona primjene, strategija i orijentaciona kalkulacija troškova prelaza na optimalni sistem zaštite.

## 2. SELEKCIONIRANJE PARCIJALNIH TROŠKOVA UNUTAR STRUKTURE ELEKTRODISTRIBUTIVNOG PODSISTEMA NISKOG NAPONA

Osnovnu strukturu troškova elektrodistributivnog podsistema niskog napona u smislu ove analize čine:

- troškovi elektrodistributivne mreže niskog napona;
- troškovi uzemljivačkog sustava TS 10/0,4 kV i mreže niskog napona i
- troškovi potrošačkih instalacija i uzemljenje objekata.

### 2.1. Struktura troškova uvjetovanih vrstom zaštite od indirektnog dodira u mreži niskog napona

Troškovi svakog elektrodistributivnog područja s »n« trafopodručja 10/0,4 kV općenito iznose:

$$T_{TP} = C_{TP} \times n_{TP} \quad (1)$$

odnosno razlika tih troškova uvjetovana vrstom zaštite od indirektnog dodira

$$\Delta T = C_{TP} \times \Delta n_{TP} \quad (2)$$

$C_{TP}$  — standardna cijena referentnog trafopodručja 10/0,4 kV

$\Delta n_{TP}$  — dodatni broj trafopodručja 10/0,4 kV koje je neophodno interpolirati u postojećoj mreži niskog napona za zadovoljenje uvjeta bezopasnosti, npr. kod nulovanja, koje možemo teorijski izračunati pomoću ove formule:

$$\Delta n_N = n_o \times \left[ \left( \frac{I_o}{I_N} \right)^2 - 1 \right] \quad (3)$$

$n_o$  — broj trafopodručja 10/0,4 kV u postojećoj mreži niskog napona

$I_o, I_N$  — granične dužine glavnih vodova postojeće mreže niskog napona ili novih uvjetovanih tehničkim kriterijima i granične dužine uvjetovane nulovanjem ( $I_N$ ) u referentnim modelima mreže niskog napona.

Iz formule 2. i 3. vidljivo je da troškovi u mrežama niskog napona uvjetovanih vrstom zaštite od dodirnog napona ovise o kvadratu odnosa:

$$X = \left( \frac{I_o}{I_N} \right)^2 \quad (4)$$

Praktične vrijednosti odnosa iz (4) za nove mreže u odnosu na tehničke kriterije za karakteristične tipove naselja, odnosno vrste referentnih modela mreže niskog napona navedene su u tablici 2.

Kako to izgleda u realnim mrežama niskog napona Dalmacije vidljivo je iz tablice 3.

Tablica 2. Veličine mjerodavne za ocjenu utjecaja vrste zaštite od indirektnog dodira napona na troškove novih distributivnih mreža niskog napona

Referentni modeli mreže n. n. po vrstama naselja		Glavni vodovi tip i presjek	Granične dužine glavnih vodova n. n. [m] obzirom na <sup>n/m/</sup>				$X = \left( \frac{I_T}{I_N} \right)^2$
Tip naselja	Vrsta izgradnje		Tehničke kriterije		Nulovanje		
			opterećenje ( $I_p$ )	pad napona ( $I_{\Delta U\%}$ )	nazivna struja osigur.	$I_N$ (m)	
1. gradovi	1.1. Naselja klasične blok. izgradnje (stare gradske jezgre)	KB 4 × 150 mm <sup>2</sup> Al	200	295	200	720	$X < 1$
	1.2. Naselja nove soliterske izgradnje		900	670	200		
	1.3. Indiv. naselja regulir. izgrad.	Ač 4 × 50 mm <sup>2</sup>	380	350	160	300	$X = 1,35$
	1.4. Individ. naselja divlje gradnje		1 400	665	80	650	$X \approx 1$
2. sela	2.1. Zagora		5 727	1 200	80		650
	2.2. Otoci		1 350	585	80	$X < 1$	

Tablica 3. Veličine mjerodavne za ocjenu utjecaja vrste zaštite od indirektnog dodira napona u postojećoj mreži niskog napona Dalmacije

Vrsta n.n. mreže	Osnovna shema modela	Trafo područje 10/0,4 kV		Broj stanova		Dužina vodova (km)				Podaci o izv. (glav. vod)			$l_0$ (m)	Odnos $\left(\frac{l_0}{l_n}\right)^2 = X$	$\Delta n =$
		broj	tipska snaga	ukupno	po trafo područ.	KB 0,4 kV		ZV 0,4 kV		broj izv.	dužina tipskih izv.				
						glavni vodovi	priklj. otcjep.	glavni vodovi	priklj. otcjep.		KB 0,4 kV (m)	ZV 0,4 kV (m)			
1.1. Klasična blokovska		43	630	14 000	326	65	43	∅	27	5	302	∅	302	$X=0,17 < 1$	∅
1.2. Nova soliterska		246	630 (1 000)	27 500	112	253	237	∅	∅	5	359	∅	359	$X=0,25 < 1$	∅
1.3. Individualna		290	400 (630)	31 000	111	155	103	846	563	4	222	729	803	$X=1,65 > 1$	1,88
2.1. Zagora		263	100	12 290	47	8,5	5,6	1 207	711	2,3	16	2 000	1 995	$X=9 \gg 1$	2.104
2.2. Otoci		215	152	10 249	48	90	60	308	253	3,4	123	421	523	$X=0,64 < 1$	∅
Jkupno		1 057	375	96 039	91	714	400	2 361	1 527	3,4	198	657	723	$X=1,21 > 1$	2,292

$$\text{Ekvivalentna dužina } l_0 = l_{KB} \frac{q_{ZV}}{q_{KB}} + l_{ZV} \approx \frac{1}{3} l_{KB} + l_{ZV}$$

Na temelju rezultata iz tablice 2. i 3. moguće je izvršiti usporedbu utjecaja vrste zaštite od indirektnog dodira u novim i postojećim mrežama niskog napona kao što je to navedeno u tabeli 4.

Tablica 4. Usporedba utjecaja nulovanja na ekonomiju građenja novih i postojećih mreža niskog napona u Dalmaciji

Vrsta mreže niskog napona		Potrebni broj $\Delta n$		Stupanj izgrađenosti $p = \left[1 - \left(\frac{l_T}{l_0}\right)^2\right] \times 100$
Tip naselja	Vrsta izgradnje	U nominalnoj mreži niskog napona	U realnoj mreži niskog napona	
1. gradovi	1.1. Klasična blokovska i stare gradske jezgre	0	0	$p = 56 \%$
	1.2. Nova soliterska	0	0	$p = -248 \%$
	1.3. Individualna	0	$\dot{n}_N = 0,65 \times n_0$	$p = 32 \%$
2. sela	2.1. Zagora	$n = 3,4 \times n_0$	$\dot{n}_N = 8 \times n_0$	$p = 64 \%$
	2.2. Otoci	0	0	$p = -25 \%$

$p = 0$  označava nominalni stupanj izgrađenosti  
 $p < 0$  označava stupanj preizgrađenosti  
 $0 < p < 100\%$  označava stupanj podizgrađenosti

Ako to iskažemo kao troškove dobivamo informaciju kao u tablici 5.

**Tablica 5. Troškovi u mreži niskog napona »Distribucije« Split uvjetovani vrstom zaštite od indirektnog dodira u milijunima dinara (cijene 1987. godine)**

Vrsta mreže niskog napona		U nominalnoj izgrađenoj mreži			U postojećoj mreži niskog napona		
Tip naselja	Vrsta izgradnje	Zaštitno uzemljenje	Nulovanje	Strujna zašt. skl.	Zaštitno uzemlj.	Nulovanje	Strujna zašt. skl.
1. grad	1.1. Klasična blokovska i stara gradska jezgra	—	—	—	—	—	—
	1.2. Nova soliterska	—	—	—	—	—	—
	1.3. Individualna	—	—	—	—	6 032	—
2. sela	2.1. Zagora	—	20 198	—	—	67 328	—
	2.2. Otoci	—	—	—	—	0	—
Ukupno		—	20 198	—	—	73 360	—

Ovo pokazuje da je stanje u promatranoj postojećoj mreži niskog napona u globalu za više od 3,6 puta nepovoljnije od situacije normalno građenih mreža niskog napona.

## 2.2. Utjecaj zaštite od napona dodira na troškove sustava uzemljenja distributivnih niskonaponskih mreža

U distributivnim mrežama 0,4 kV i potrošačkim instalacijama primjenjuju se sljedeće zaštite od indirektnog napona dodira: nulovanje (TN mreže), zaštitno uzemljenje (TT mreže) ili strujna zaštitna sklopka (TT mreže).

Za svaku od ovih zaštita od napona dodira standardno se izvode odgovarajući sustavi uzemljenja s obzirom na vrstu mreže i nivo ograničenja struje jks u 10 i 20 kV-noj mreži i vrste zaštite od napona dodira. Pritom, ovisno o tipu naselja i vrsti niskonaponske mreže, razlikujemo ove standardne modele sustava uzemljenja tipskog trafopodručja:

- Model uzemljivačkog sustava referentnog trafopodručja 10/0,4 kV u uvjetima klasične blokovske

izgradnje i starih gradskih jezgara, zatim model naselja nove soliterske izgradnje i naselja individualne izgradnje prema sl. 1.

- Model uzemljivačkog sustava referentnog trafopodručja 10/0,4 kV u uvjetima seoskih mreža niskog napona — slika 2.

Dobiveni rezultati pokazuju:

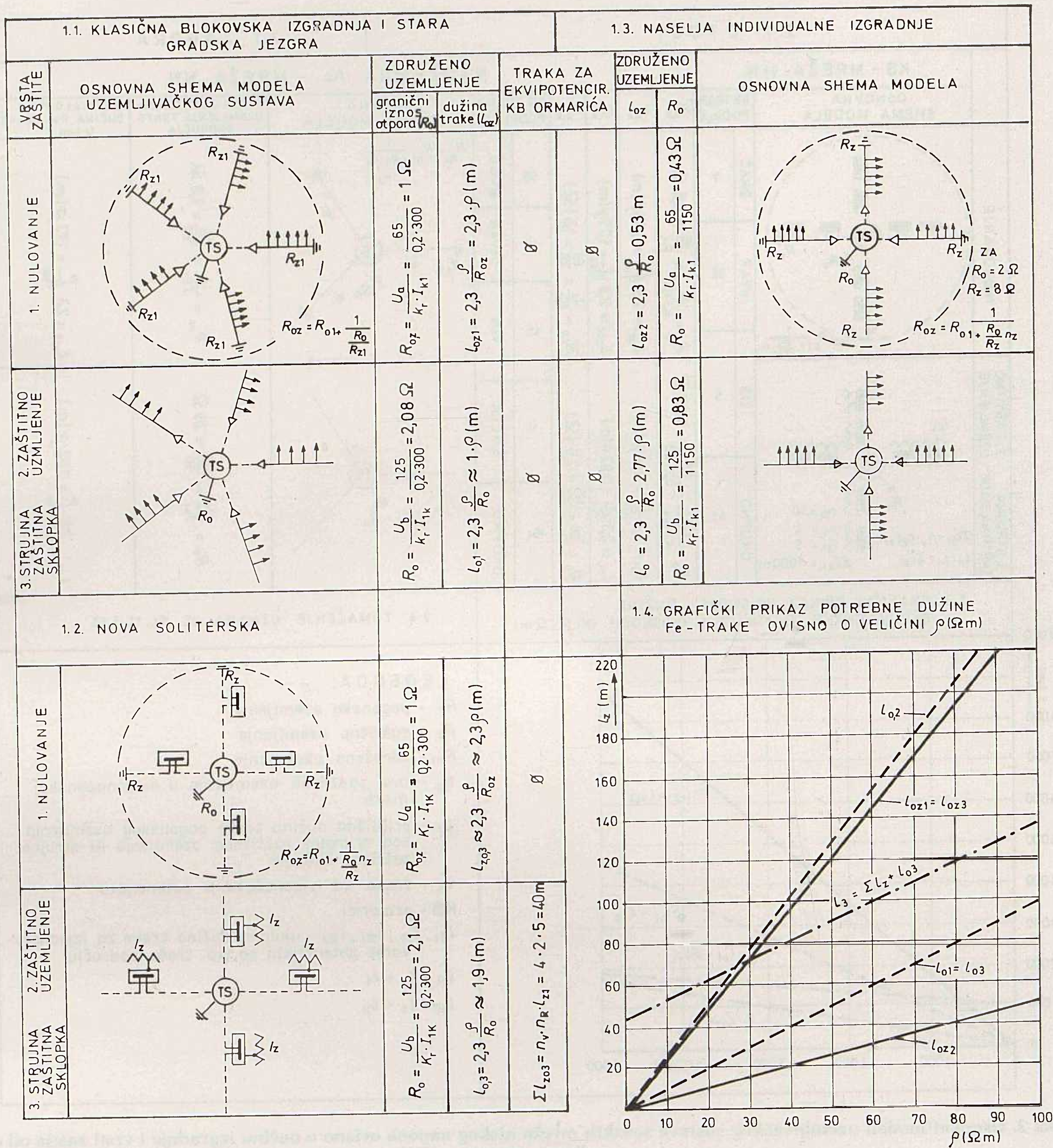
- da u gradskim kabelskim mrežama niskog napona nulovanje ne utječe na ekonomiju izgradnje;
- da svim drugim slučajevima gradskih i seoskih nadzemnih i miješanih mreža niskog napona nulovanje bitno povećava troškove izgradnje posebno u postojećim mrežama niskog napona koje karakterizira visoki stupanj podizgrađenosti, u čemu se naročito ističe Zagora i prigradska naselja, tzv. neregulirane ili divlje gradnje.

Parcijalni dio troškova uvjetovan vrstom zaštite od indirektnog dodira napona kod sustava uzemljenja po tipovima naselja odnosno mreža niskog napona numerički je dan u tablici 6.

**Tablica 6. Parcijalni troškovi uzemljivačkog sustava mreže N.N. specificirani po vrstama zaštite i tipovima naselja (u milijunima dinara)**

Struktura naselja		Broj trafopodručja 10/0,4 kV	Iznosi po vrstama zaštite		
Tip naselja	Vrsta izgradnje		Nulovanje	Zaštitno uzemljenje	Strujna zašt. sklopka
1. Grad	1.1. Klasična blokovska i stara gradska jezgra	43	$0,989 \times \rho$	$0,01 \times \rho$	$0,01 \times \rho$
	1.2. Nova soliterska	246	$5,66 \times \rho$	$98,4 + 0,01 \times \rho$	$98,4 + 0,01 \times \rho$
	1.3. Individualna	290	$1,54 \times \rho$	$8,03 \times \rho$	$8,03 \times \rho$
	Ukupno	579	$8,19 \times \rho$	$98,4 + 8,05 \times \rho$	$98,4 + 8,05 \times \rho$
2. Sela	2.1. Zagora	263	$4,65 \times \rho$	$4,65 \times \rho$	$2,43 \times \rho$
	2.2. Otoci	215	$30,57 \times \rho$	$432 \times \rho$	$432 \times \rho$
	Ukupno	478	$35,22 \times \rho$	$434,42 \times \rho$	$434,42 \times \rho$
Sveukupno		1 057	$43,41 \times \rho$	$98,4 + 442,47 \times \rho$	$442,47 \times \rho$

\*  $\rho$  — specifični otpor tla ( $\Omega \cdot m$ )



Slika 1. Osnovni modeli uzemljivačkog sustava gradskih mreža niskog napona o visno o načinu izgradnje i vrsti zaštite od dodirnog napona

Na temelju rezultata iz slika 1. i 2. vidi se da:

- U kabelskim mrežama troškovi uzemljivačkog sustava distributivne mreže 0,4 kV i pripadajućih TS 10/0,4 kV veći su kod nulovanja od odgovarajućih troškova zaštitnog uzemljenja i strujne zaštitne sklopke kod kolektivne izgradnje u Splitu za  $\rho \geq 30 (\Omega \text{ m})$ , a kod individualne izgradnje na otocima tek za  $\rho \geq 1.500 (\Omega \text{ m})$
- U nadzemnim mrežama troškovi uzemljivačkog sustava distributivnih mreža 0,4 kV i pripadajućih TS 10/0,4 kV veći su kod nulovanja od odgovarajućih troškova zaštitnog uzemljenja ili strujne za-

štitne sklopke, bez obzira na iznos specifičnog otpora tla ( $\rho$ ) za oko 2 puta.

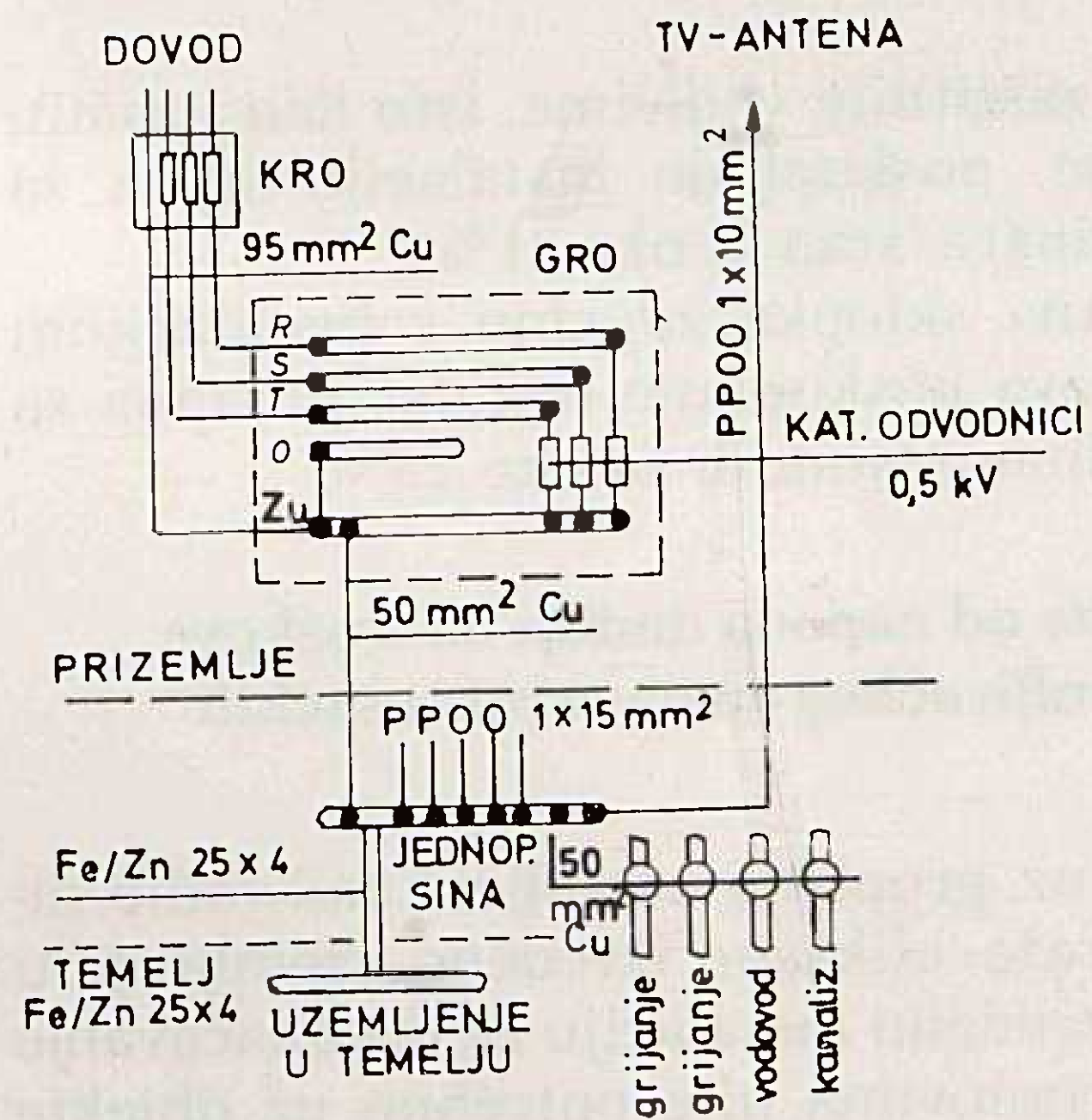
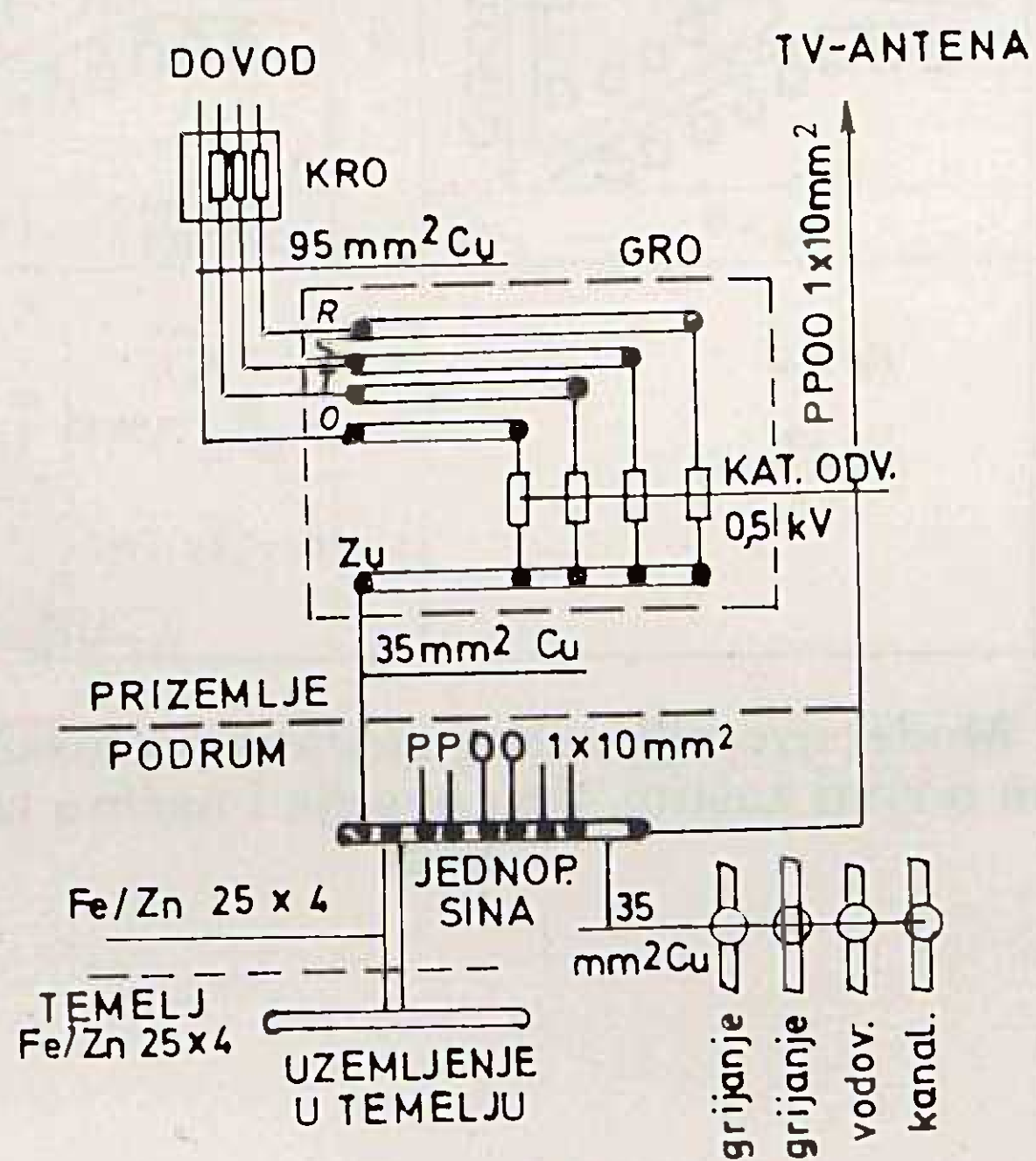
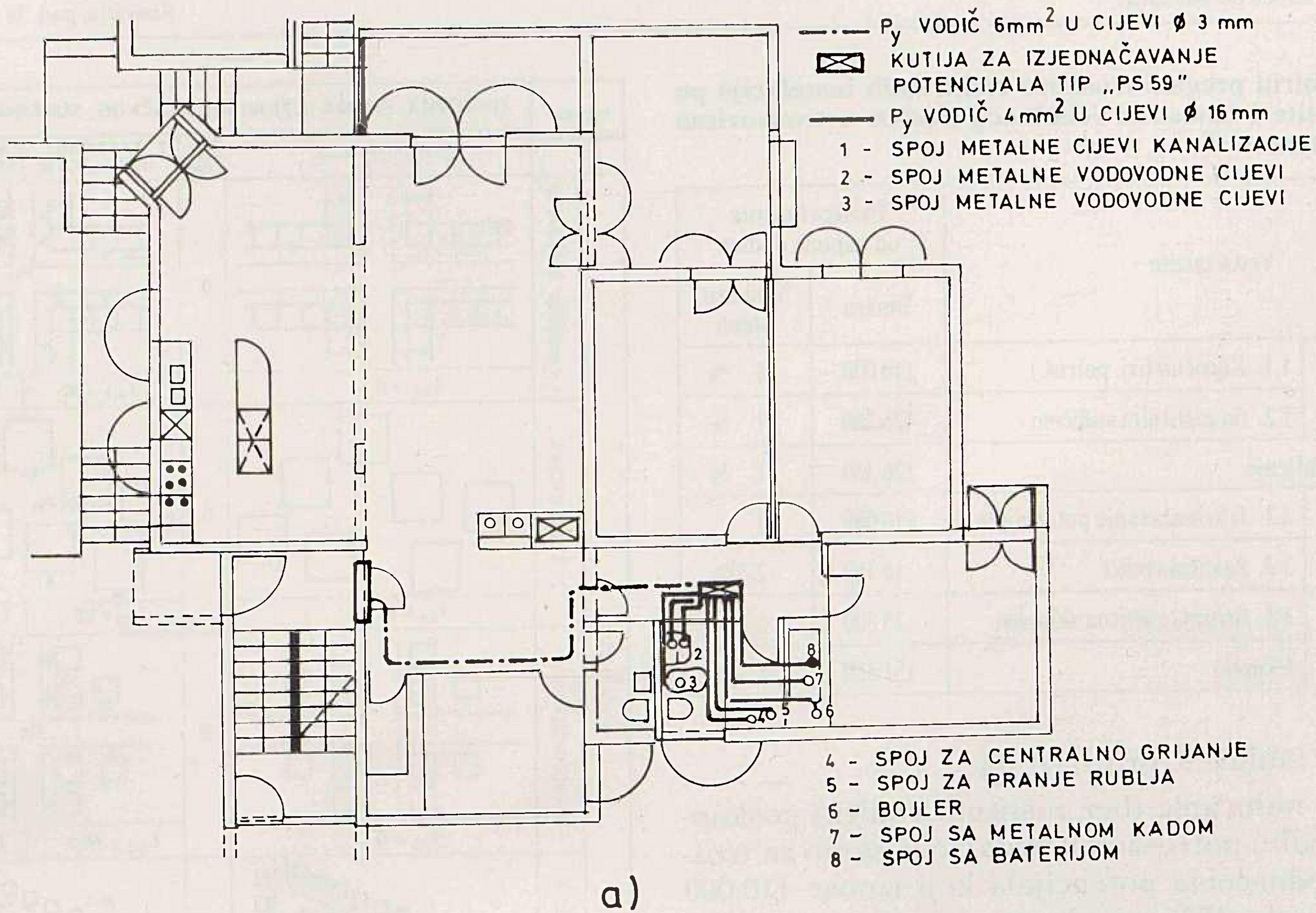
### 2.3. Utjecaj zaštite od napona dodira na troškove izgradnje potrošačkih instalacija

Svaku instalaciju stana, s obzirom na problem zaštite od napona dodira, možemo podijeliti na tri dijela:

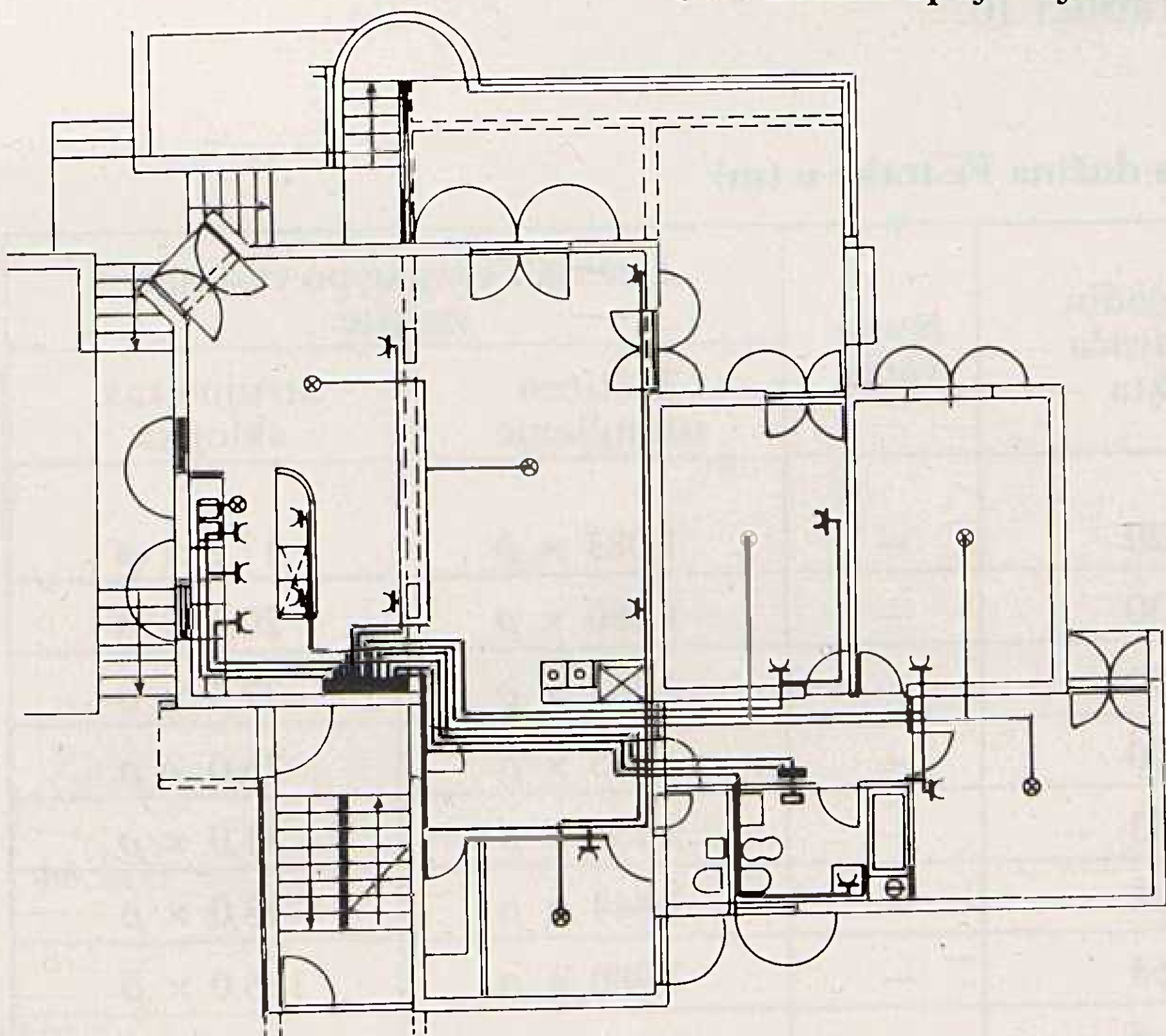
- osnovnu električnu instalaciju stana za priključak trošila;
- instalaciju za izjednačavanje potencijala;
- instalaciju zaštitnih vodova i uređaja.







Slika 3. a — tlocrt instalacije vodova za izjednačenja potencijala; b — shema spoja izjednačenja potencijala bez nulovanja; c — shema spoja izjednačenja potencijala kod nulovanja



Slika 4. Primjer izvedbe zaštitnih vodova instalacije stana

Tablica 8. Udio zaštitnih vodiča u troškovima instalacije stana u dinarima i %

Instalacija zaštitnim vodovima	Tip	Prosjeck	Dužina (m)	Jedinična cijena dinara/m	Iznos dinara
1. Instalacija zaštitnim vodovima	PGP (PPR/R)	$5 \times 2,5 \text{ mm}^2$	20 m	430	8 600
	PGP	$3 \times 2,5 \text{ mm}^2$	25 m	286	7 150
	PP/R	$3 \times 2,5 \text{ mm}^2$	120 m	254	30 480
	PP/R	$3 \times 15 \text{ mm}^2$	80 m	197	15 760
	Ukupno				
2. Instalacija bez zašt. vod	PGP (PP/R)	$4 \times 25 \text{ mm}^2$	20 m	344	6 880
	PGP	$2 \times 25 \text{ mm}^2$	25 m	144	3 600
	PP/R	$2 \times 25 \text{ mm}^2$	120 m	197	23 640
	PP/R	$2 \times 15 \text{ mm}^2$	80 m	140	11 200
	Ukupno				
Razlika				din	16 380
				%	18% (el. inst.)

**Tablica 9. Zbirni pregled troškova električnih instalacija po vrstama zaštite i iznosima relativnog učešća u troškovima instalacije stana u %**

Vrsta zaštite		Troškovi zaštite od napona dodira	
		Dinara	% od inst. stana
1. nulovanje	1.1. Klasično (izj. potroš.)	110 000	18 %
	1.2. Sa zaštitnim vodičem	126 380	21 %
2. zaštitno uzemljenje		126 380	21 %
3. strujna zaštitna sklopka	3.1. Izjednačavanje potencijala	110 000	21
	3.2. Zaštitni vodiči	16 380	2,73%
	3.3. Strujna zaštitna sklopka	25 000	6,25%
	Ukupno	151 380	25 %

Iz slike 3. i tablice 9. proizlazi da:

- klasično nulovanje (bez zaštitnih vodiča) poskupljuje izvedbu potrošačkih instalacija samo za troškove izjednačenja potencijala koji iznose 110 000 dinara ili oko 18% vrijednosti električne instalacije stana;
- nulovanje sa zaštitnim vodičima, isto kao i zaštitno uzemljenje, poskupljuje instalacije stana za oko 126 380 dinara/stan ili oko 21%;
- strujna zaštitna sklopka zajedno s instalacijom zaštitnih vodova poskupljuje instalaciju stana za oko 151 380 dinara/stan ili za oko 25%.

**2.4. Utjecaj zaštite od napona dodira na troškove izvedbe uzemljivačkog sustava potrošačkih instalacija**

Kod nulovanja, uz propisno uzemljeni nul-vodič niskonaponske mreže, efikasno izvedeno uzemljenje u TS 10/0,4 kV, i izvedenu instalaciju za izjednačavanje potencijala po stanovima nije potrebno uz objekte potrošača izvoditi nikakve dodatne uzemljivače (JUS-NB2 754.2.1.1). Kod zaštitnog uzemljenja i strujne zaštitne sklopke svaki objekt mora imati odgovarajuće zaštitno uzemljenje, što je ovisno o vrsti izgradnje, kao što je prikazano na slici 5.

VRSTA NASELJA	OSNOVNA SHEMA UZEMLJENJIVAČKOG SUSTAVA OBJEKATA			
	1. NULOVANJE	BROJ UZEMLJENJA	2. ZAŠTITNO UZEMLJENJE	3. STRUJNA ZAŠTITNA SKLOPKA
GRADOVI	1. KLASIČNA BLOKOVSKA	0	$R_{z1}$	25
		$L_{z0} = 0$	$L_{z2} = 30$	$L_{z3} = 0,259$
	2. SOLITERSKA	0	$R_{z1}$	8
		$L_{z0} = 0$	$L_{z2} = 9,6$	$L_{z3} = 0,336 \rho$
3. INDIVIDUALNA	0	$R_{z1}$	55	
	$L_{z0} = 0$	$L_{z2} = 66 \rho$	$L_{z3} = 1,1 \rho$	
4. SEOSKA NASELJA	0	$R_{z1}$	ZAGORA 31 OTOCI 21	
	$L_{z0} = 0$	$L_{z2} = 37,2 \rho$ $= 25,2 \rho$	$L_{z3} = 0,31 \rho$ $= 0,21 \rho$	
GRANIČNI IZNOS OTPORA UZEMLJENJA	$R_z = 0$ $L_{z0} = 0$	$R = \frac{65V}{k_x I_n} = \frac{65}{35 \cdot 10} = 1,86 \Omega$	$R_{z3} = \frac{65}{\sum_{i=1}^n a_i I_{szsi}} = \frac{65}{a \cdot n_{szs} I_{szs}}$ za $I_{szs} = 0,3A$ ovisno o $n_{szs} R_{z3} \rightarrow L_{z3}$ iznosi	
		$L_z = 1,2 \rho [m]$	$\rho_{szs}$ 1 2-4 5-10 > 10 a 1 0,5 0,35 0,25 $R_{z3} (\Omega)$ 216 108 75,6 54 $L_{z3} = 2,3 \frac{\rho}{R_{z3}} (m)$ 001,9 0,029 0,039 0,0429	

**Slika 5. Model uzemljivačkog sustava potrošačkih instalacija ovisno o vrsti zaštite, tipu naselja i načinu izgradnje objekata**

Uzimajući u obzir i broj tipskih trafopodručja iz slike 5, odgovarajuća ukupna dužina trake po vrstama izgradnje za područje »Distribucije« Split dana je u tablici 10.

**Tablica 10. Procjena potrebnog broja uzemljivača i ekvivalentna dužina Fe-trake u (m)**

Tip naselja	Vrsta izgradnje	Broj pojedin. uzemljivača objekta	Nulovanje	Dužina Fe-trake po vrstama zaštite	
				Zaštitno uzemljenje	Strujna zaš. sklopka
1. Grad	1.1. Klasična blokovska i stara gradska jezgra	1 720	—	$1 083 \times \rho$	$17,2 \times \rho$
	1.2. Nova soliterska	2 030	—	$1 280 \times \rho$	$20,3 \times \rho$
	1.3. Individualna	3 750	—	$2 362 \times \rho$	$37,5 \times \rho$
	Ukupno	7 500	—	$4 725 \times \rho$	$75,0 \times \rho$
2. Selo	2.1. Zagora	8 153	—	$5 136 \times \rho$	$81,0 \times \rho$
	2.2. Otoki	4 515	—	$2 844 \times \rho$	$45,0 \times \rho$
	Ukupno	12 668	—	$7 980 \times \rho$	$126,0 \times \rho$
Sveukupno		20 169	—	$12 766 \times \rho$	$202,0 \times \rho$

## 2.5. Ukupni troškovi potrošačkih instalacija i uzemljenja stambenih objekata

Kako u stvarnosti svi troškovi uzrokovani promjenom pojedinih zaštitnih mjera na jednom stambe-

nom objektu idu zajedno, u tablici 11. prikazan je, na temelju rezultata tablice 8. i 9, zbirni prikaz utjecaja pojedinih zaštitnih mjera na troškove potrošačkih instalacija.

Tablica 11. Zbirni prikaz troškova električnih instalacija objekata po vrstama zaštite i tipovima naselja ovisno o iznosima specifičnog otpora tla ( $\rho$  u  $\Omega\text{m}$ )

Tip naselja	Vrsta izgradnje	Braoj stanova	Iznos troškova po vrstama zaštite u milijunima dinara			
			Nulovanje		Zaštitno juzemljenje	Strujna zaštitna sklopka
			Klasično	Sa zašt. vodičem		
1. Grad	1.1. Klasična blokovsa i stara gradska jezgra	14 000	1 540	1 769	$1 769 + 10,83 \times \rho$	$1 769 + 0,17 \times \rho$
	1.2. Nova soliterska	27 500	3 025	3 480	$3 480 + 10,85 \times \rho$	$3 480 + 0,17 \times \rho$
	1.3. Individualna naselja	31 000	3 335	3 855	$3 850 + 105 \times \rho$	$4 693 + 1,59 \times \rho$
	Ukupno	72 500	7 900	9 104	$9 104 + 125 \times \rho$	$10 975 + 1,93 \times \rho$
2. Sela	2.1. Zagora	13 389	1 473	1 687	$1 687 + 51,4 \times \rho$	$2 027 + 0,815 \times \rho$
	2.2. Otoci	10 249	1 127	1 295	$1 295 + 3,25 \times \rho$	$1 55 + 0,516 \times \rho$
	Ukupno	23 638	2 600	2 987	$2 985 + 83,9 \times \rho$	$3 578 + 1,331 \times \rho$
Sveukupno		96 138	10 575	12 150	$12 150 + 209 \times \rho$	$14 553 + 3,26 \times \rho$

Rezultati iz tablica 7–11. pokazuju sljedeće:

- Troškovi uzemljivačkog sustava samo potrošačkih instalacija na području »Distribucije« Split veći su kod strujne zaštitne sklopke za oko  $1,46 \times 10^6$  od nulovanja, a kod zaštitnog uzemljenja čak za  $535 \times 10^6$  dinara.
- Troškovi uzemljivačkog sustava zaštitnog uzemljenja su u globalu za »Distribuciju« Split veći za više od 60 puta od troškova uzemljivačkog sustava kod strujne zaštitne sklopke.
- Zbirni troškovi instalacija i uzemljenja stambenih objekata najniži su kod klasičnog nulovanja, a najveći kod strujne zaštitne sklopke i taj odnos je 1 : 5.
- Kod nulovanja sa zaštitnim vodičem zbirni iznos troškova veći je od klasičnog nulovanja za  $1,565 \times 10^6$  din. ili za 77%.

To praktički znači da je interes za izbor sistema zaštite od dodirnog napona potrošača upravo suprotan od onog u distributivnim mrežama, što često u primjeni rezultira različitim stavovima i rezultatima. Prema tome, jedini pravi kriterij za izbor optimalnog sistema zaštite jest onaj koji polazi s općeg društvenog kriterija izbora najracionalnijeg sistema, dakle onaj koji polazi od kriterija minimuma ukupnih troškova distribucije i potrošača.

## 3. PRIKAZ GLOBALNE STRUKTURE TROŠKOVA I EKONOMIČNO PODRUČJE PRIMJENE POJEDINIH VRSTA ZAŠTITE

### 3.1. Prikaz globalne strukture troškova

Polazeći od rezultata analize parcijalnih troškova elemenata elektrodistributivnog podsistema niskog napona ovisnih o vrsti zaštite od indirektnog dodira

napona iz točke 2, može je odgovarajućom sintezom načiniti globalna struktura ovih troškova po vrstama zaštite i tipovima naselja odnosno mreža niskog napona, kao što je to numerički dano u tablici 12.

Na temelju ovih rezultata moguće je, ovisno o tekućim cijenama izvedbe, provesti detaljnu analizu ovisnosti troškova o vrsti zaštite od napona dodira posebno:

- u distributivnim mrežama
- u električnim instalacijama potrošača;

po vrstama distributivne mreže:

- kabela mreža i
- nadzemna mreža,

kao i po vrstama izgradnje:

- gradska klasična sa Ač vodičima niskog napona
- gradska nova soliterska sa KB mrežom niskog napona
- gradska individualna sa Ač vodičima
- seoska naselja koja obuhvaćaju: Zagoru sa Ač vodičima i otočna područja pretežno s nadzemnom mrežom, također sa Ač vodičima.

### 3.2. Ekonomično područje primjene pojedinih zaštitnih mjera u gradskim niskonaponskim mrežama

U uvjetima izgradnje gradskih naselja razlikujemo redovito ova tri osnovna tipa izgradnje:

- klasičnu blokovsku i stare gradske jezgre,
- novu solitersku i
- individualnu.

**Tablica 12. Numerički prikaz globalne strukture troškova ovisnih o vrstama zaštite po elementima elektrodistributivnog podsistema niskog napona i tipovima naselja**

Troškovi po vrstama zaštite u milijunima dinara

Tip naselja	Vrsta izgradnje	Elementi elektrodistributiv. podsistema niskog napona	Nulovanje	Zaštitno uzemljenje	Struja zašt. sklopka
1. Gradska	1.1. Klasična blokovska i stare gr. jezgre	Mreža niskog napona	—	—	—
		Uzemljivački sustav	$0,989 \times \rho$	$0,01 \times \rho$	$0,01 \times \rho$
		Potrošačke instalacije	1 540	$1 769 + 10,83 \times \rho$	$1 769 + 0,17 \times \rho$
		Ukupno	$1 540 + 0,989 \times \rho$	$1 769 + 10,84 \times \rho$	$1 769 + 0,18 \times \rho$
	1.2. Nova soliterska	Mreža niskog napona	—	—	—
		Uzemljivački sustav	$5,66 \times \rho$	$98,4 + 0,01 \times \rho$	$98,4 + 0,01 \times \rho$
		Potrošačke instalacije	3 025	$3 480 + 10,85 \times \rho$	$3 480 + 0,17 \times \rho$
		Ukupno	$3 025 + 5,66 \times \rho$	$3 578,4 + 10,8 \times \rho$	$3 938,4 + 0,18 \times \rho$
	1.3. Naselja individualne izgradnje	Mreža niskog napona	6,032	—	—
		Uzemljivački sustav	$1,5 \times \rho$	$8,03 \times \rho$	$8,03 \times \rho$
		Potrošačke instalacije	3 335	$855 + 105 \times \rho$	$4 693 + 1,59 \times \rho$
		Ukupno	$9 367 + 1,5 \times \rho$	$3 855 + 113 \times \rho$	$4 693 + 9,62 \times \rho$
2. Seoska	2.1. Zagora	Mreža niskog napona	67 328	—	—
		Uzemljivački sustav	$4,65 \times \rho$	$2,42 \times \rho$	$2,42 \times \rho$
		Potrošačke instalacije	1 473	$1 687 + 51,4 \times \rho$	$2 027 + 0,815 \times \rho$
		Ukupno	$68 801 + 4,65 \times \rho$	$1 687 + 83,8 \times \rho$	$2 027 + 3,2 \times \rho$
	2.2. Otoci	Mreža niskog napona	—	—	—
		Uzemljivački sustav	$30,57 \times \rho$	$432 \times \rho$	$432 \times \rho$
		Potrošačke instalacije	1 127	$1 295 + 32,5 \times \rho$	$1 551 + 0,51 \times \rho$
		Ukupno	$1 127 + 30,5 \times \rho$	$1 295 + 464,5 \times \rho$	$1 551 + 432,5 \times \rho$
	Mreža niskog napona	73 360	—	—	
	Uzemljivački sustav	$43,41 \times \rho$	$98,4 + 1 442,77 \times \rho$	$98,4 + 442,77 \times \rho$	
	Potrošačke instalacije	10 576	$12 150 + 209 \times \rho$	$14 553 + 3,26 \times \rho$	
	Sveukupno	$83 936 + 43,4 \times \rho$	$12 248,4 + 651,8 \times \rho$	$14 651 \times 4 + 446 \times \rho$	

### 3.2.1. Ekonomično područje primjene pojedinih zaštita u uvjetima klasične blokovske izgradnje i stare gradske jezgre

Zbog zornije mogućnosti međusobne usporedbe dijelova globalne strukture troškova u uvjetima klasične blokovske izgradnje i stare jezgre numerički podaci iz tablice 12. grafički su prikazani na slici 6.

### 3.2.2. Ekonomično područje primjene pojedinih zaštitnih mjera u uvjetima nove soliterske izgradnje

Novu solitersku izgradnju karakterizira znatno veća gustoća stanovanja, pa time i gustoća konzuma električne energije zbog čega glavni vodovi niskog napona imaju ulogu tzv. priključnih vodova. Mreža niskog napona isključivo je kabelaška, a grafička interpretacija numeričkih veličina iz tablice 12. prikazana je na slici 7.

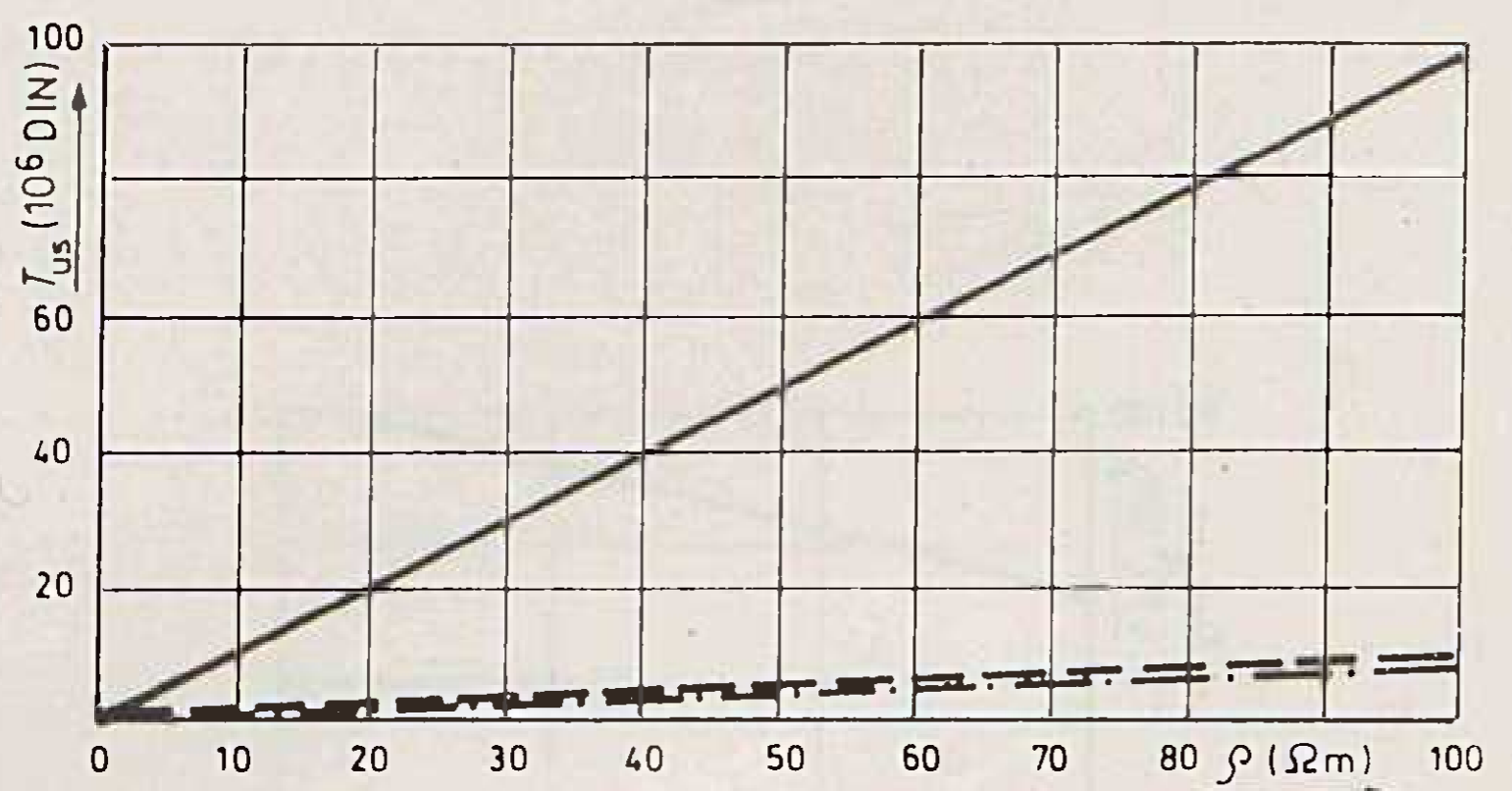
### 3.2.3. Ekonomično područje primjene pojedinih zaštitnih mjera u uvjetima gradskih naselja individualne izgradnje

Ova naselja karakterizira miješana mreža (KB + DV) na 10 kV i na niski napon s relativno dugim zračnim izvodima 0,4 kV i s velikim brojem objekata tzv. neregulirane ili divlje gradnje (u Splitu oko 4 500 ili svaki sedmi objekt), pri čemu većina trafo-područja 10/0,4 kV ne zadovoljava tehničke kriterije ni uvjete bezopasnosti.

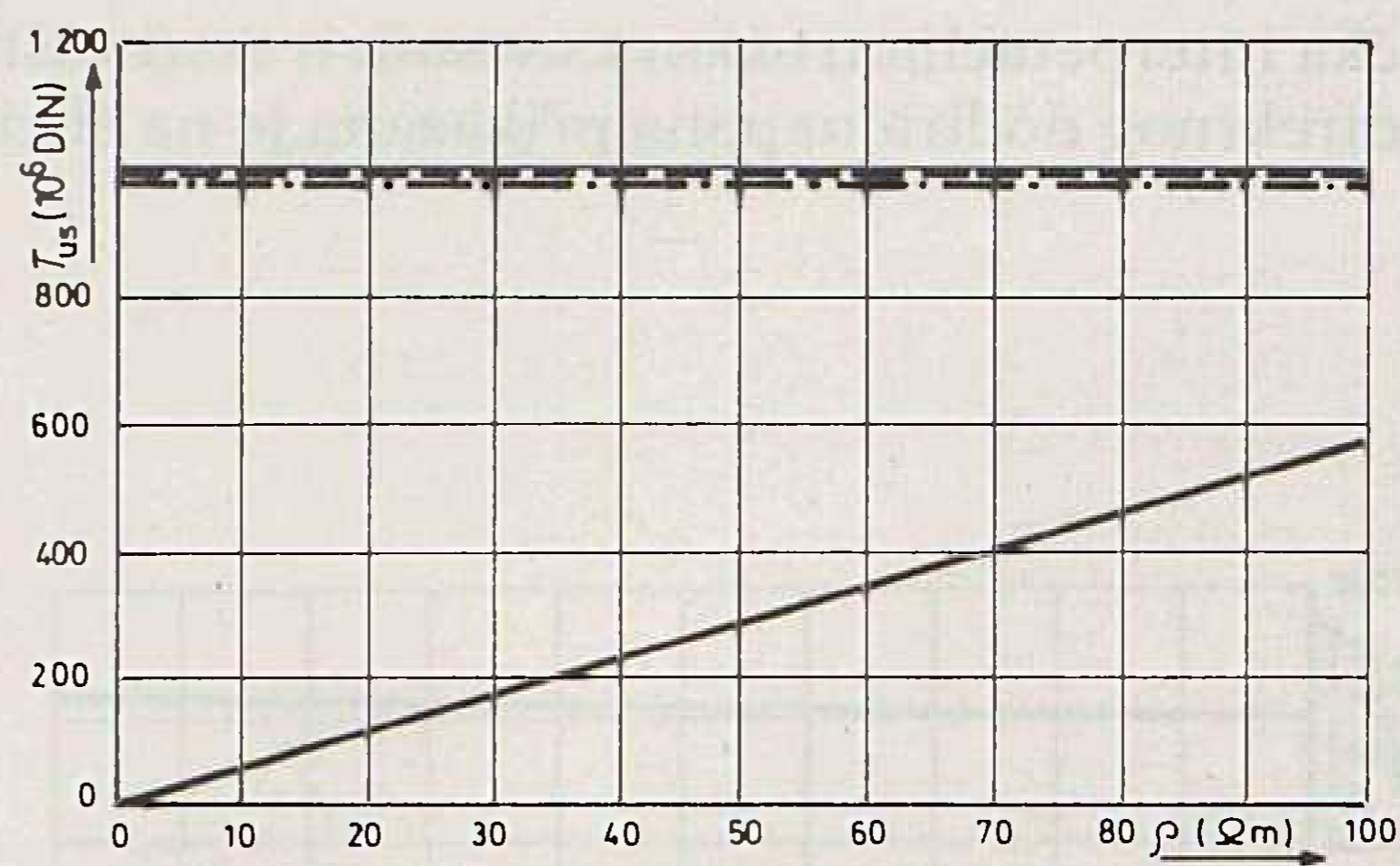
Grafička interpretacija numeričkih veličina iz tablice 12 za dio koji se odnosi na mrežu niskog napona u uvjetima gradskih naselja individualne izgradnje prikazana je na slici 8.

### 3.3. Ekonomično područje primjene pojedinih vrsta zaštite u uvjetima seoske elektrifikacije

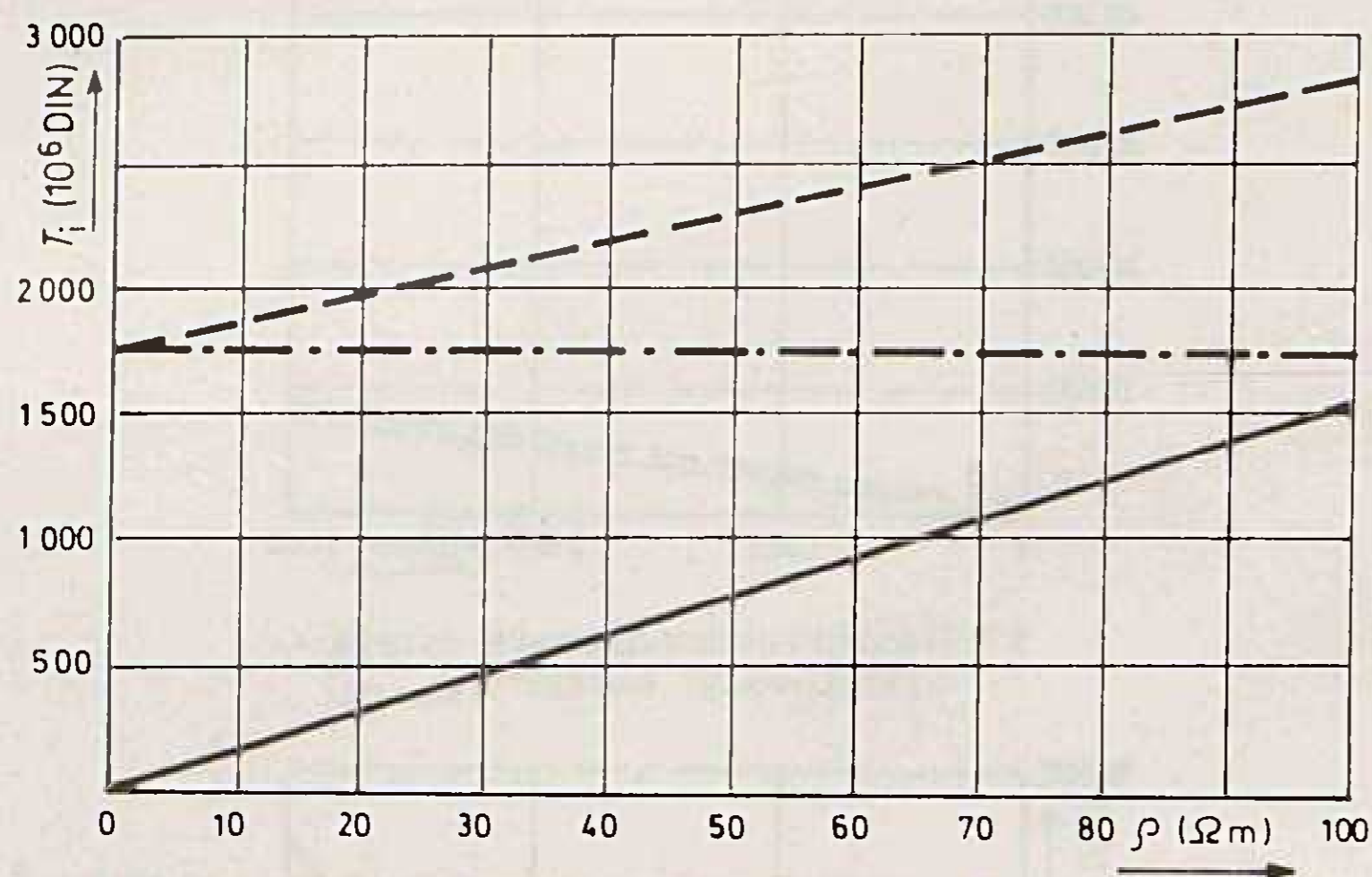
Ovdje, kao što je već navedeno, razlikujemo dva karakteristična slučaja:



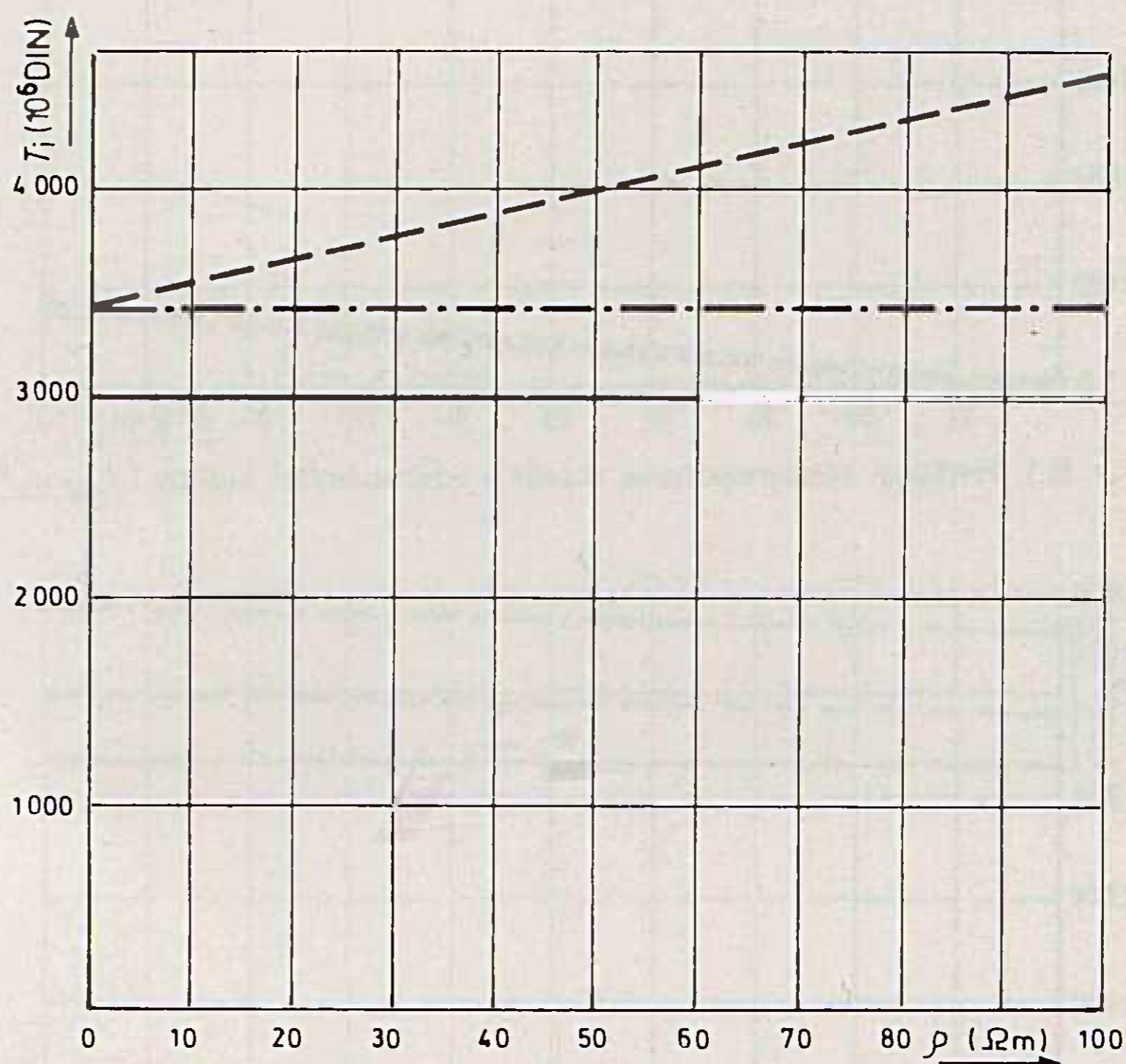
6.1. Troškovi uzemljivačkog sustava u niskonaponskoj mreži ( $T_{us}$ )



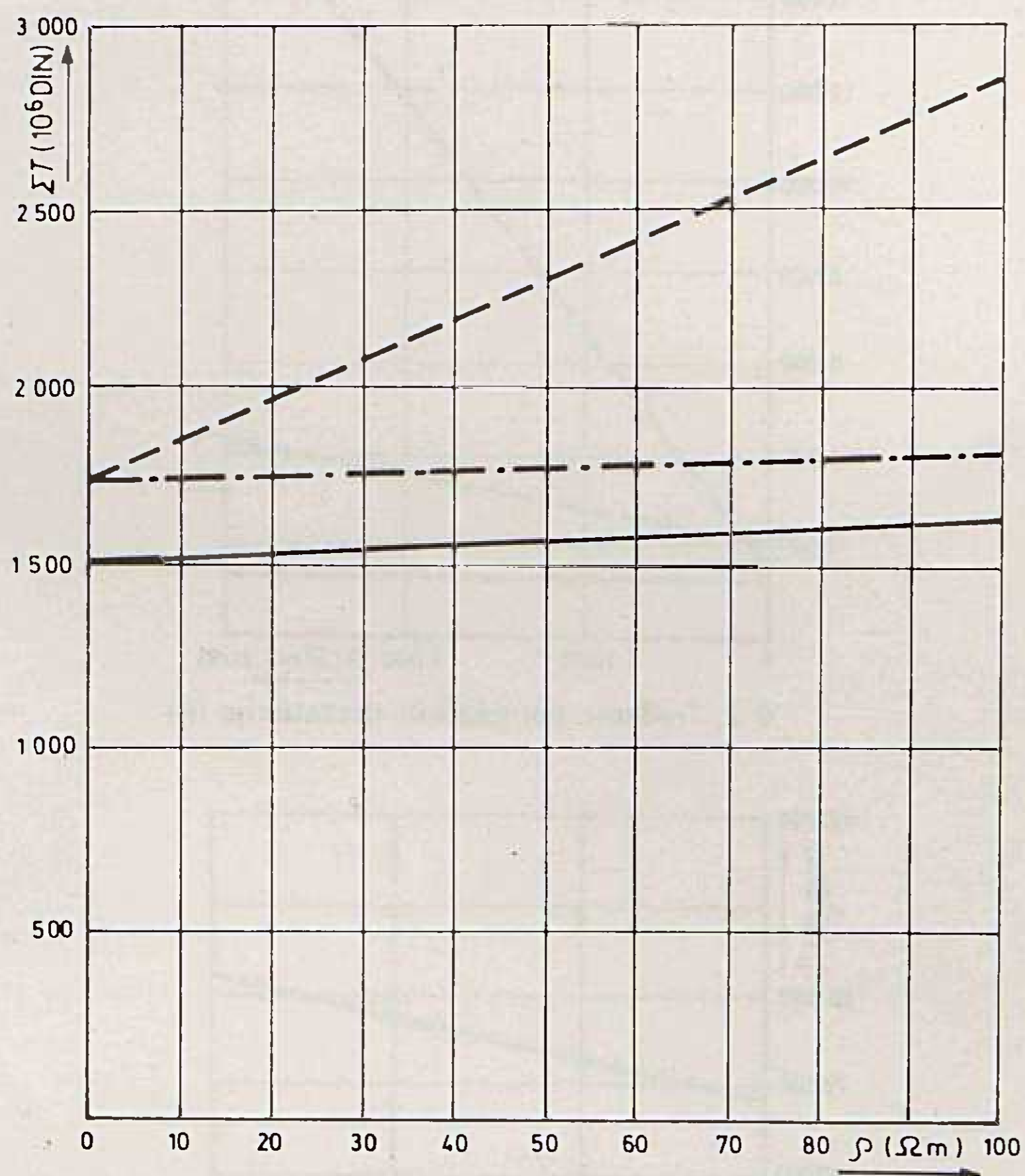
7.1. Uzemljivački sustav niskonaponske mreže



6.2. Troškovi potrošačkih instalacija ( $T_i$ )



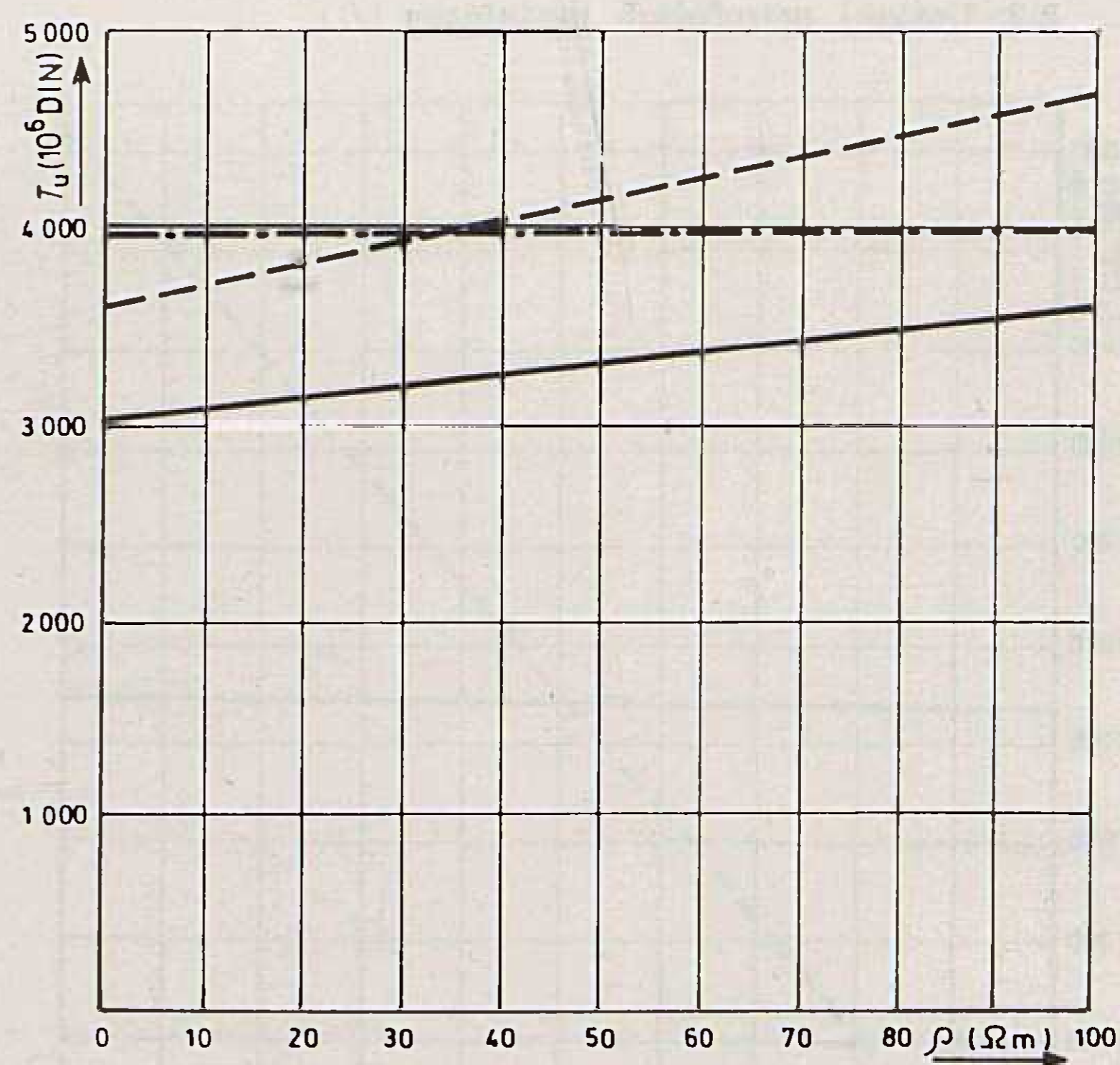
7.2. Potrošačke instalacije ( $T_i$ )



6.3. Ukupni troškovi ( $T_u$ )

TUMAČENJE ZA SLIKE 6, 7, 8, 9 i 10

- NULOVANJE
- - - ZAŠTITNO UZEMLJENJE
- · - · - STRUJNA ZAŠTITNA SKLOPKA



7.3. Ukupni troškovi

Slika 6. Globalna struktura troškova klasične blokove izgradnje u ovisnosti o vrsti zaštite i spec. otporu tla  $\rho(\Omega m)$

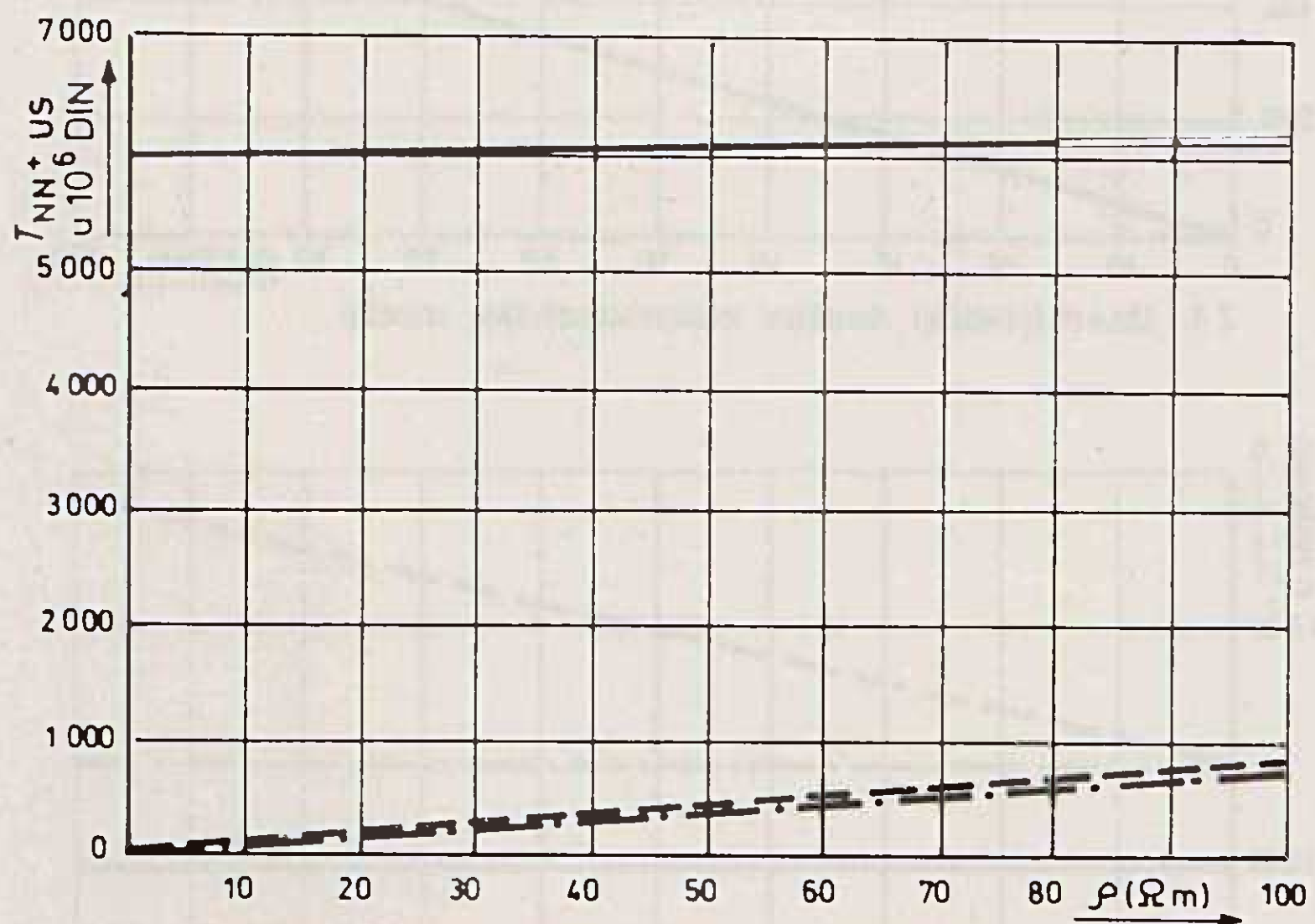
Slika 7. Globalna struktura troškova nove soliterske izgradnje u ovisnosti o vrsti zaštite i specifičnom otporu tla  $\rho(\Omega m)$

- mreže niskog napona u selima Dalmatinske zagore i
- mreže niskog napona u naseljima srednjodalmatinskih otoka.

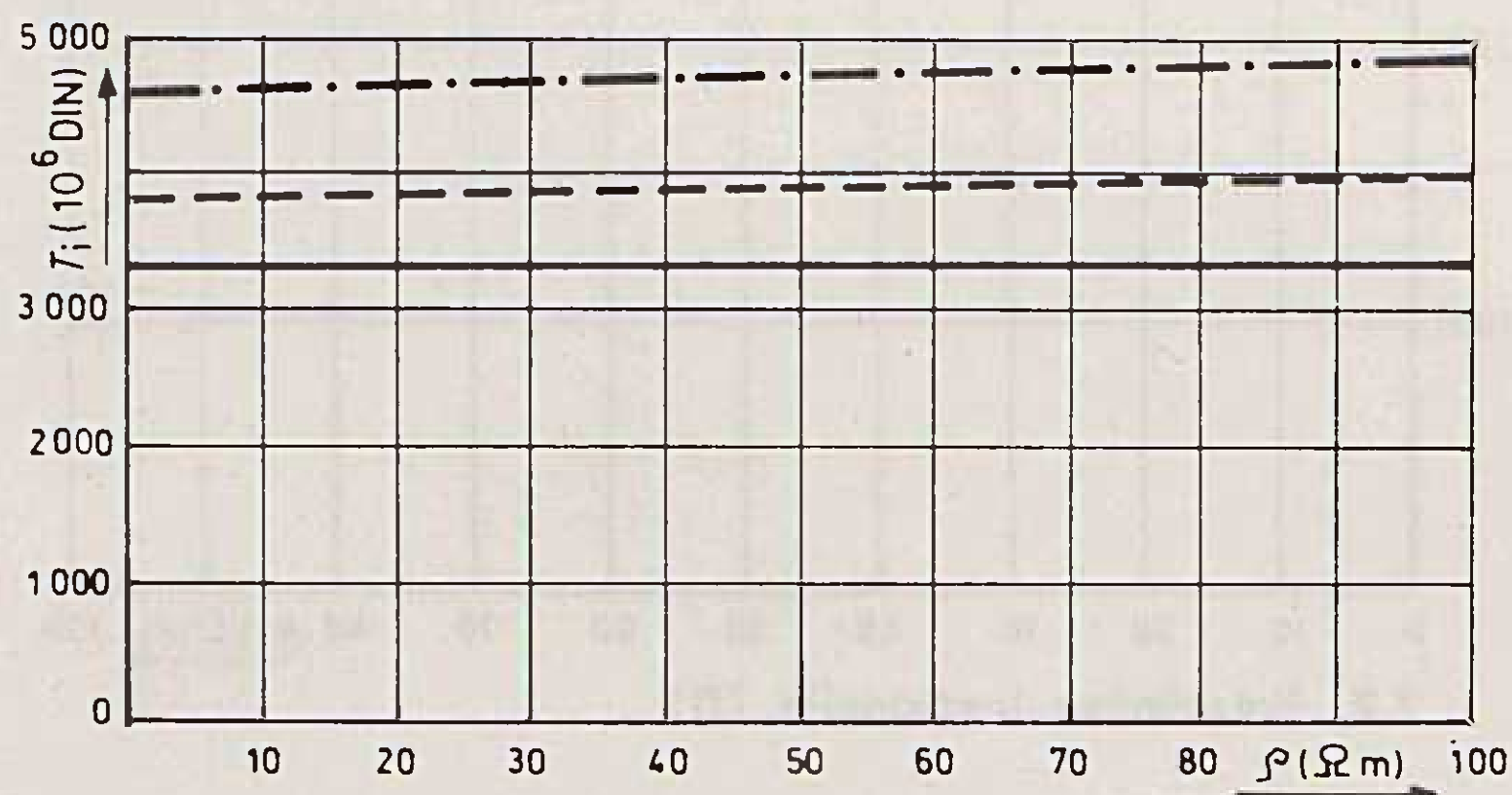
3.3.1. *Ekonomično područje primjene pojedinih vrsta zaštite u uvjetima seoske elektrifikacije Splitske zagore*

Ova naselja karakterizira rijetka naseljenost, relativno visok elektroenergetski standard potrošača i vrlo dugi vodovi niskog napona.

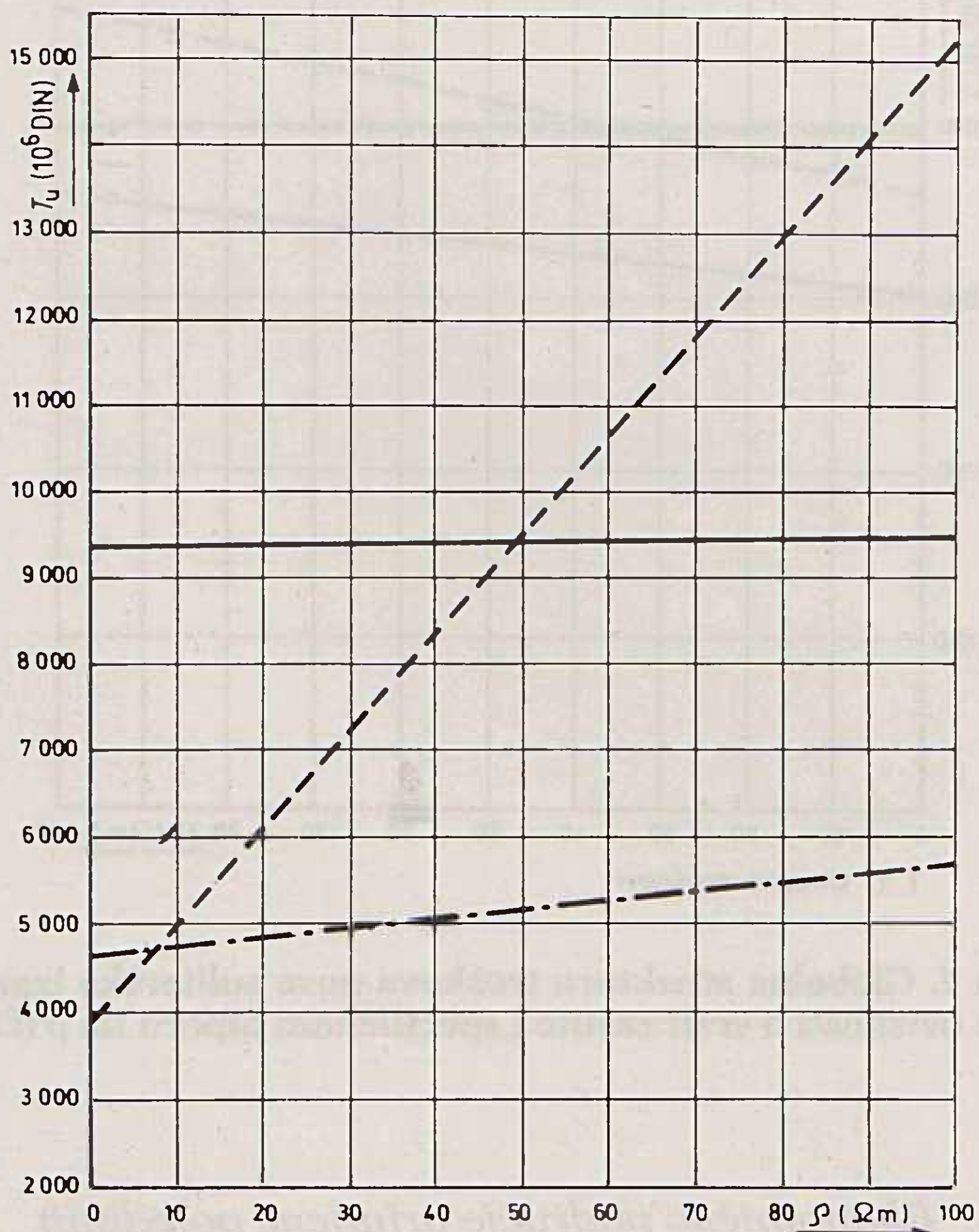
Grafička interpetacija troškova ovisnih o vrsti zaštite od indirektnog dodira napona prikazana je na slici 9.



8.1. Troškovi niskonaponske mreže + uzemljivački sustav ( $T_{NN+US}$ )

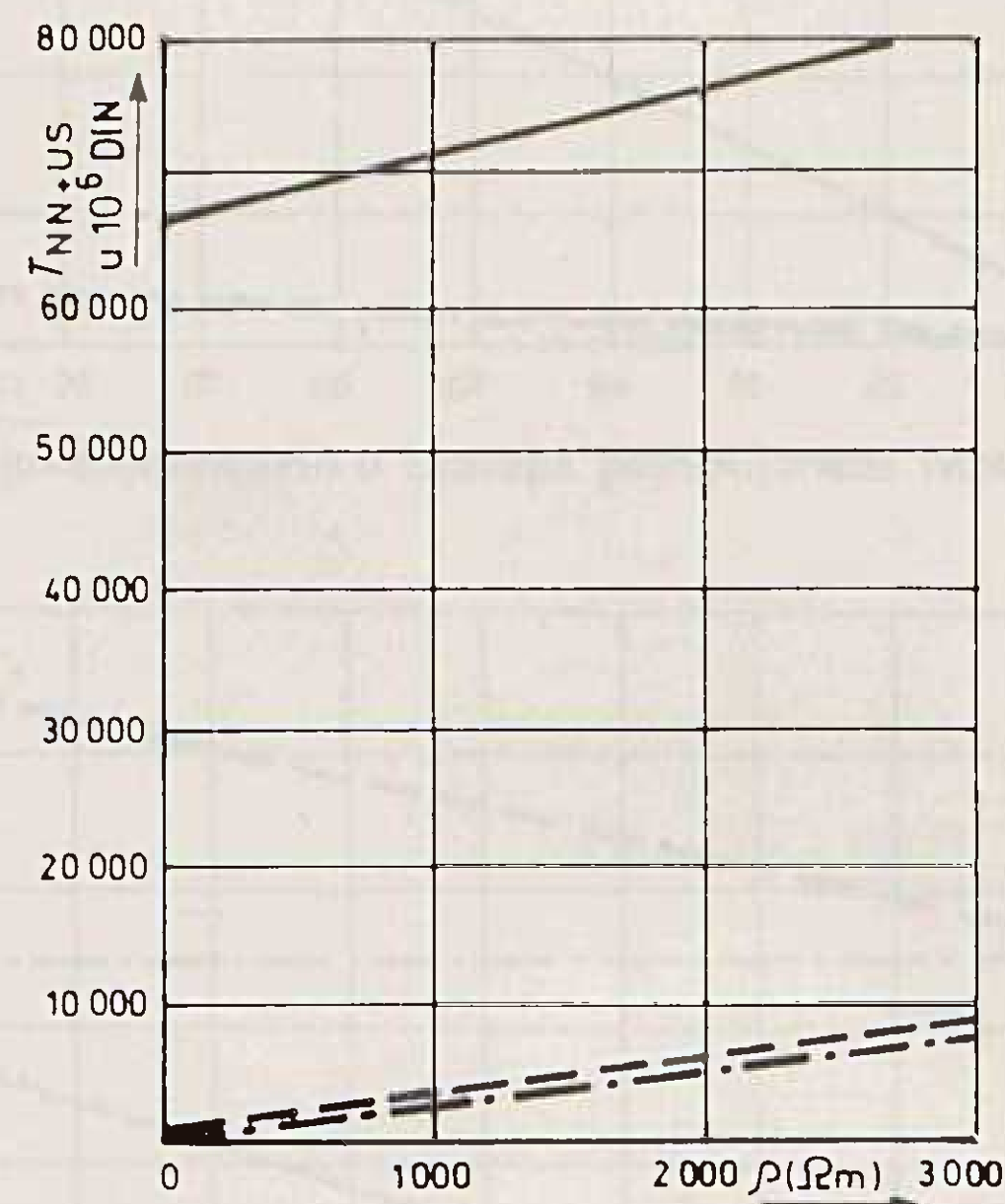


8.2. Troškovi potrošačkih instalacija ( $T_i$ )

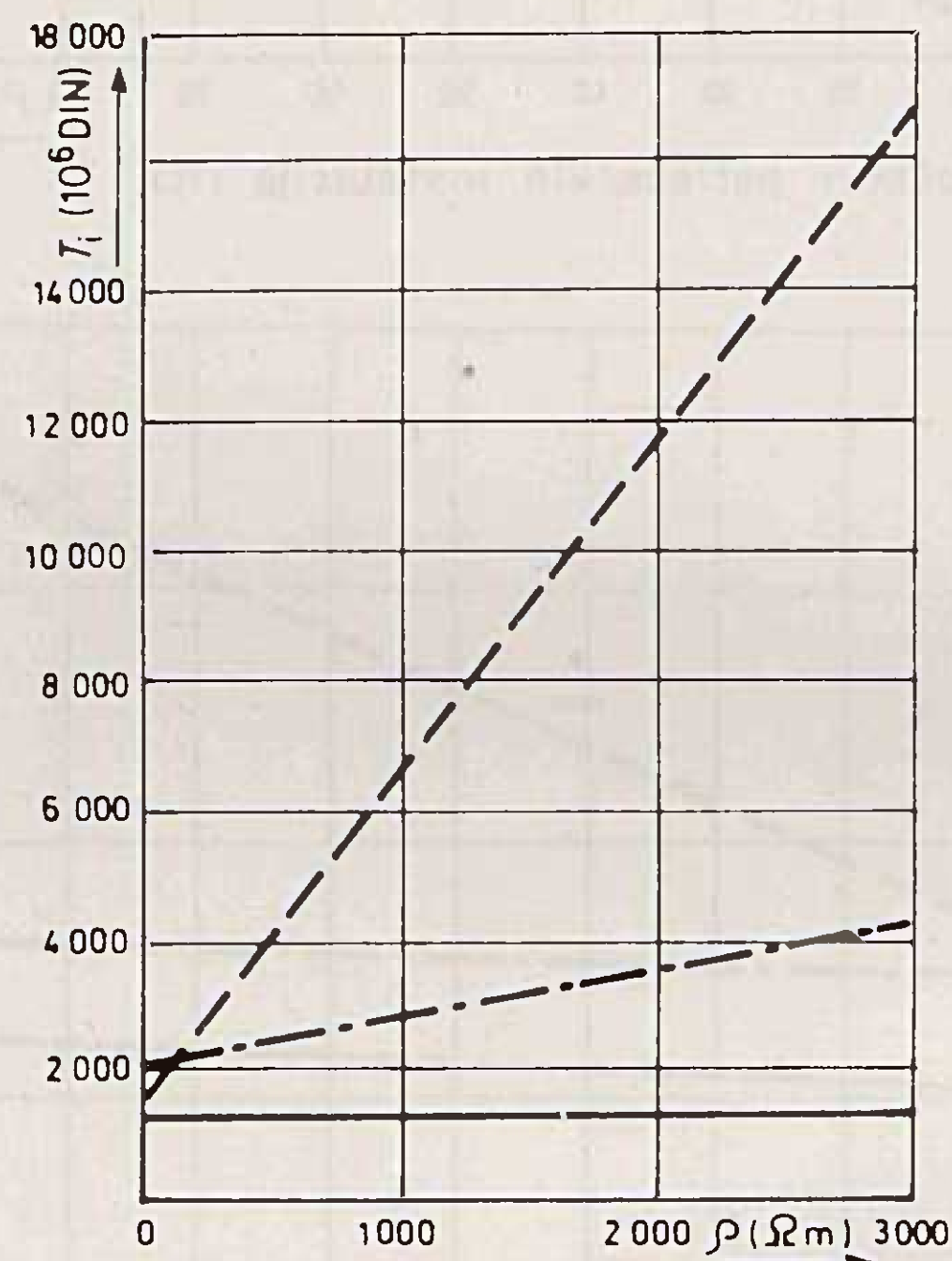


8.3. Ukupni troškovi ( $T_u$ )

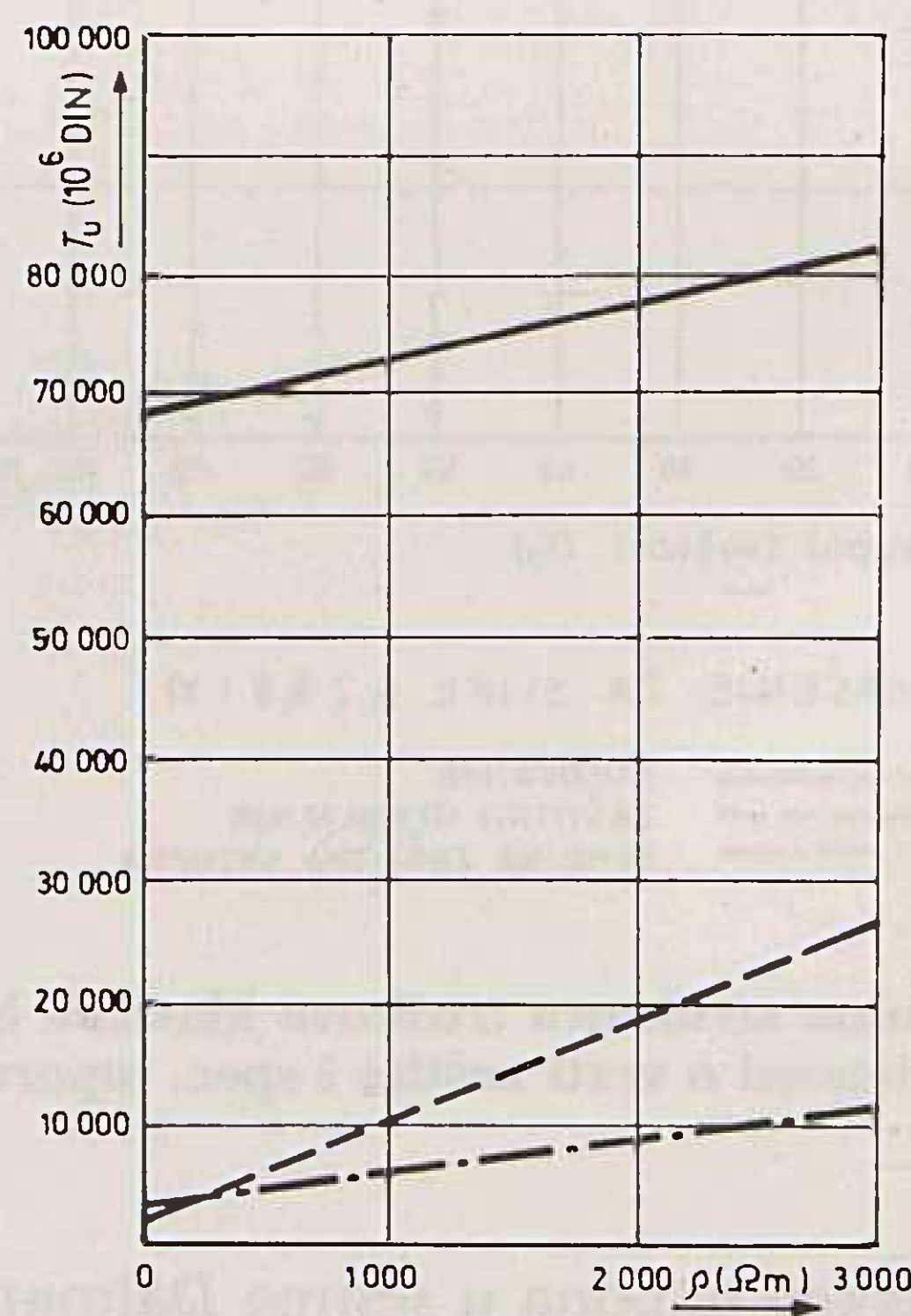
Slika 8. Globalna struktura troškova u naseljima gradske individualne izgradnje u ovisnosti o vrsti zaštite i spec. otporu tla  $\rho(\Omega m)$



9.1. Troškovi niskonaponske mreže + uzemljivački sustav ( $T_{NN+US}$ )



9.2. Troškovi potrošačkih instalacija ( $T_i$ )



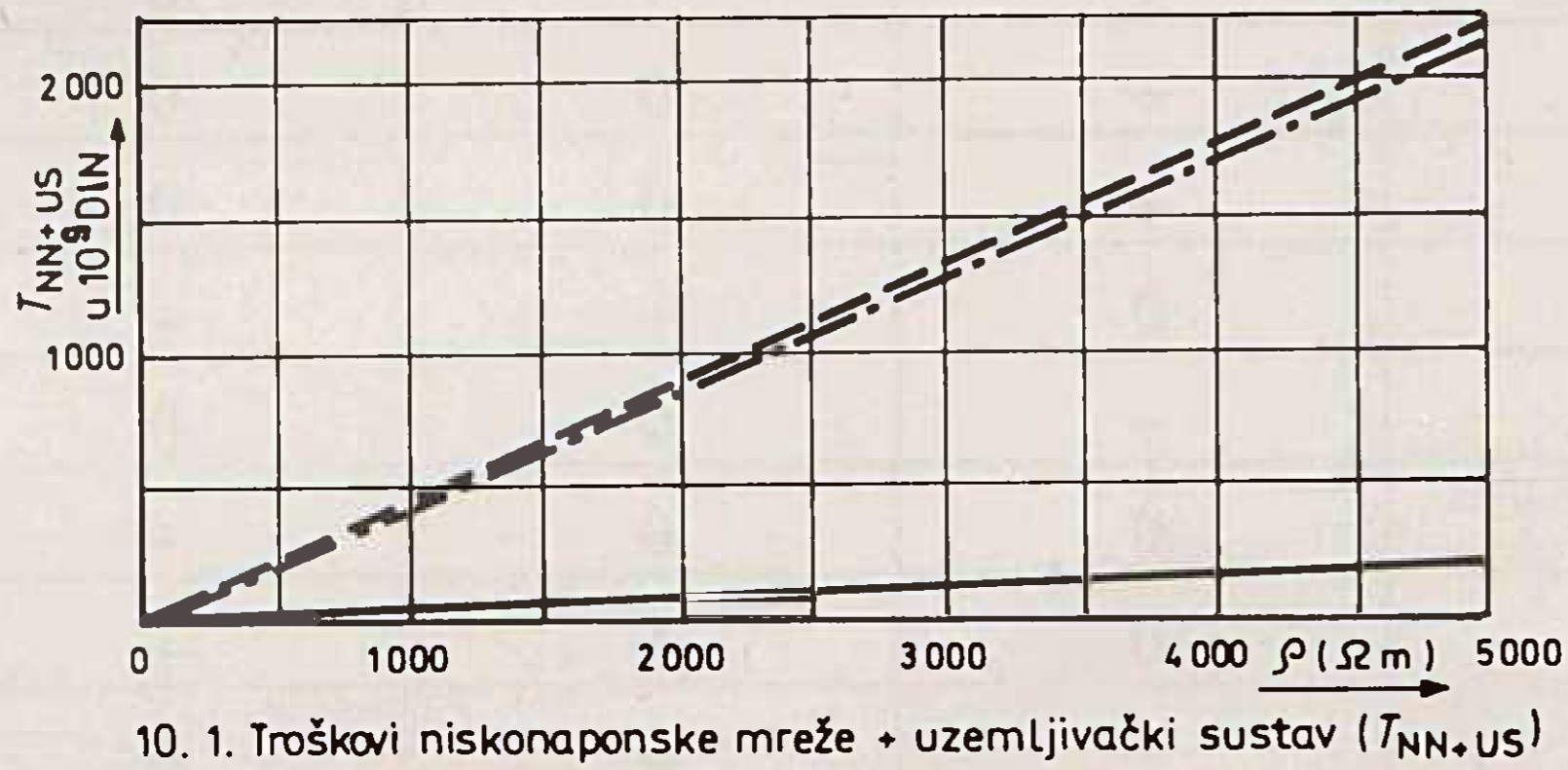
9.3. Ukupni troškovi ( $T_u$ )

Slika 9. Globalna struktura troškova u uvjetima seoske elektrifikacije splitske zagore u ovisnosti o vrsti zaštite i spec. otporu u tla  $\rho(\Omega m)$

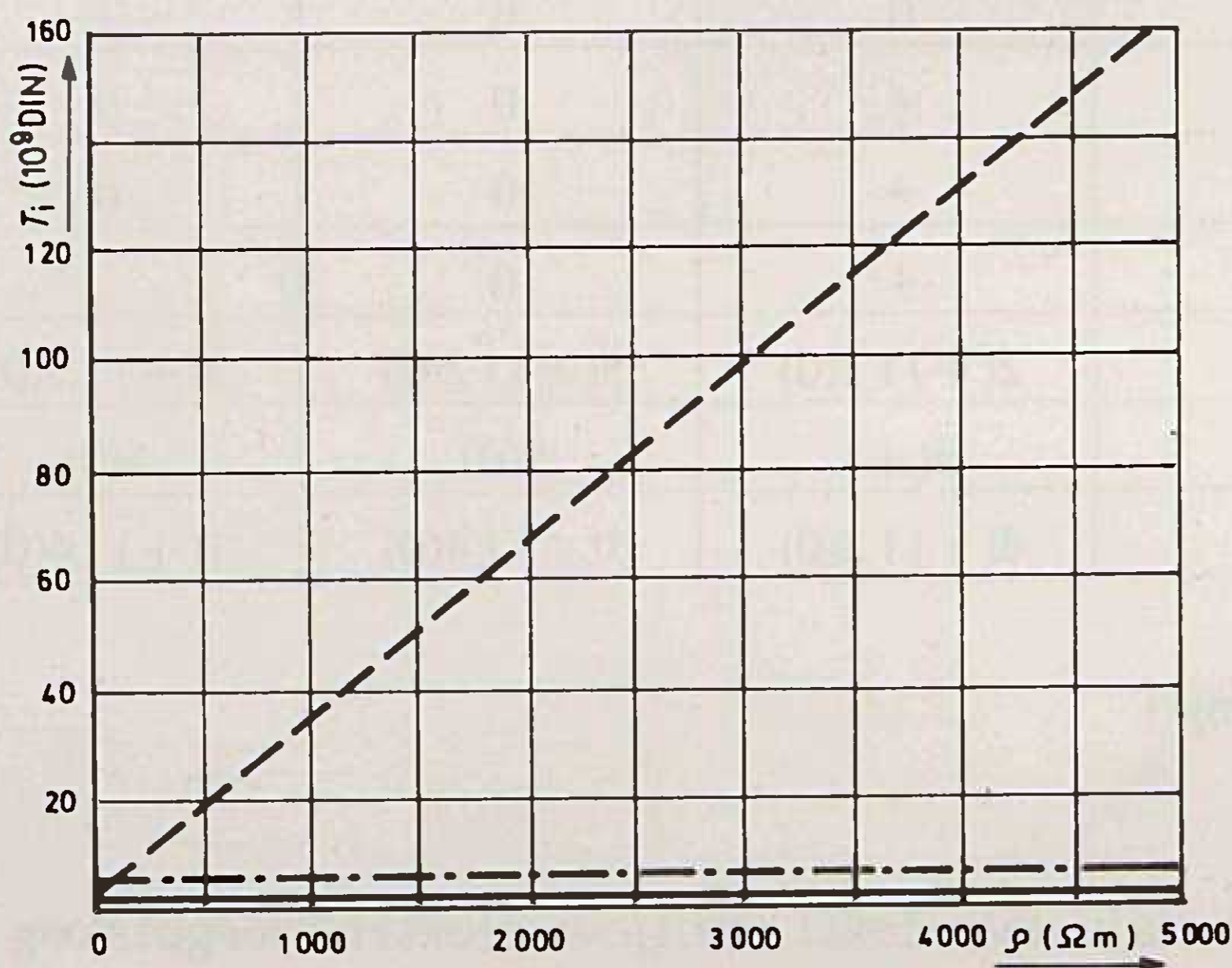
### 3.3.2. Ekonomično područje primjene pojedinih vrsta zaštite u uvjetima otočnih mjesta

Većina otočnih naselja elektrificirana je još prije drugoga svjetskog rata. Zbog toga mreža niskog napona u ovim naseljima karakterizira:

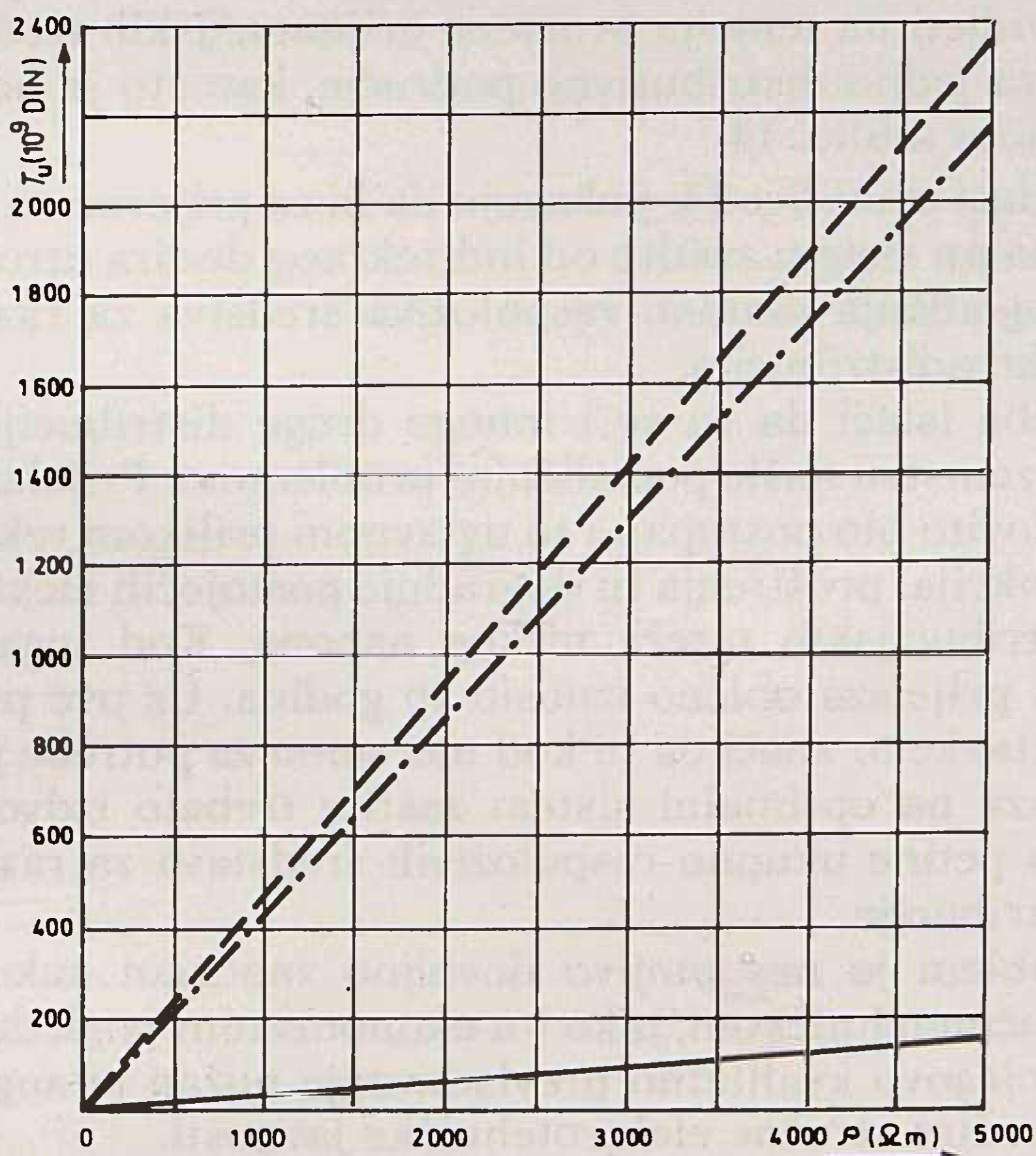
- više različitih generacija mreža niskog napona (KB, goli vodiči i SKS)
- relativno visok elektroenergetski standard potrošača sličan gradskom konzumu



10. 1. Troškovi niskonaponske mreže + uzemljivački sustav ( $T_{NN+US}$ )



10. 2. Troškovi potrošačkih instalacija ( $T_i$ )



10. 3. Ukupni troškovi ( $T_u = T_{NN+US} + T_i$ )

Slika 10. Globalna struktura troškova naselja srednjodalmatinskih otoka u ovisnosti o vrsti zaštite i spec. otpora tla  $\rho(\Omega m)$ .

- relativno gusta naseljenost u većim naseljima urbanog karaktera i mala naseljenost u selima smještenim u unutrašnjosti otoka
  - ekstremne vrijednosti specifičnog otpora tala.
- Grafička interpretacija numeričkih veličina u dijelu koji se odnose na otočke mreže niskog napona prikazano je na slici 10.

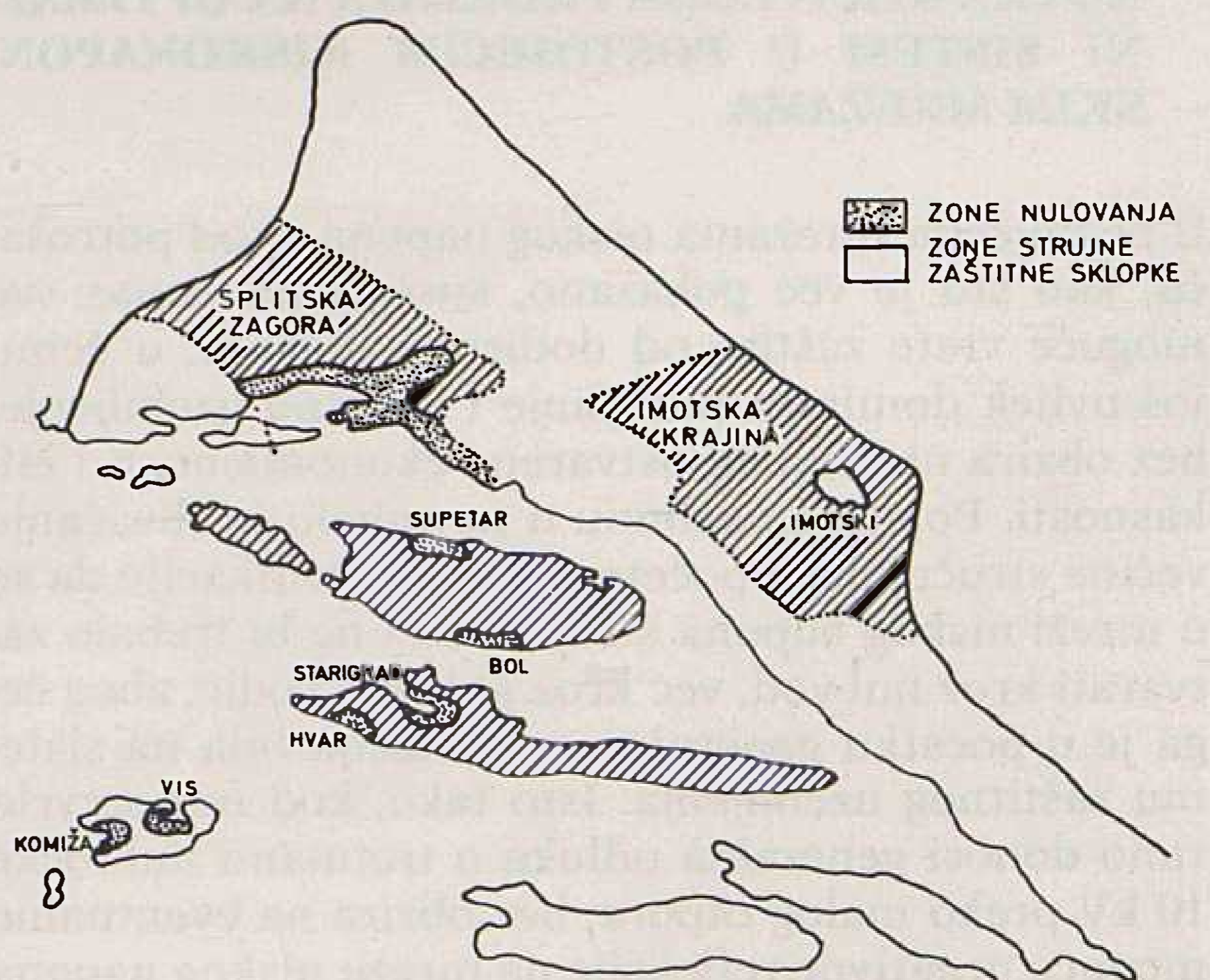
### 3.4. Svodni prikaz rezultata i geografske zone primjene optimalnih sistema zaštite

Za selekcioniranje optimalnih sistema zaštite po pojedinim karakterističnim područjima potrebno je rezultate iz točke 3.1.-3.3. svesti na pojednostavljene kriterije usporedbe, kao što je to navedeno u tablici 13.

Na temelju usporednih rezultata iz tablice 13. moguće je generalno zaključiti ovo:

- U gradskim niskonaponskim mrežama nulovanje predstavlja optimalni sistem za sve instalacije i za distributivna područja, posebno ona s kabelskom niskonaponskom i sredjonaponskom mrežom.
- Strujna zaštita i sklopka predstavlja optimalni sistem zaštite od napona dodira u uvjetima tzv. seoske elektrifikacije, prioritetno u Zagori, a također i na otocima, za sva područja s nadzemnom mrežom u kojima redovito nije moguće ispuniti uvjete bezopasnosti drugim sistemima zaštite.
- Za pokrajinska urbanizirana naselja (Imotski, Supetar, Bol, Hvar, Starigrad, Vis i Šolta) vrijedi isti zaključak kao za Split.

U skladu sa zaključcima prethodne analize, odgovarajuće zone moguće primjene optimalnih sistema označene su na situacionom nacrtu na slici 11. kao generalna strateška orijentacija i koncepcija primjene pojedinih vrsta zaštite od napona dodira koja vrijedi isključivo za nove mreže ili rekonstrukciju postojeće mreže. Inače, za postojeću niskonaponsku mrežu, s obzirom na stanje zaštite, uzemljivačku koncepciju i



Slika 11. Zone moguće primjene nulovanja i strujne zaštitne sklopke u distribuciji Split u uvjetima uredno dimenzionirane mreže niskog napona (teorijske mogućnosti)

**Tablica 13. Svodni prikaz rezultata izbora optimalnog sistema zaštite od indirektnog dodira napona po tipovima naselja i vrstama izgradnje**

Tip naselja	Vrsta izgradnje	Kriterij minimuma troškova izgradnje	Optimalni sistem zaštite		
			Nulovanje	Zaštitno uzemljenje	Strujna zašt. sklopka
1. Gradska naselja	1.1. Klasična blokovska	Distributivna mreža	0	+	+
		Električne instalacije	+	0	0
		Ukupni troškovi	+	0	0
	1.2. Nova soliterska kabelska NN mreža	Distributivna mreža	+	0	0
		Električne instalacije	+	0	0
		Ukupni troškovi	+	0	0
	1.3. Gradska individualna	Distributivna mreža	0	+	+
		Električne instalacije	+	0	0
		Ukupni troškovi	0	0	+
2. Područne mreže	2.1. Zagora sela	Distributivna mreža	0	+	+
		Električne instalacije	+	0	0
		Ukupni troškovi	0	0	+
	2.2. Otoci	Distributivna mreža	+	0	0
		Električne instalacije	+	0	0
		Ukupni troškovi	+	0	0
Ukupno	Distributivna mreža	2(+) i 3(0)	3(+) i 2(0)	3(+) i 2(0)	
	Električne instalacije	5(+)	5(0)	5(0)	
	Ukupni troškovi	4(+) i 2(0)	1(+) i 4(0)	1(+) i 4(0)	

+ Označava optimalni sistem zaštite.

0 Označava neprimijenjenost s obzirom na troškove (skuplje rješenje).

zaštitu kod potrošača, nije moguće ponuditi neko univerzalno rješenje prema kojemu je moguće izvršiti efikasni prijelaz na optimalni sistem a da to nije vezano s odgovarajućim troškovima.

#### 4. ORIJENTACIJSKA PROCJENA TROŠKOVA I OSNOVNA STRATEGIJA PRIJELAZA NA OPTIMALNI SISTEM U POSTOJEĆIM NISKONAPONSKIM MREŽAMA

U postojećim mrežama niskog napona i kod potrošača, kao što je već pokazano, susrećemo danas sve moguće vrste zaštite od dodirnog napona, u čemu još uvijek dominira nulovanje i zaštitno uzemljenje, bez obzira na stupanj ostvarene ekonomičnosti i efikasnosti. Povijesnu zabunu u to unijelo je shvaćanje većine stručnjaka u početnoj fazi elektrifikacije da se u mreži niskog napona struje kvara ne bi trebalo zatvarati kroz nul-vod, već kroz posebni vodič, zbog čega je u početku generalna orijentacija bila na sistemu zaštitnog uzemljenja. Isto tako, kod nas se vrlo rano donosi generalna odluka o tretmanu nul-točke 10 kV preko malog otpora, bez obzira na eventualne moguće negativne refleksije na mrežu niskog napona i instalacije potrošača. Zbog toga se većina naših elektrodistribucija nalazi pred ozbiljnim problemima prijelaza na optimalan sistem, čemu posebnu te-

žinu daju sve češći zahtjevi elektroenergetskog inspektorata.

Značenja prelaza na optimalni sistem zaštite moguće je vidjeti na temelju procjene orijentacijskih troškova za jedno distributivno područje, kao što je navedeno u tablici 14.

Podaci iz tablice 14. pokazuju da bi za prijevoz na optimalan sistem zaštite od indirektnog dodira utrošiti dvogodišnja ukupno raspoloživa sredstva za razvoj elektrodistribucije.

Treba istaći da su se i mnoge druge distribucije u inozemstvu našle pod sličnim problemom. Prijelaz je redovito bio postupan i to uglavnom prilikom rekonstrukcija, proširenja ili dogradnje postojećih elektrodistribucijskih mreža niskog napona. Kod toga je rok prijelaza obično iznosio 10 godina. Uz ove pretpostavke to znači da bi kod nas samo za potrebe prijelaza na optimalni sistem zaštite trebalo izdvojiti oko petine ukupno raspoloživih sredstava za razvoj distribucije.

Problem je nesumnjivo dovoljno značajan kako u stručno-tehničkom, tako i u ekonomskom pogledu, a za njegovo kvalitetno prevladavanje nužan je angažman šire stručne elektrotehničke javnosti.

Pritom je propisane radnje za ispunjenje uvjeta bezopasnosti potrebno operacionalizirati u nekoj pojednostavljenoj praktičnoj formi koja će omogućiti ujednačenost u pristupu i brzo snalaženje u praksi i



**Tablica 14. Prikaz strukture i orijentacione procjene troškova prelaza na optimalni sistem zaštite od previsokog napona u potrošačkim instalacijama stanova distribucije Split u 10<sup>9</sup> d**

Dio područja		Struktura sadašnjeg stambenog fonda prema vrstama zaštite						Stanje nakon prelaza na optimalni sistem			Orijentacioni troškovi prelaza opt. sistem u milijardama dinara			
		1. Zaštitno uzemljenje		2. Nulovanje	3. Strujna zaštitna sklopka	4. Bez zaštite	Ukupno	1. Nulovanje	2. Strujna zaš. sklopka	Ukupno	1. Nulovanje instalacije	2. Ugradnja struj. zašt. skl.	Ukupno	
		1.1. S zajedničkim uze.	1.2. S pojed. uzemljivač.											
1. PES Split	1.1. Stara gradska jezgra + + predratna naselja	14 000	0	0	0	0	14,000	14,000	0	14,000	1,54	0	1,54	
	1.2. Nova soliterska naselja s KB mrežom NN	0	0	27,500	0	0	27,500	27,500	0	27,500	0	0	0	
	1.3. Gradska individualna izgr. s nadzem. mrežom NN	0	10 000	10,000	4,500	6,000	31,000	31,000	0	31,000	2,86	0	2,80	
	1.4. Splitska zagora	0	1 200	800	0	2,010	4,010	0	4,010	4,010	0	0,6	0,6	
	1.5. Šolta	0	584	0	0	0	584	0	584	584	0	0,079	0,07	
	Ukupno	14 000	11,784	38 300	4,500	8,010	77,094	72,500	4,594	77,094	0,40	0,679	5,07	
2. PES ostalih općina	2.1. Po-gon Imotski	2.1.1. Imotski (grad)	0	0	901	0	0	901	901	0	901	0	0	0
		2.1.2. Sela	0	0	8,397	0	0	8,397	0	8,397	8,397	0	1,27	1,27
		Ukupno	0	0	9,298	0	0	9,298	901	8,397	9,298	0	1,27	1,27
	2.2. Po-gon Brač	2.2.1. Supetar + Bol	0	642	378	10	0	1,050	1,050	0	1,050	0,071	0	0,07
		2.2.2. Sela	0	2,017	1,153	32	0	3,202	0	3,202	3,202	0	0,27	0,27
		Ukupno	0	2,550	1,531	42	0	4,252	1,050	3,202	4,252	0,071	0,27	0,34
	2.3. Po-gon Hvar	2.3.1. Stari Grad – Hvar	0	1,690	0	0	0	1,690	1,690	0	1,690	0,186	0	0,18
		2.3.2. Sela	0	2,003	0	0	0	2,003	0	2,003	2,003	0	0,27	0,27
		Ukupno	0	3,793	0	0	0	3,780	1,690	2,003	3,780	0,186	0,27	0,45
	2.4. Po-gon Vis	2.4.1. Vis + Komiža	0	498	872	14	0	1,384	1,384	0	1,384	0,104	0	0,10
		2.4.2. Sela	0	87	149	0	0	236	0	236	236	0	0,033	0,03
		Ukupno	0	585	1,021	14	0	1,620	1,384	236	1,620	0,104	0,033	0,13
	Ukupno	0	6,928	11,850	56	8,010	18,963	5,025	13,838	18,963	0,361	2,11	2,47	
Sveukupno	14 000	18,712	50,150	4,556		96,057	77,525	19,932	96,057	4,761	2,789	7,55		

onih osoba koje su stručno slabije upućena u ovu problematiku, od kojih je jedna takva varijanta u obliku blok-scheme prikazana po vrstama zaštite kako slijedi:

- Za prelazak na nulovanje prema shemi na slici 12.
- Za prelaz na sistem zaštite sa strujnom zaštitnom sklopkom prema shemi na slici 13.
- Zaštitno uzemljenje i strujne zaštitne sklopke na nulovanoj mreži prema slici 14.

Za realizaciju prijelaza potrebno je još i ovo:

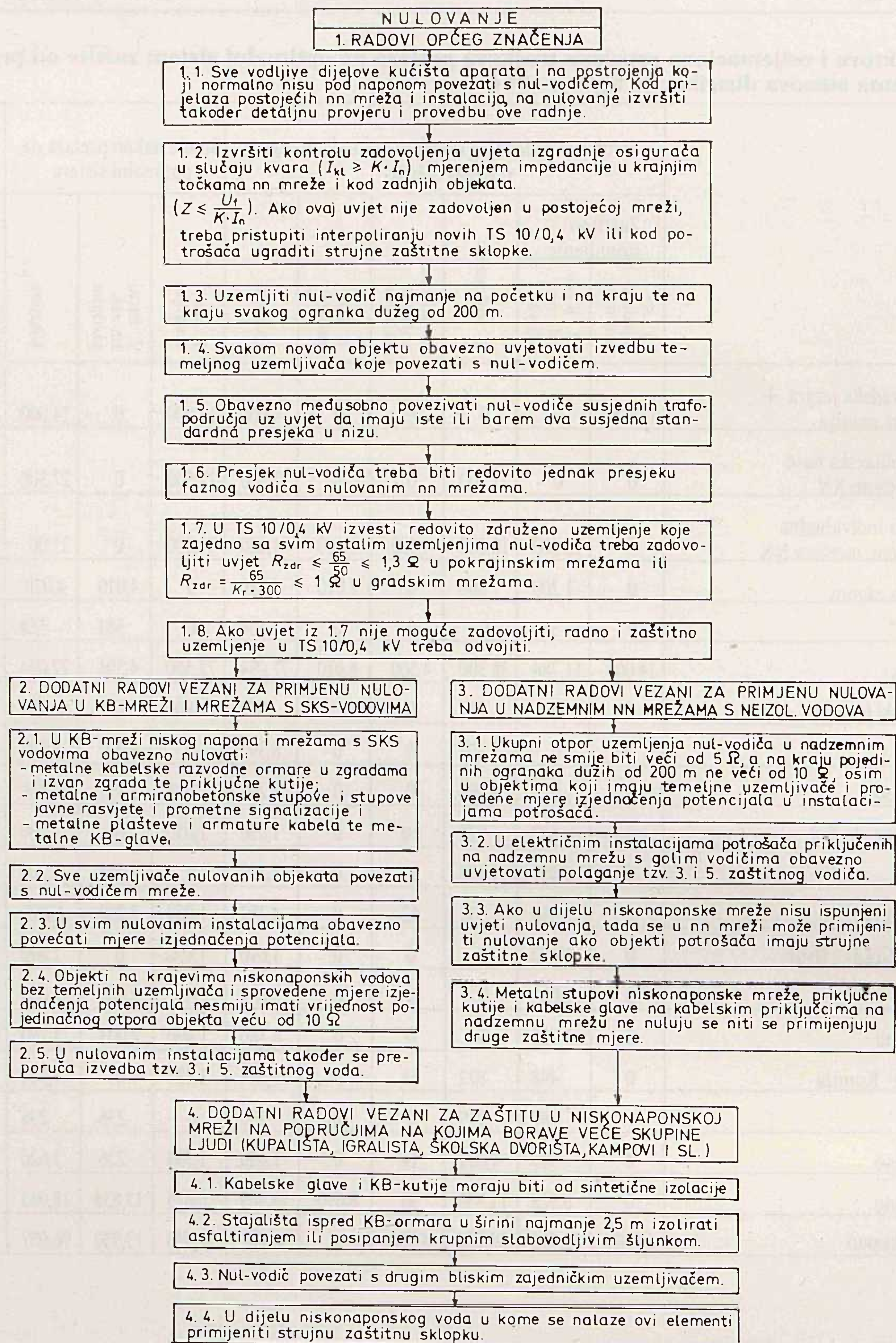
- izvršiti prostorno-vremensku koordinaciju primjene pojedinih vrsti zaštite odnosno podijeliti promatrano područje na odgovarajuće zone ovisno o planiranoj vrsti zaštite;
- izraditi operativni program prijelaza, formirati odgovarajuće ekipe i osigurati kontinuirani izvor sredstava za financiranje prijelaza kroz tekuće planove i programe izgradnje ili na neki drugi način.

## 5. ZAKLJUČAK

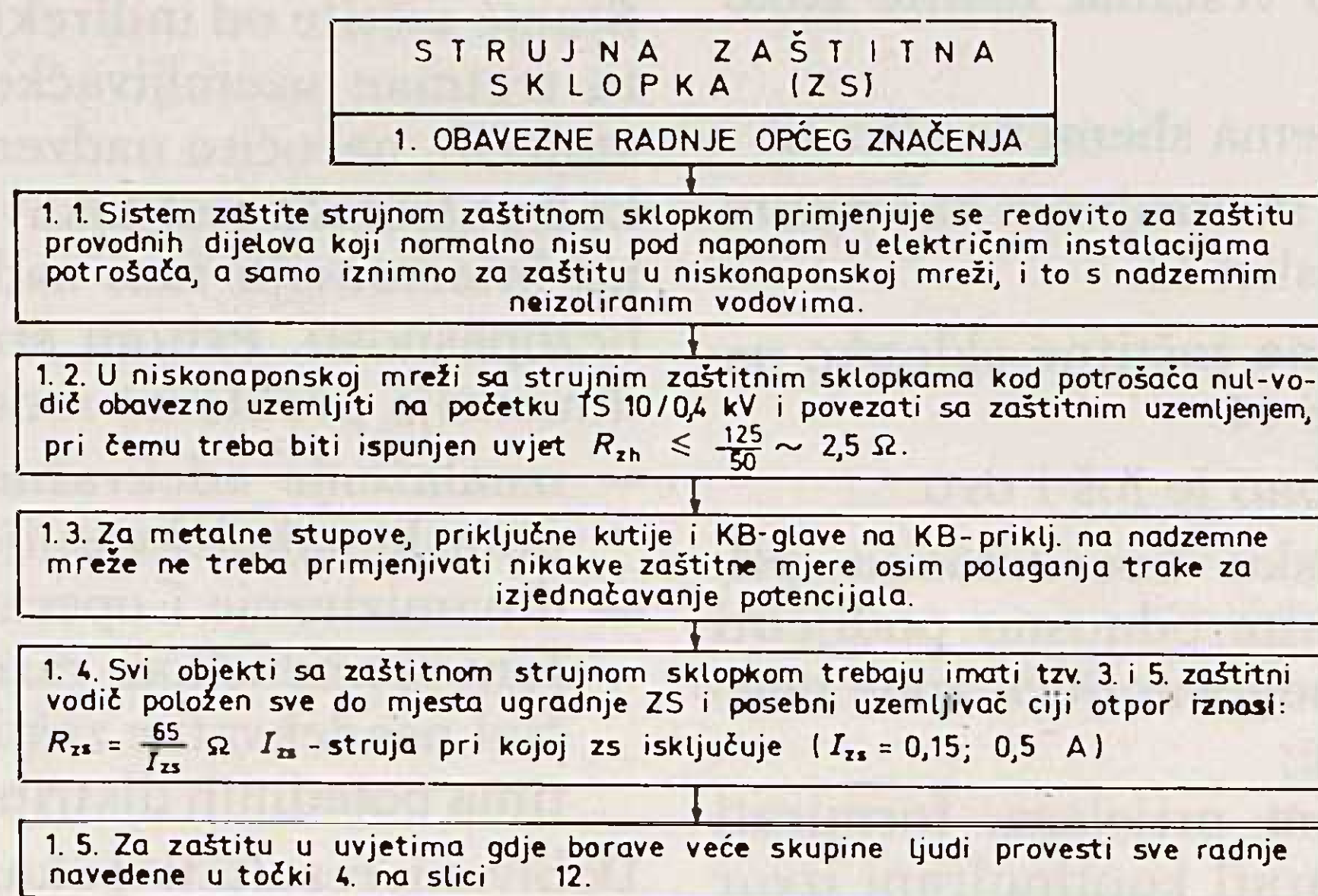
Stanje zaštite od indirektnog dodira napona i općenito tretman uzemljivačke problematike u većini postojećih, naročito nadzemnih mreža niskog napona i kod potrošača jest takav da traži organiziranu stručnu intervenciju radi zadovoljenja propisanih uvjeta bezopasnosti. Pritom stručno-tehnička i financijska dimenzija problema redovito uvjetuju:

- iznalaženje adekvatne metode izbora tehn-ekonomski najadekvatnijeg sistema zaštite i
- dinamiziranje i operacionalizaciju prijelaza u dužem vremenskom razdoblju, ovisno o stanju, količini neadekvatne zaštite i financijskim mogućnostima pojedinih distribucija.

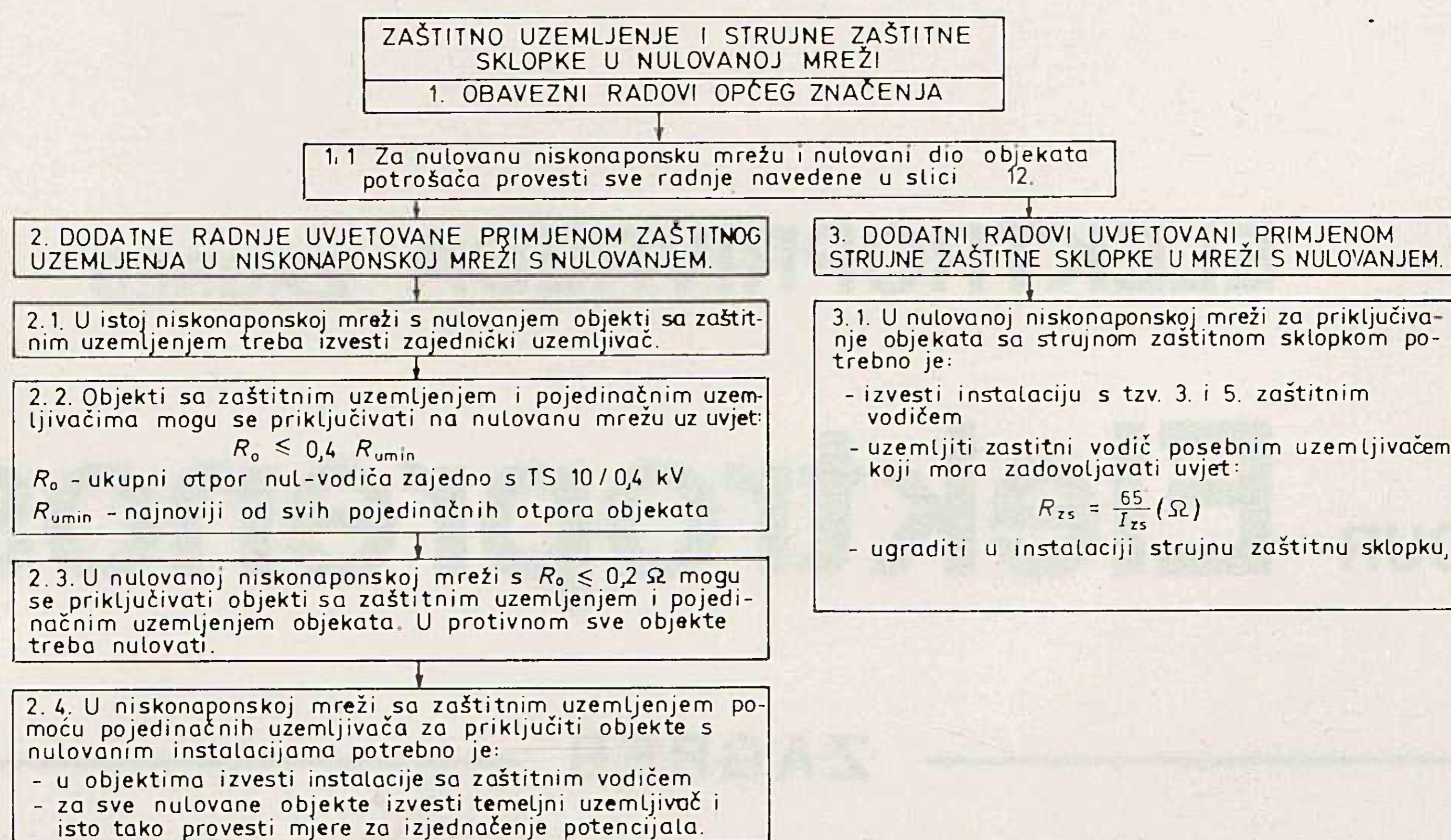
Dobiveni rezultati pokazuju da na području svake značajnije distribucije postoji više zona kojima odgovaraju različite vrste zaštite od indirektnog dodira, koje je, međutim, u pojedinim konkretnim slučajevima



Slika 12. Operacionalizacija propisanih radnji za ispunjenje uvjeta bezopasnosti pri prelasku na nulovanje



Slika 13. Operacionalizacija propisanih radnji za ispunjenje uvjeta bezopasnosti pri prijelazu na sistem zaštite sa strujnom zaštitnom sklopkom



**Slika 14. Operacionalizacija propisanih radnji za ispunjenje uvjeta bezopasnosti u uvjetima primjene zaštitnog uzemljenja i strujne zaštitne sklopke u nulovanoj mreži**

ma moguće odrediti provedbom posebnih istraživanja i tehnokonomskih analiza utjecaja vrsta zaštite na ekonomiju građenja elektrodistribucijskih mreža, sustava uzemljenja i potrošačkih instalacija.

#### LITERATURA

- [1] Mr BOŽIDAR FILIPOVIĆ, dipl. ing. i suradnici (S. ŽUTOBRADIĆ, J. NEVEŠČANIN): »Zaštita od previsokih napona dodira u električnoj mreži RO 'Elektrodalmacija' OOUR 'Distribucija' Split u uvjetima prije i nakon uzemljenja zvjezdista 10 kV mreže,« Institut za Elektroprivredu Zagreb 1987. god.
- [2] Stručna elektroprivredna regulativa i propisi
- [3] Interna stručna dokumentacija RO »Elektrodalmacija« Split i OOUR-a »Distribucija« — Split

#### DIE BESTIMMUNGSMETHODE DER TECHNOÖKONOMISCHEN EIGNUNG DER ANWENDUNG UND DAS PROBLEM DES ÜBERGANGES AUF EIN GEEINGETES SCHUTZSYSTEM VON INDIRECTER BERUNHRUNG IN DER ELEKTROINDUSTRIE UND BEI DEN VERBRAUCHERN

Hier wird die Bestimmungsmethode der technoökonomischen Vorteile bei der Anwendung einzelner Schutzmethoden von indirekter Berührung bei neuen Niederspannungsnetzen als auch bei aktuellen Übergängen zum entsprechenden Schutzsystem in den bestehenden elektrodistributiven Netzen und beim Verbraucher geschildert. Die Methode gründet auf den vergleichenden Kostenselektionen die von der Art des Schutzes abhängen, den Siedlungstypen und der Art des Ausbaus der Objekte, bzw. der Technologie des Ausbaus der elektrodistributiven Niederspannungsnetze. Getestet wurde sie an einem Fall aus der Praxis. Die gewonnenen Ergebnisse haben auch eine allgemeine Bedeutung weil sie die Erfassung der globalen Auswahlstrategie oder des Übergangs zu einem geeigneten Schutzsystem ermöglichen. Ebenso werden die Probleme erfaßt die aus der Anwendung der Richtlinien für das Projektieren der elektrodistributiven Niederspannungsnetze des Inspektorates für Elektroenergetik der SRH hervorgehen, deren Anwendungspflicht seit Ende 1987 im Gange ist.

#### МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРИГОДНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ И ПРОБЛЕМА ПЕРЕХОДА НА АДЕКВАТНУЮ СИСТЕМУ ЗАЩИТЫ ОТ ПОСРЕДСТВЕННОГО СОПРИКОСНОВЕНИЯ В ЭЛЕКТРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ И У ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Показан метод определения технико.экономических пригодностей применения некоторых видов защиты от косвенного соприкосновения в новых сетях низкого напряжения, а также при актуальных переходах на адекватную систему защиты в существующих распределительных сетях и у потребителей. Метод обосновывается сравнительной селекцией расходов, связанных с видом защиты, типами населенных пунктов и способе строительства объектов, т.е. технологии сооружения распределительных сетей низкого напряжения, а тест проведен на конкретном случае практики. Полученные результаты обладают и общим значением, ибо дают возможность представить глобальные стратегии выбора или перехода на адекватную систему защиты, а также и проблем, вызываемых применением »Директив по проектированию распределительных сетей низкого напряжения ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИНСПЕКТОРАТЕ СР Хорватии«, изданных в конце 1987 года, обязательное применение которых действительно.

#### A METHOD FOR DETERMINATION OF TECHNICAL-ECONOMICAL PARAMETERS AND PROBLEMS IN APPLICATION OF PROTECTION SYSTEM FOR TOUCH VOLTAGE IN DISTRIBUTION ENTERPRISES AND BY CONSUMERS

In the article is presented a method for determination of technical — economical parameters for touch voltage protection system in LV power nets as well as problems in application of protection system in distribution enterprises and by consumers. The method is based on cost comparison in relation to the type of protection, type of urban areas and technology of distribution nets. The method is tested on a real model. Results are useful for determination of overall strategy, for application of adequate protection system and for application in practice of »Guidelines for design of LV electric power distribution nets« that is issued by electric power inspectorate of SR Croatia in 1987 year.

Naslov pisca:

**Josip Neveščanin, dipl. inž.**  
**»Elektrodalmacija« Split,**  
**58000 Split,**  
**Radničko šet. 42, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1988-08-30

**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**

# POVEZIVANJE ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA POSTROJENJIMA ISTOSMJERNE STRUJE

Marijan Kalea, Osijek

UDK 621.315.1:621.3.024

STRUČNI RAD

Gotovo se stotinu godina širenje svjetskih elektroenergetskih sistema i njihovo međusobno povezivanje temelji na isključivoj primjeni sistema trofazne izmjenične struje zbog brojnih prednosti. Međutim, u nekim rubnim područjima primjene izrastaju ograničenja neizražena u normalnim prilikama. Rješenje koje se javlja posljednjih desetljeća jest u interpolaciji postrojenja i vodova istosmjerne struje, čiji je zamah osiguran razvojem poluvodičkih ventila vrlo velike snage.

**Ključne riječi:** istosmjerni prijenos, interkonekcije.

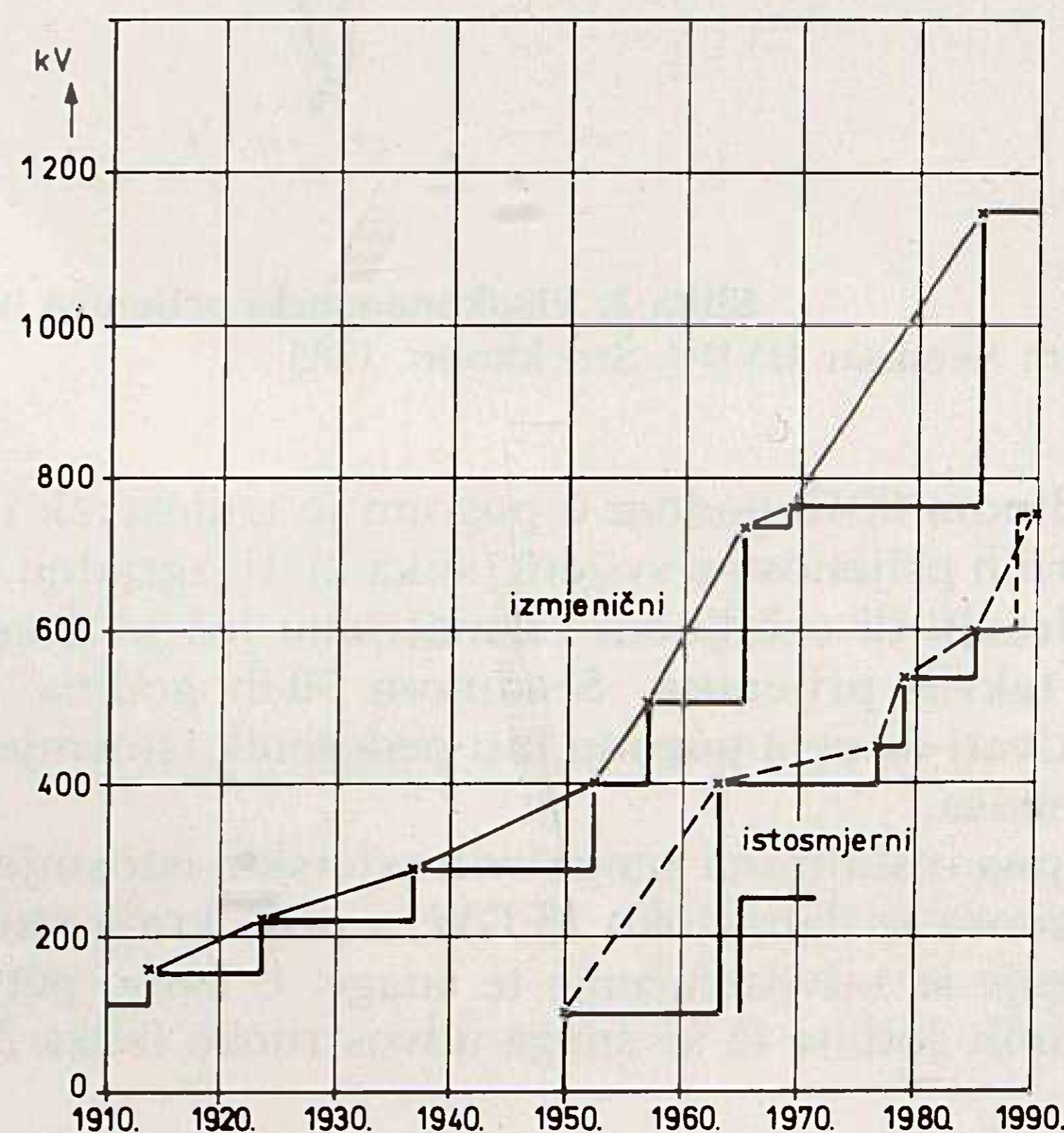
## 1. UVOD

Trofazni sistem izmjenične struje za prijenos električne energije, usprkos poznatim prednostima, na nekim graničnim područjima primjene nije bez mane. Uzdužni induktivni otpor — kod nadzemnih dalekovoda, a poprečna kapacitivna vodljivost — kod kabela, prvenstveni su razlozi tim manama. Tome se — u manjoj mjeri — dodaju skinefekt i dielektrični gubici kao posljedica izmjeničnog elektromagnetskog polja. Napokon, radi oblika vremenske promjene izmjeničnog napona pojava korone na nadzemnim dalekovodima i debljina izolacije kabela ovise o tjemenoj velični koja je za 41% veća od efektivne vrijednosti pogonskog napona. Sve to, kod stanovitih zahtjeva na snagu, daljinu i način prijenosa, može rezultirati složenim i skupim ili čak neizvodljivim rješenjem u tehnici izmjeničnog napona.

Neposredno povezivanje dvaju trofaznih sistema različite nazivne frekvencije nije čak moguće, kao i kod različite regulacije frekvencije u tim sistemima. Kada takvih razlika i nema, nije opet moguće stabilno povezati dva snažna elektroenergetska sistema vezom neprimjerene prijenosne snage.

Korištenje najprije živinih a zatim tiristorskih usmjerivača za pretvaranje energije izmjeničnog trofaznog sistema u sistem istosmjerne struje, i obrnuto, omogućilo je primjenu istosmjerne struje za prijenos električne energije i međusobno povezivanje elektroenergetskih sistema u primjerima kada je trebalo doskočiti nabrojanim manama trofaznog izmjeničnog sistema (nakon punih pola stoljeća njegova isključivog korištenja) (slika 1).

Opravdano je zamišljati da će razvoj velikih interkonekcija s vremenom vjerojatno ići u smjeru skladnog prožimanja izmjeničnog i istosmjernog prijenosa, jer će to omogućiti pogonska svojstva i cijena usmjerivača.

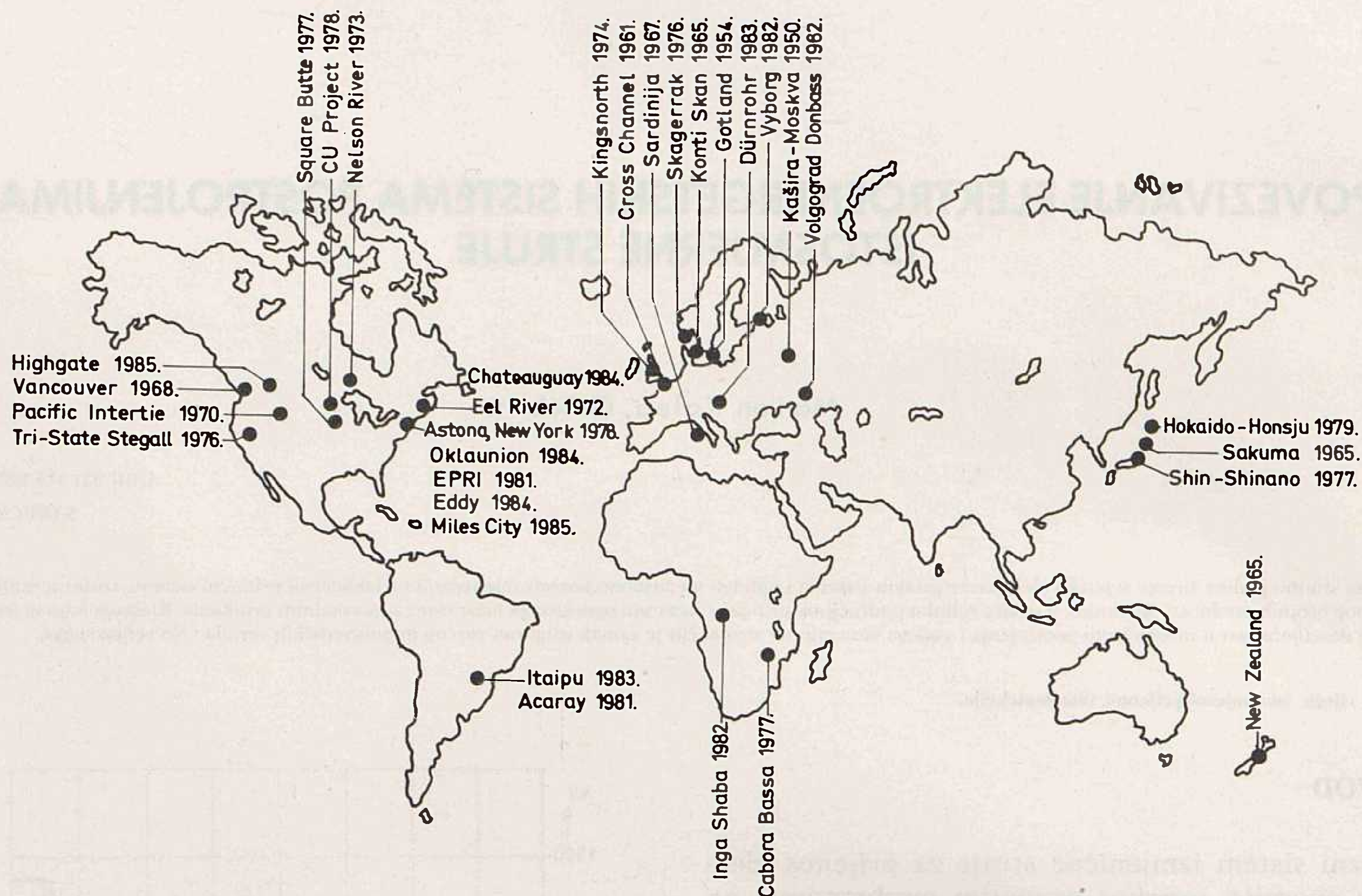


Slika 1. Najviši nazivni pogonski naponi prijenosa izmjeničnom i istosmjernom strujom u svijetu

## 2. ISTOSMJERNI PRIJENOSI SREDINOM 80-ih GODINA U SVIJETU

Godine 1985. održan je u Stockholmu seminar o visokonaponskom prijenosu električne energije istosmjernom strujom, u organizaciji Ekonomske komisije Ujedinjenih naroda za Evropu. Referati s tog seminara daju temeljiti pregled pređenog puta, sadašnjeg stanja i predstojećih tendencija na području primjene visokonaponskih prijenosa istosmjernom strujom (HVDC = High Voltage Direct Current; HGÜ = Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung; CCHT = Courant Continu Haute Tension; PPT = predača postojanim tokom).<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Poslije 1985. godine održano je nekoliko specijaliziranih savjetovanja/simpozija; npr. CIGRE u Bostonu 1987. godine.

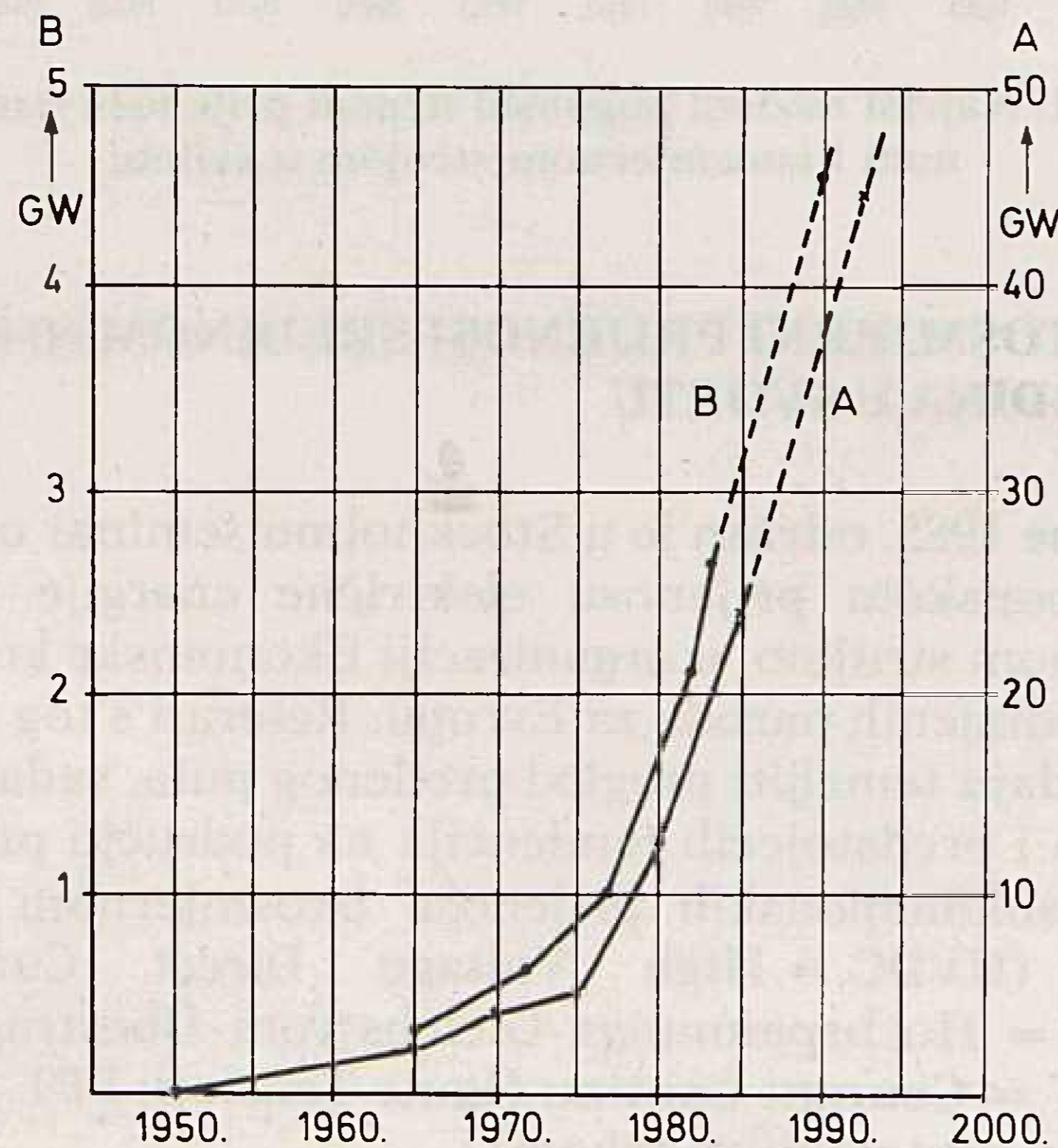


Slika 2. Visokonaponski prijenosi istosmjernom strujom u svijetu oko 1985. godine

Izvor: Seminar HVDC, Stockholm, 1985.

Sredinom 80-ih godina u pogonu je tridesetak istosmjernih prijenosa u svijetu (slika 2). U izgradnji, projektiranju ili ozbiljnom razmatranju još je dvadesetak takvih prijenosa. Sredinom 90-ih godina valja očekivati da će u pogonu biti pedesetak istosmjernih prijenosa.

Ukupna instalirana snaga svih svjetskih istosmjernih prijenosa je danas oko 25 GW, a prije kraja stoljeća očekuje se udvostručenje te snage. U samo pet prethodnih godina ta se snaga udvostručila (slika 3).



Slika 3. Instalirana snaga istosmjernih prijenosa u svijetu:

(a) ukupna, (b) »back-to-back« stanica

Izvor: Seminar HVDC, Stockholm 1985/R.2

Istosmjerni prijenosi ostvaruju se na jedan od ova dva načina:

- (a) tako da sadržavaju, pored dva usmjerivača, i dalekovod (nadzemni, podzemni i — osobito — podmorski) istosmjerne struje, a izvode se:
- za prijenos vrlo velikih količina električne energije na vrlo velike udaljenosti (red veličine više stotina megavata na preko 600 kilometara),
  - za prijenos ispod morskih prepreka (red veličine duljine veće od 50-ak kilometara),
  - za podzemno uvođenje u gradske zone (red veličine duljine sličan kao kod podmorskog kabela).

Pri kabelskom povezivanju, jeftinija konstrukcija kabela kompenzira ulaganja u usmjerivačke stanice. Pri nadzemnom povezivanju: dva namjesto tri vodiča, manje izolacije, jeftiniji stup, uža trasa, izostanak potrebe električne kompenzacije uzduž trase — opet dovodi do toga da, nakon neke udaljenosti, uštede na nadzemnom vodu kompenziraju ulaganja u usmjerivačke stanice. Kako troškovi dalekovodnih trasa redovito rastu brže od cijena opreme, to se i granična duljina ekonomske primjene istosmjernih prijenosa vremenom smanjuje;

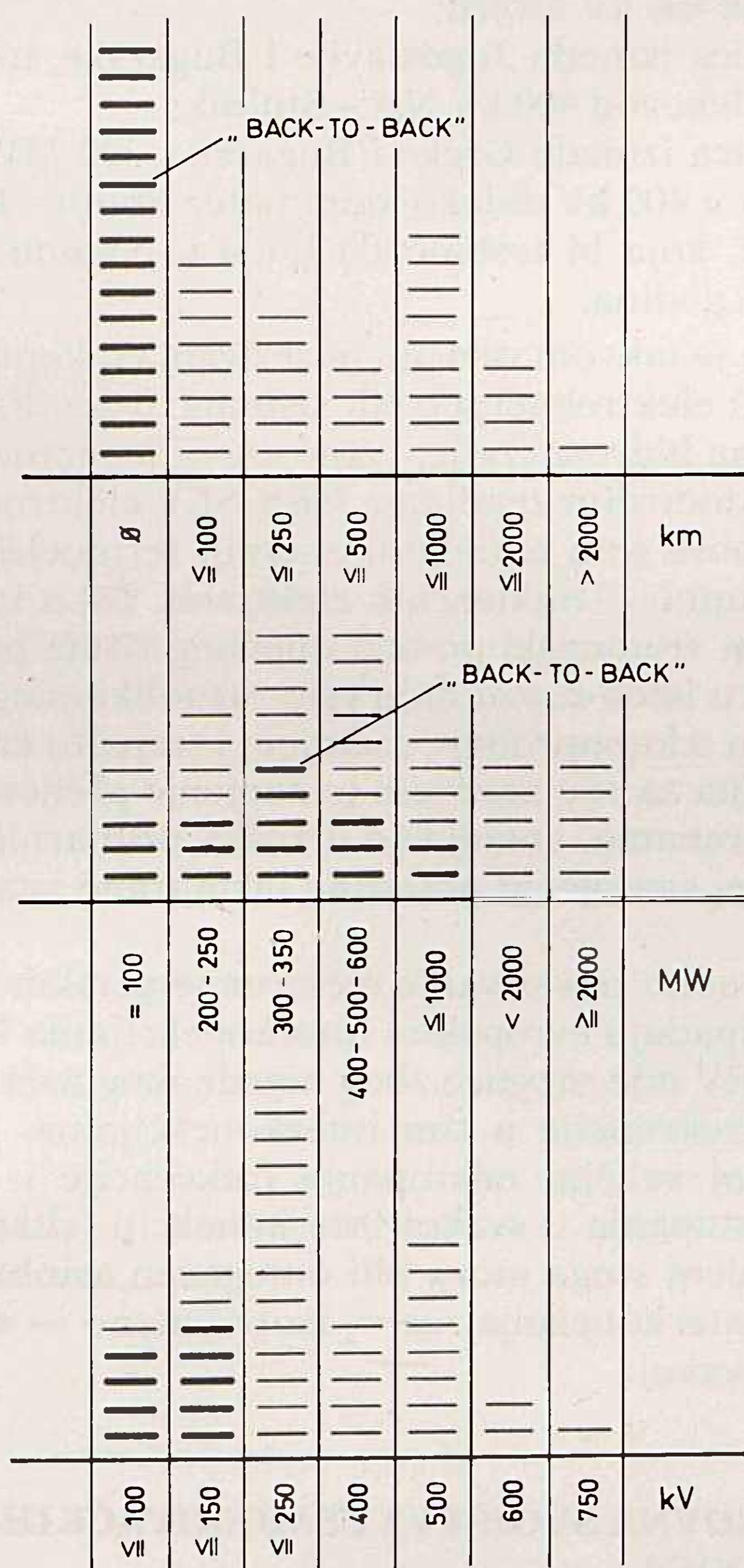
- (b) tako da ne sadržavaju vod istosmjerne struje, nego samo dva usmjerivača »jedan-do-drugoga« = »back-to-back«, koji su povezani na čvorove mreža izmjenične struje i služe za povezivanje:
- mreža raznih pogonskih frekvencija, npr. 50 i 60 Hz u Japanu,

- asinhrono povezivanje mreža raznih načina regulacije frekvencije u pogonu, npr. UCPTE i OES SEV<sup>2</sup>
- kada se želi spriječiti povećanje struje kratkog spoja u povezanim sistemima ili povećati stabilnost tog povezivanja.

I »back-to-back« stanice imaju također visok rast instalirane snage; danas je oko 2 500 MW u pogonu, a početkom 90-ih bit će instalirano gotovo 5 000 MW, slika 3.

Osnovni parametri visokonaponskih prijenosa istosmjernom strujom jesu duljina prijenosa, snaga usmjerivačkih postrojenja i (donekle) nazivni napon postrojenja istosmjerne struje, ujedno i dalekovoda istosmjerne struje, ako se ne radi o »back-to-back« stanici.

Razmotre li se osnovni parametri pedesetak istosmjernih prijenosa koji su u pogonu, izgradnji ili ozbiljnom razmatranju, mogu se uočiti određene tendencije u pogledu njihova dimenzioniranja, (slika 4).



**Slika 4. Duljine, instalirane snage i naponi istosmjernih prijenosa u svijetu sredinom 80-ih**

Izvor: Seminar HVDC, Stockholm 1985/R.2

<sup>2</sup> UCPTE = Union pour la Coordination de la Production et du Transport de l'Electricite, Unija za koordinaciju proizvodnje i prijenosa električne energije, obuhvaća: Belgiju, SR Njemačku, Francusku, Italiju, Luksemburg, Nizozemsku, Austriju, Švicarsku, Španjolsku, Portugal, Jugoslaviju i Grčku, OES SEV = Objedinenje energosistemi evropskih stran — članov SEV, obuhvaća: Bugarsku, Madarsku, Njemačku DR, Poljsku, Rumunjsku, Čehoslovačku i jugozapadni dio elektroenergetskog sistema SSSR-a.

Oko trećina svih istosmjernih prijenosa u tako načinjenoj grupi su »back-to-back« stanice, dakle bez voda istosmjerne struje. Desetak prijenosa je duljine do 100 kilometara, a to su uglavnom podmorski kabeli. U sljedećoj grupi, do 250 km, nešto je manje prijenosa. Opet su to uglavnom podmorski kabeli, kombinirani s nadzemnim dijelom u ukupnoj trasi. Prijenosi od 500 km i preko toga čine opet oko trećinu svih istosmjernih prijenosa i izvode se radi prenošenja velikih snaga. Najdulji na svijetu je Ekibastuz-centralni dio SSSR-a, dug oko 2 400 kilometara, predviđen za početak pogona u ovom desetljeću. Povezivat će ugljeni bazen Ekibastuz na sjeveroistoku Kazahstana s mrežom u evropskom dijelu SSSR-a, kod grada Tambova.

Instalirane snage usmjerivačkih postrojenja gomilaju se između 300 i 600 MW. U toj grupi je 2/5 svih prijenosa. Polovina »back-to-back« stanica je u toj grupi nazivnih snaga. Izvedeni kabelski podmorski prijenosi su redovito ispod tih snaga. Najsnažniji podmorski prijenos je između Francuske i Engleske, od 2 000 MW (u pogonu od 1986. godine, uz već prije izgrađeni prijenos od 160 MW). Najveća snaga nadzemnog istosmjernog prijenosa je već spomenuti Ekibastuz-Centar: 6 000 MW.

Iskazani naponi postrojenja istosmjerne struje (te kabelskih i nadzemnih vodova, ako se ne radi o »back-to-back« prijenosu), redovito su primjenjeni tako da je ostvaren toliki pozitivni napon prema zemlji i isto toliki negativni napon prema zemlji (npr. za 100 kV tada se piše ± 100 kV, te je »linijski« napon u tom slučaju 200 kV). To su bipolarne izvedbe. Unipolarne izvedbe imaju samo jednu liniju pod istosmjernim naponom prema zemlji (npr. jednožilni kabel). Tada se napon označava samo svojim iznosom (npr. 100 kV). U oba slučaja sva oprema izolira se prema zemlji za »fazni« napon.

Ako se tako promatraju naponi svih istosmjernih prijenosa (bipolarnih i, malobrojnijih, unipolarnih izvedbi), onda je velik broj ostvaren uz 250 kV (točnije ± 250 kV). »Back-to-back« stanice, kojima je poznat nazivni istosmjerni napon, pripadaju grupi do 150 kV (za takva postrojenja u izgradnji i projektiranju, uglavnom nisu objavljeni podaci o nazivnom naponu). Prijenosi na velike udaljenosti rješavaju se i primjenom visokih napona 400-500-600 kV. Najviši na svijetu opet će biti na vodu Ekibastuz-Centar: ± 750 kV.

Zanimljiva pojedinost u vezi s tim prijenosom: iz stanice Ekibastuz polazi i trofazni vod prema Kokčetavu; od 1985. godine taj vod dug oko 500 kilometara u pogonu je pod najvišim izmjeničnim naponom na svijetu: 1 150 kilovolta!

### 3. ISTOSMJERNI PRIJENOSI U EVROPI

Postojeće stanje i razvojne tendencije istosmjernih prijenosa u Evropi (slika 5) svrstavaju ih, prema razlozima i izvedbama, u dvije grupe:

- svladavanje većih podmorskih prepreka, kabelskim ili kabelsko-nadzemnim putem;



Slika 5. Istosmjerni prijenosi u Evropi u pogonu, izgradnji ili razmatranju

Izvori: (1) Seminar HVDC, Stockholm 1985/R.23

(2) S. A. Sovalov: Upravljenie mošnimi energoobjedinenijami, Energoatomizdat Moskva 1984

— povezivanje rubova elektroenergetskih sistema koji su povezani u UCPT, SUDEL ili NORDEL i sistema koji su u paralelnom radu u okviru OES SEV, stanicama u »back-to-back« izvedbi.

U Evropi zasada nema primjera primjene istosmjernog prijenosa radi prenošenja velikih snaga na velike udaljenosti (kao u SSSR-u, SAD, Kanadi, Africi i Južnoj Americi). U Velikoj Britaniji izveden je prijenos Kingsnorth, za kabelsko povezivanje elektrane u urbanom području i radi ograničenja struje kratkog spoja.

U prvoj su grupi podmorskih prijenosa:

- povezivanje otoka Gotland sa švedskim kopnom 1954. godine, pojačano 1970. godine i udvojeno 1983. godine;
- povezivanje Danske i Švedske prijenosom Konti-Skan iz 1965. godine, u izgradnji jest udvajanje tog prijenosa;
- Skagerrak, između Danske i Norveške, u pogonu je od 1976, a u izgradnji je također udvajanje tog prijenosa;
- Velika Britanija i Francuska povezane su kabelskim prijenosom Cross Channel ispod Kanala od 1961. godine, udvojenim 1986. godine novom kabelskom vezom spomenute velike snage od 2000 MW;
- Korzika i Sardinija povezane su s talijanskim kopnom od 1967. godine.

U drugoj grupi, »back-to-back« stanica, kojima se povezuje mreža OES SEV sa susjednim mrežama, danas su u pogonu dvije:

- Vyborg (SSSR-Finska), na teritoriju SSSR-u, u pogonu od 1981. godine snagom 355 MW i od 1983. godine konačnom snagom od 1065 MW ( $3 \times 355$  MW);
- Dürnrohr (Austrija – ČSSR), u Austriji, u pogonu od 1983. godine snagom 550 MW s mogućnošću dogradnje za još 1000 MW.

Na seminaru HVDC u Stockholmu 1985. godine, u sovjetskim pisanim izvorima, te jugoslavenskim stručnim radovima iz ovog područja, razmatraju se — osim Vyborga i Dürnrohra — još i sljedeće »back-to-back« stanice, za povezivanje interkonekcija UCPT (odnosno SUDEL) i OES SEV:

- još jedna stanica između Austrije i ČSSR-a (na potezu Ernsthofen – Dasny);
- dvije stanice između Austrije i Mađarske (na potezima Wien Südost-Győr, 550 MW, koja bi trebalo da bude u pogonu 1992. godine, i Südburgenland – Szombathely);
- stanica između Jugoslavije i Mađarske, priključena na 400 kV mrežu;
- stanica između Jugoslavije i Bugarske, uključena u dalekovod 400 kV Niš – Stolnik;
- stanica između Grčke i Bugarske, 300 MW, uključena u 400 kV dalekovodni potez Solun – Blagoevgrad, koja bi trebalo da bude u pogonu potkraj 80-ih godina.

Osnova je takvom razvoju povezivanja u komplementarnosti elektroenergetskih sistema: u zemljama SUDEL ima hidroenergije, vršne energije, ljetne energije, a u dodirnim zemljama OES SEV elektroenergetska osnova je u temeljnoj energiji termoelektrana i — postupno — nuklearnih elektrana. To, a također i prirodni vremenski pomak dnevnog ritma potražnje u smjeru istok-zapad daju vrlo raznolike mogućnosti ugovora o kupoprodaji, razmjeni i tranzitu energije s koristima za sve partnere (smanjenje preljeva u hidroelektranama, smanjenje utroška primarnih izvora energije, smanjenje potrebne instalirane snage elektrana).

Neposredno povezivanje elektroenergetskih sistema koji pripadaju evropskim interkonekcijama UCPT i OES SEV nije moguće zbog nejednakog načina regulacije frekvencije u tim interkonekcijama. To vodi različitoj veličini odstupanja frekvencije i trajanja tog odstupanja u svakoj interkonekciji (slika 6). Povezivanjem stoga mora biti omogućen asinhroni rad obiju interkonekcija, uz — istovremeno — sinhroni rad u svakoj.

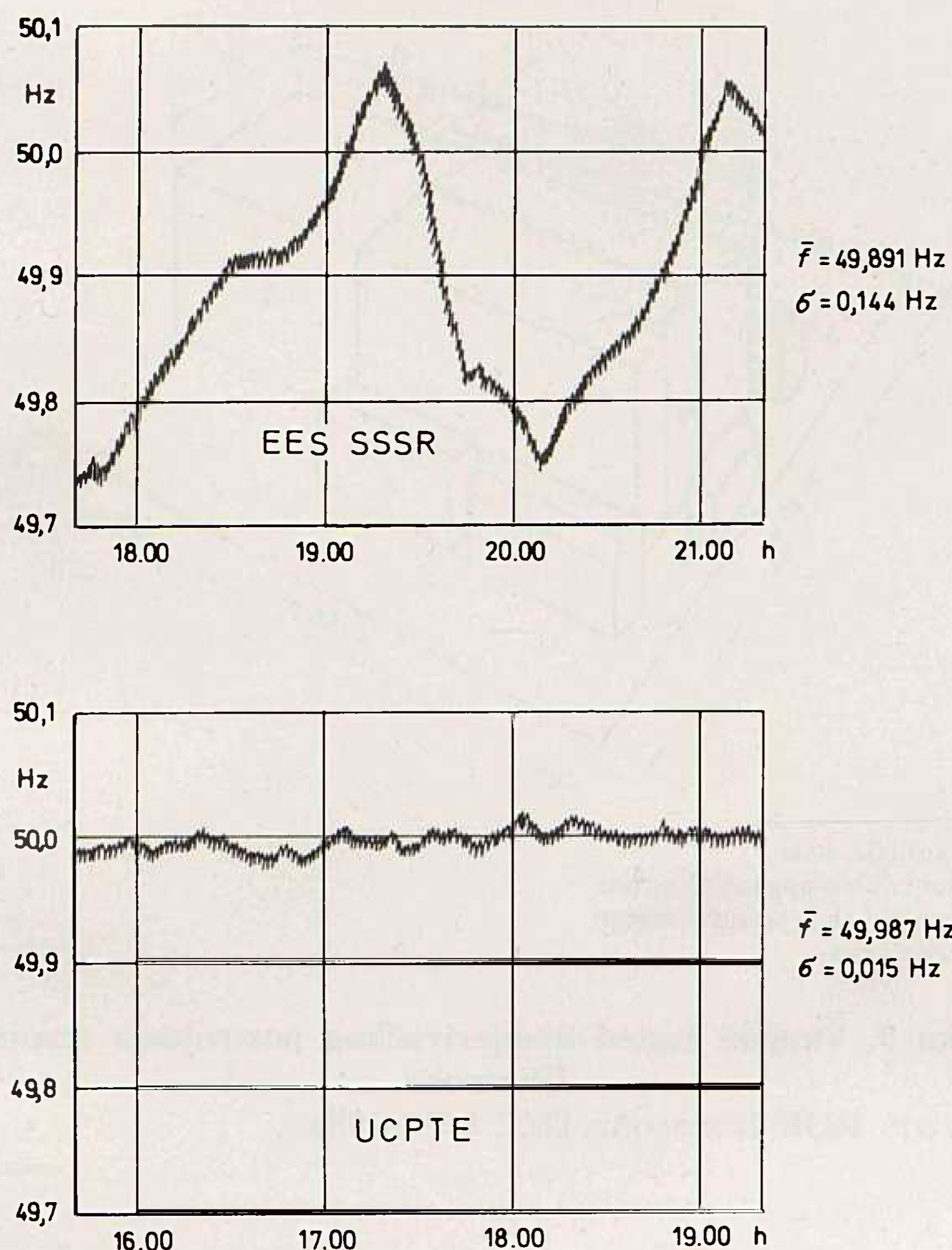
#### 4. OSNOVNA SVOJSTVA USMJERIVAČKIH STANICA

##### (a) Izvedba usmjerivačke stanice

Opišimo konstrukciju usmjerivačke stanice »back-to-back« i njezina osnovna svojstva radi sagledavanja fizičkih, vremenskih, financijskih i organizacijskih dimenzija izgradnje takva objekta.

Glavne veličine ilustrirat ćemo primjerima usmjerivačke stanice Dürnrohr u Austriji, prema opširnim





Slika 6. Skice oscilograma frekvencije u interkonekcijama EES SSSR i UCPTTE

Izvor: Jednovremeni rad s evropskim elektroprivrednim interkonekcijama, Institut: »M. Vidmar« Ljubljana, 1979.

obavještenjima iz [3], tematskog broja časopisa Österreichische Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft 8/9–1983.

Stanica »back-to-back« sastoji se od dva rasklopna postrojenja izmjenične struje, kojima se stanica priključuje na izmjenične mreže što se njome povezuju, i usmjerivačkog postrojenja (slika 7.a).

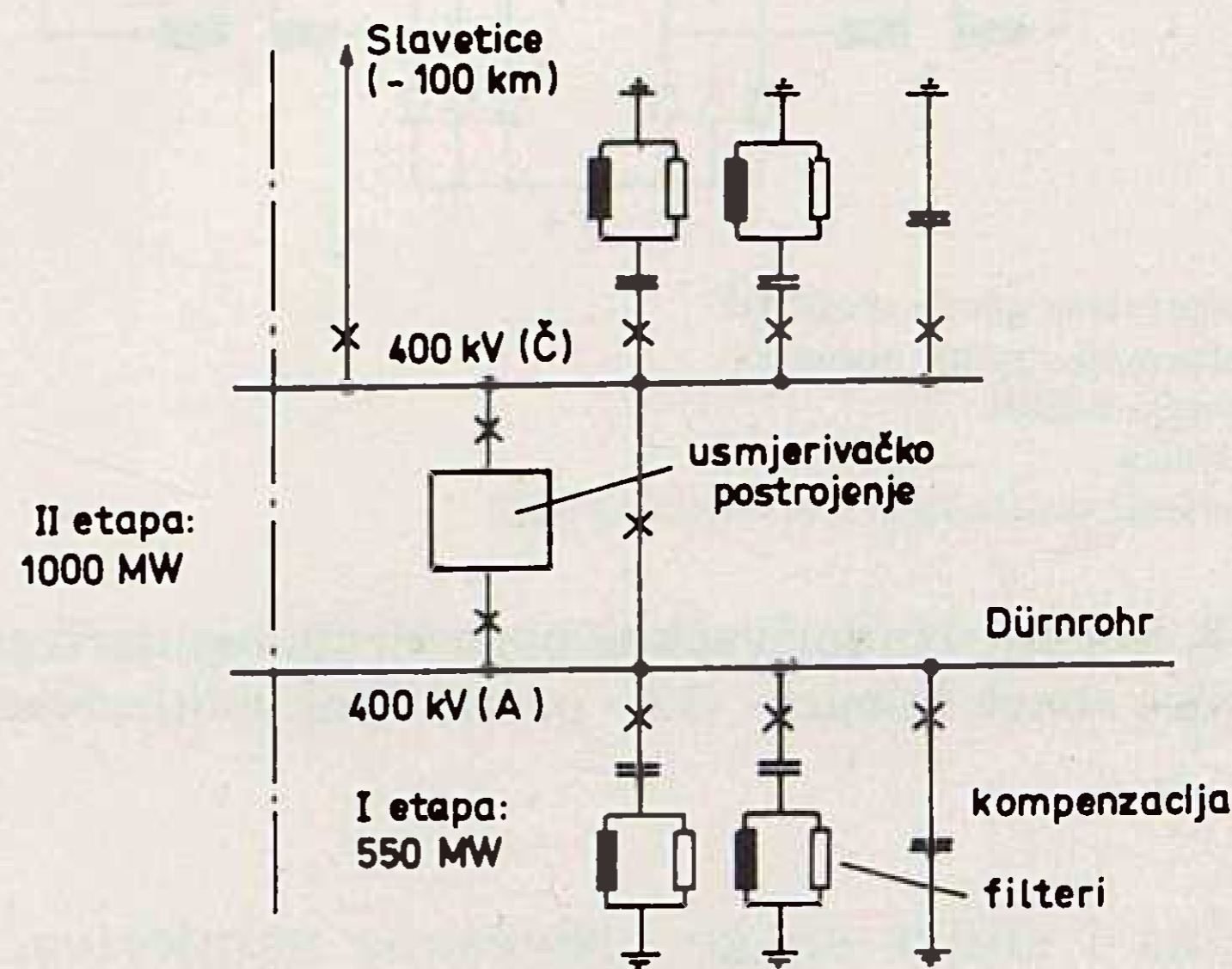
Osim vodnog, ili vodnih polja za priključak dalekovoda izmjenične struje, u rasklopnom postrojenju je polje za priključak usmjerivačkih transformatora, te polja za priključak filtara za prigušenje viših harmoničkih članova u harmonijskom obliku usmjerivačkih napona i struja i polja za priključak uređaja za proizvodnju jalove snage. Naime, s obje strane usmjerivačke stanice treba osigurati jalovu snagu u vrijednosti koja je po prilici jednaka polovini vrijednosti djelatne snage usmjerivača.

Često se usmjerivačke stanice osnivaju tako da u I. etapi imaju jednu snagu, te da je u II. etapi omogućeno njezino udvostručenje — izvođenjem još jednog sloga uređaja koji predstavljaju zrcalnu sliku I. etape.

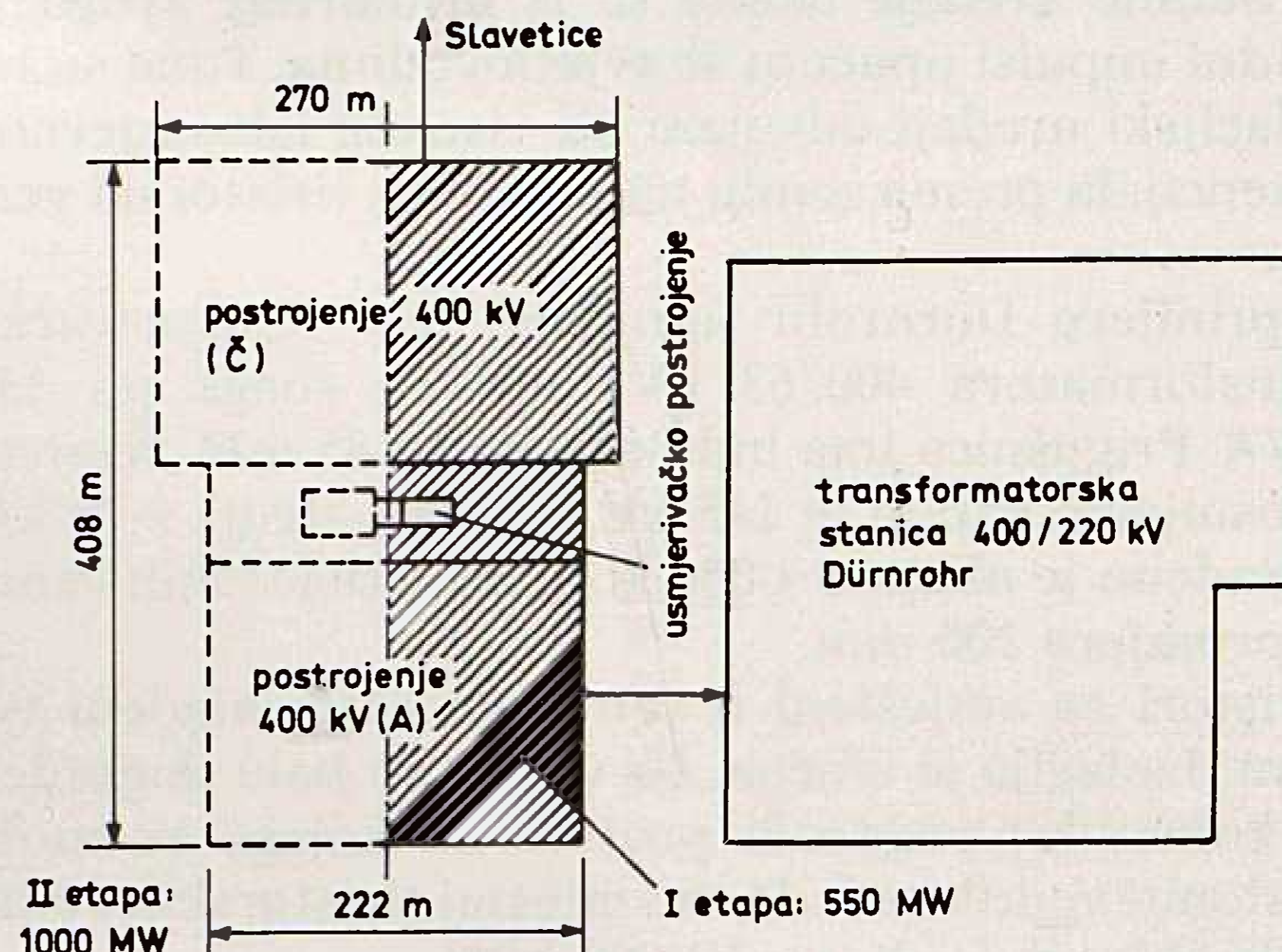
Usmjerivačka stanica Dürnrrohr priključena je dalekovodom 400 kV, duljine oko 100 km na čvor Slavetice u mreži ČSSR-a. S druge strane priključena je neposredno na transformatorsku stanicu 400/220 kV Dürnrrohr u mreži Austrije. Ima 5 polja 400 kV u postrojenju prema Slaveticama, 4 polja 400 kV u postrojenju prema austrijskoj mreži, te polje za premoštenje usmjerivačkog postrojenja. Time se mogu

neposredno povezati postrojenja izmjenične struje i omogućiti sinhroni radijalni (otočni) pogon izdvojenog dijela mreže jedne interkonekcije na drugu interkonekciju.

Instalirana snaga usmjerivačkog postrojenja Dürnrrohr je 550 MW u ovoj etapi izgradnje. Omogućena je dogradnja još 1 000 MW, u drugoj etapi izgradnje, što bi zatijevalo — uz dogradnju usmjerivačkog postrojenja — i dogradnju obaju postrojenja izmjenične struje.



a) Osnovna shema usmjerivačke stanice



b) Dispozicija usmjerivačke stanice

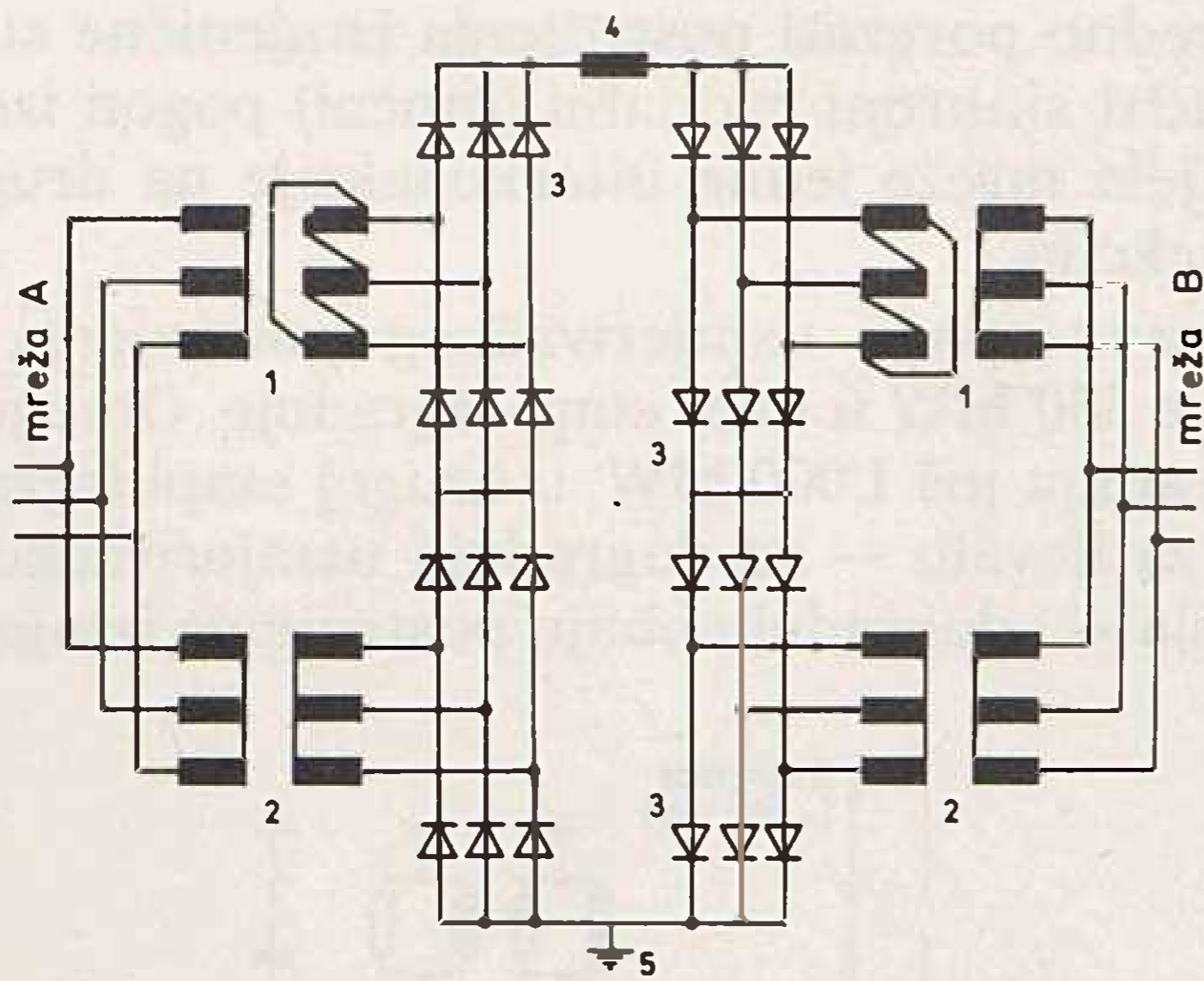
Slika 7. Usmjerivačka stanica Dürnrrohr

Izvor: HGK Dürnrrohr, ÖZE 8/9–1983

### (b) Usmjerivačko postrojenje

Usmjerivačko postrojenje »back-to-back« stanice sastoji se od dva 12-pulsna trofazna usmjerivača, spojena »jedan-na-drugoga«. (Kada bi se radilo o istosmjernom prijenosu na daljinu, između ta dva usmjerivača bio bi vod istosmjerne struje.)

Svaki usmjerivač priključen je na svoju izmjeničnu mrežu sa po dva trofazna usmjerivačka transformatora; jedan sekundara spojenog u trokut, a drugi sekundara spojenog u zvijezdu. Transformatori napajaju trofazni most izveden iz odgovarajućeg broja tiristorskih ventila. U krugu istosmjerne struje je prigušnica za izgladivanje vremenskog oblika ispravljene struje. Jedan pol istosmjernog postrojenja uzemljen je (slika 8).



1. transformator grupe spoja Yd
2. transformator grupe spoja Yy
3. tiristorski ventili
4. prigušnica
5. Uzemljenje postrojenja istosmjerne struje

**Slika 8. Shema usmjerivačkog postrojenja usmjerivačke stanice »back-to-back« (12 – pulsni spoj usmjerivača)**

Veličina i smjer snage prenesene usmjerivačima iz jedne mreže izmjenične struje u drugu, određeni su upravljanjem paljenja tiristorskih ventila. Energija za okidne uređaje uzima se iz primarnog kruga, a okidni impulsi upućuju se svjetlovodima. Time su regulacijski uređaji odvojeni od visokog istosmjernog potencijala prema zemlji na kojem su tiristorski ventili.

U primjeru Dürnrohr ugrađeno je 4 usmjerivačka transformatora 400/63 kV, nazivne snage po 337 MVA. Prigušnica ima induktivitet od 85 mH. Nazivni istosmjerni napon je 145 kV, nazivna struja 3,79 kA. Ugrađeno je ukupno 1 056 komada tiristorskih ventila promjera 100 mm.

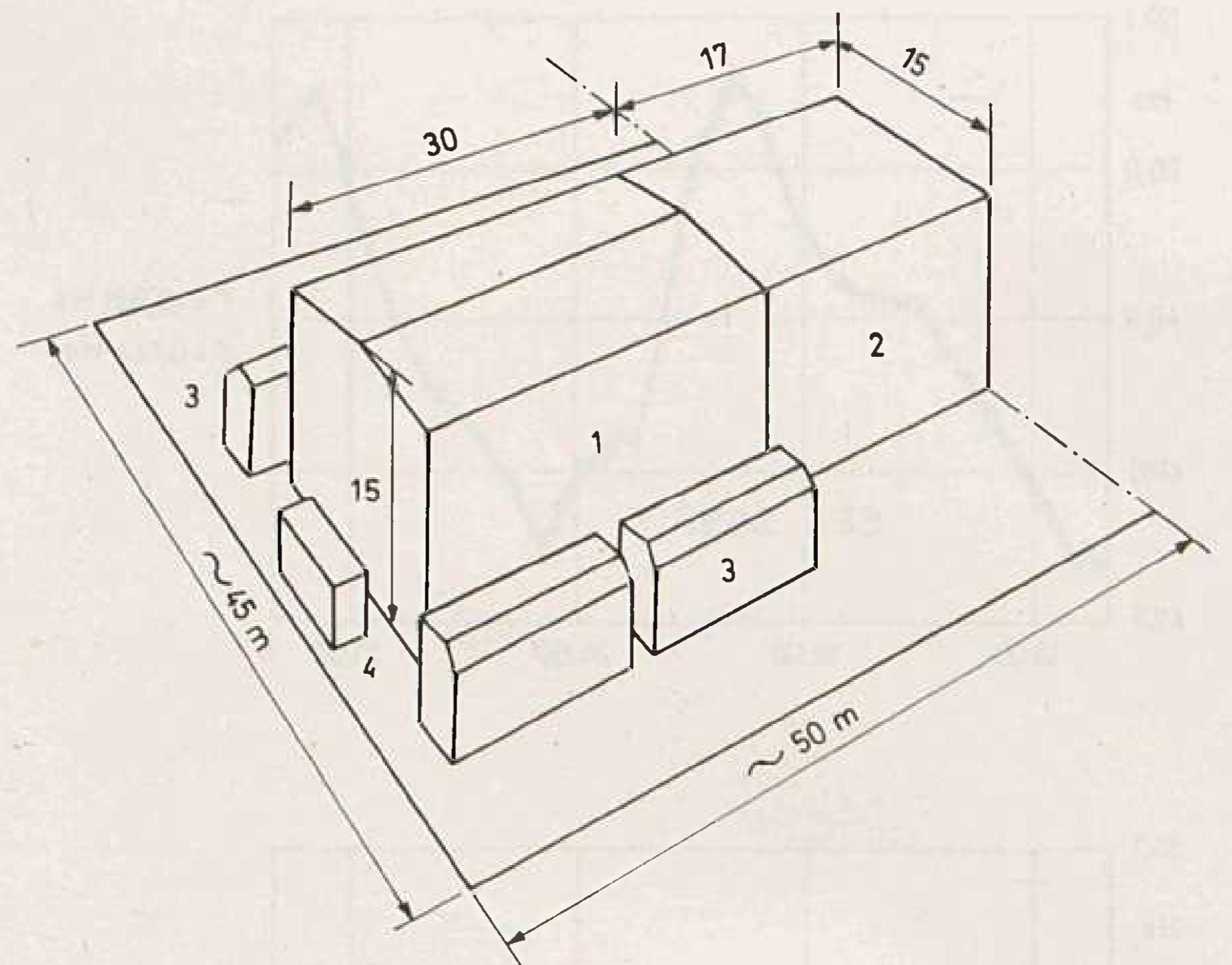
Tiristori su smješteni u ventilsku halu, hladjeni vodom. Izolacija je zračna. Uz ventilsku halu dograđen je komandno-pogonski prostor na kojega se može nasloniti ventilska hala za smještaj tiristorskih ventila buduće dogradnje od 1 000 MW.

Ventilska hala visoka je oko 15 metara, tlocrta oko 15 × 30 metara. Zajedno s komandno-pogonskim objektom, transformatorima i prigušnicom te nužnim slobodnim prostorom usmjerivačko postrojenje stanice Dürnrohr zauzima oko 50 × 45 metara tlocrta (slika 9).

### (c) Veličina usmjerivačke stanice

O tipu izvedbe obaju vanjskih rasklopnih postrojenja izmjenične struje ovisi veličina tlocrta zauzetog usmjerivačkom stanicom. Usmjerivačko postrojenje svojom veličinom u tome ne sudjeluje presudno.

U primjeru stanice Dürnrohr, koji slijedimo, trebalo je osigurati tlocrt za dva 400 kV postrojenja u vanjskoj visokoj izvedbi sa po 5 polja u svakome, te za smještaj usmjerivačkog postrojenja. Zauzeti tlocrt I. etapom izgradnje ima dimenzije oko 400 × 135 metara. Ako se tome doda i tlocrt za dogradnju instalacije za daljih 1 000 MW, ukupna površina se približno udvostručuje (slika 7.b).



1. ventilska hala
2. komandno-pogonska zgrada
3. usmjerivački transformatori
4. prigušnica

**Slika 9. Vanjski izgled usmjerivačkog postrojenja stanice Dürnrohr**

Izvor: HGK Dürnrohr, ÖZE 8/9–1983

Usmjerivačka stanica Vyborg, dvostruko veće snage od izgrađene I etape stanice Dürnrohr, zauzima prema (5) površinu od čak 30 ha. Očito, tamo je prostor korišten znatno komotnije.

### (d) Trajanje izgradnje usmjerivačkih stanica

Za više istosmjernih prijenosa i za »back-to-back« stanice, objavljena su planirana ili/i ostvarena trajanja izgradnje usmjerivačkih stanica. Proizlazi da je to trajanje tri do pet godina (slika 10).

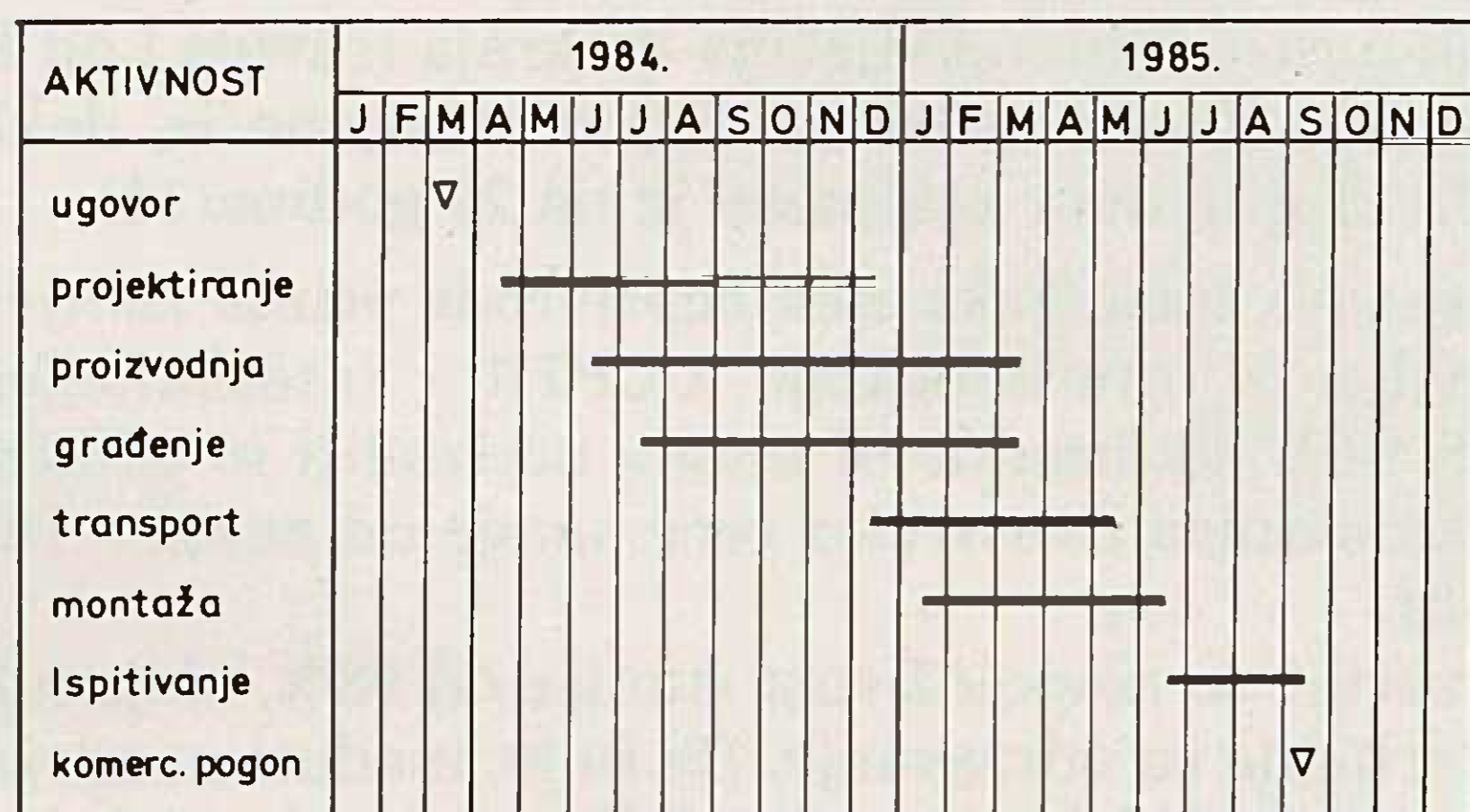
U tome je naglašeno trajanje projektiranja: jedna do više od dvije godine. Proizvodnja opreme traje oko godinu dana, a montaža redovito manje od godine dana. Sve je tipično za suvremenu organizaciju izgradnje velikih objekata u svijetu: najviše vremena u konstrukcijskom birou, srednje utrošenog vremena u tvorničkim halama i što manje utrošenog vremena na terenu!

Rekordno vrijeme u svijetu postignuto je pri izgradnji »back-to-back« stanice Highgate, snage 200 MW, za povezivanje 120 kV mreže Kanade i mreže 115 kV savezne države Vermont, SAD. Od potpisa ugovora s isporučiocem ASEA do komercijalnog pogona proteklo je samo 18 mjeseci! Okolnosti kod naručioca tražile su tako efikasnu realizaciju.

Izgradnja stanice Dürnrohr može se razdijeliti u dvije faze: prije i poslije zaključenja ugovora o isporuci opreme. Prethodne aktivnosti trajale su tri godine, a izgradnja četiri godine (u tome neposredno građenje tri godine, a projektiranje jednu godinu).

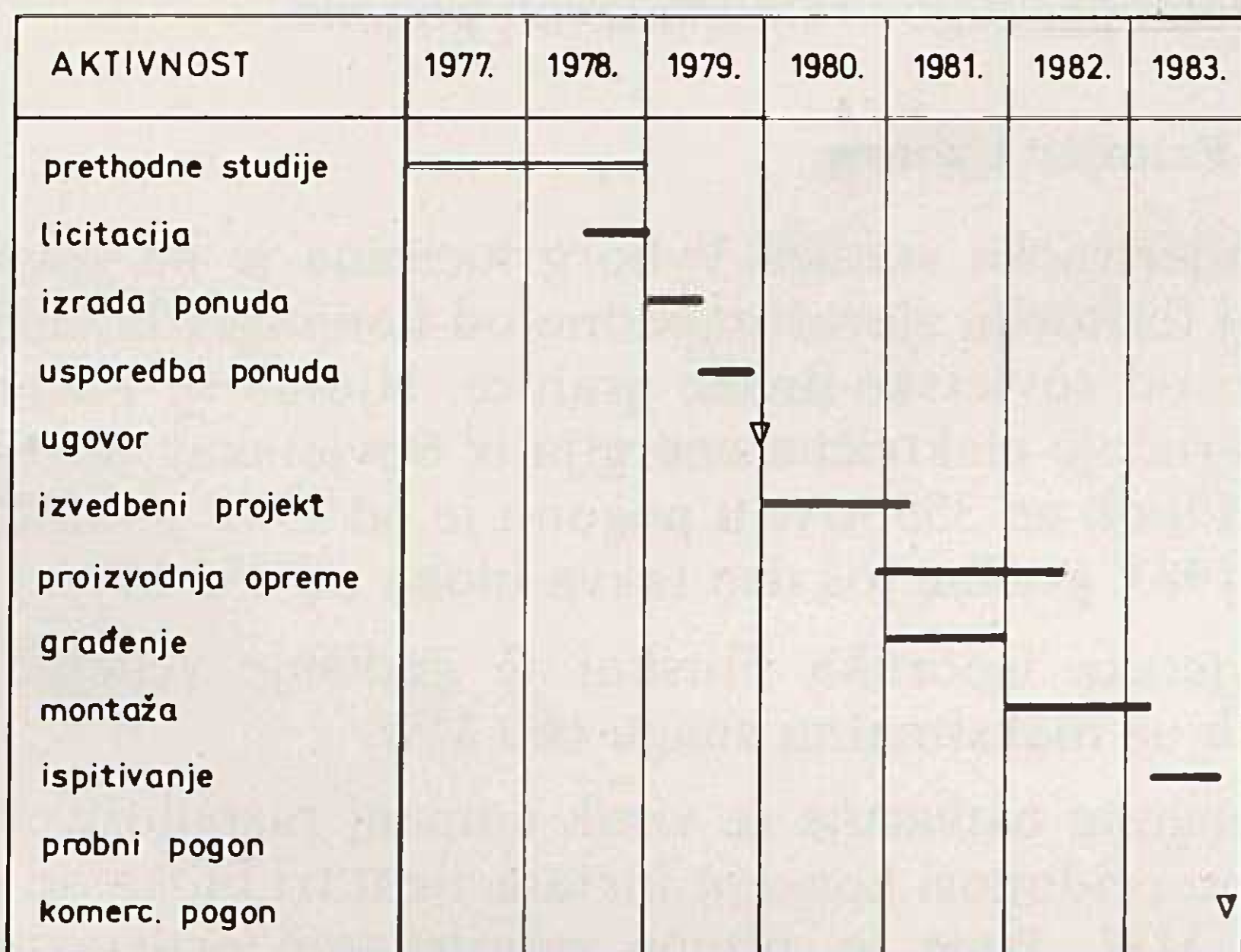
Za prethodno studiranje utrošene su dvije godine, u kojem vremenu su studirani elementi kojima je određena ekonomičnost i sigurnost cjelokupnog rješenja; to su bili kriteriji za izbor između studiranih alternativa.

BACK-TO-BACK STANICA HIGHGATE. (SAD-Kanada)



Izvor: HGÜ lieferung in Rekordzeit, Asea – Zeitschrift 6/1986.

BACK-TO-BACK STANICA DÜRNROHR (Austrija-CSSR)



Slika 10. Primjer ostvarenih vremena izgradnje usmjerivačkih stanica

Izvor: Hochspannungs – Gleichstrom – Kurzkupplung Dürnrohr, ÖZE 8/9 – 1983.

### (e) Potencijalni isporučiooci

Za izradu ponuda utrošeno je za stanicu Dürnrohr oko pola, te za njihovu usporedbu još oko pola godine. Ponude su podnijeli:

- ASEA, Švedska;
- General Electric, SAD;
- GEC, Velika Britanija;
- Konzorcij KGK (AEG, BBC, ELIN, Siemens);
- Toshiba, Japan.

To je ujedno i popis aktualno mogućih svjetskih isporučilaca usmjerivačkih postrojenja, uz dodatak isporučilaca iz SSSR-a. Polovinu isporuka koje su u pogonu u svijetu ostvarila je ASEA, kao i primat u razvojnim prodorima.

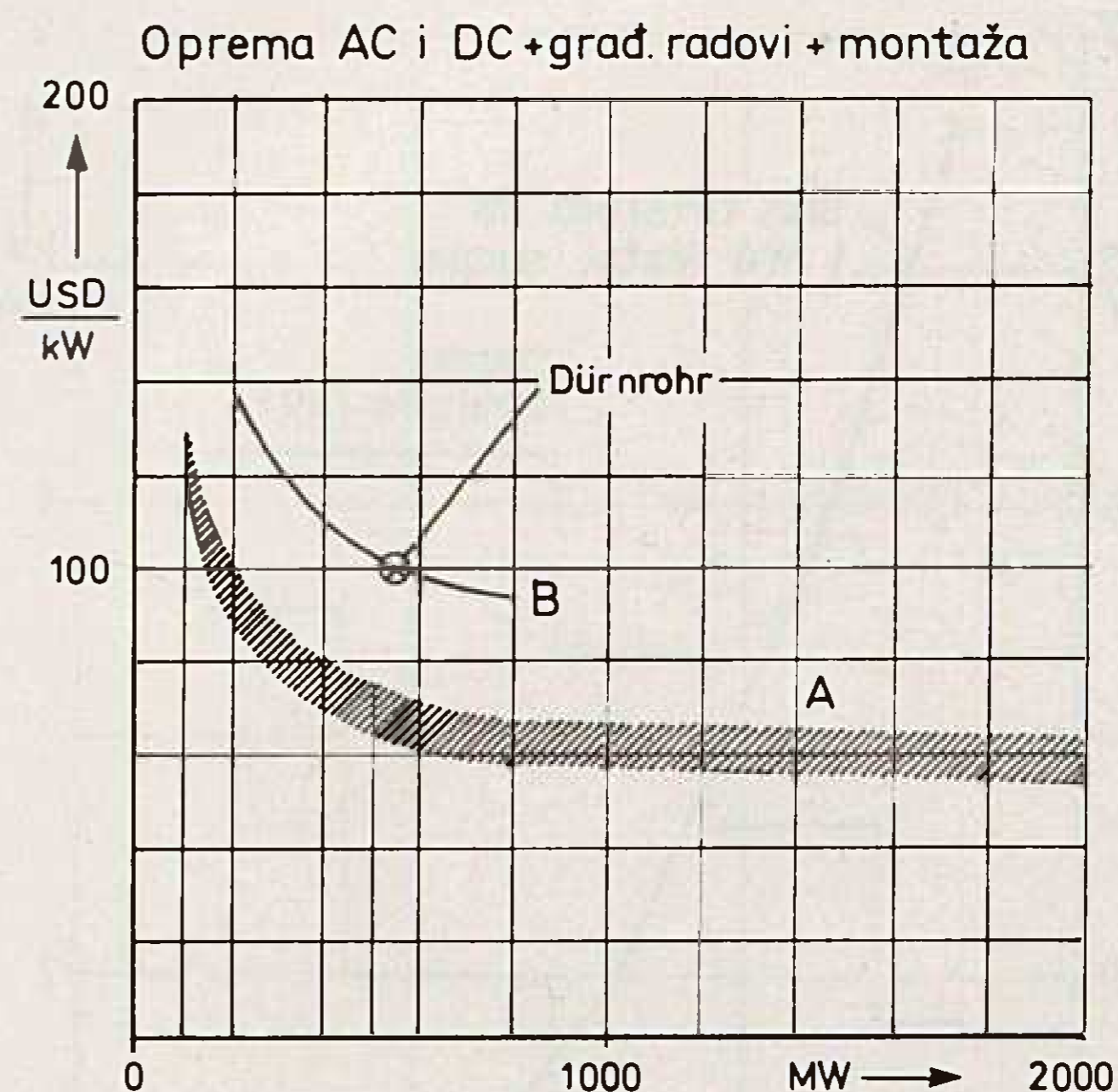
Posao na stanici Dürnrohr ustupljen je Konzorciju KGK, pri čemu je ostvaren udio austrijskih isporučilaca od oko 75% (transformatori, prigušnice, kondenzatori, filtri, hlađenje, visokonaponski rasklopni aparati).

### (f) Cijena usmjerivačkih stanica i tendencije

Jedinična cijena (iskazana novčanim jedinicama po jedinici instalirane snage) opada u početku naglo s instaliranom snagom usmjerivačke stanice. Koljeno

je negdje oko 300 MW, da bi iza 600 MW nastupila gotovo stagnacija (slika 11).

Red veličine sadašnje cijene (koja obuhvaća opremu postrojenja izmjenične i istosmjerne struje, građevinske radove i montažu) je oko 100 USD/kW (USD = američki dolar), za instaliranu snagu stanice od oko 500 MW. Za snagu od 300 MW cijena bi bila oko 120 USD/kW.



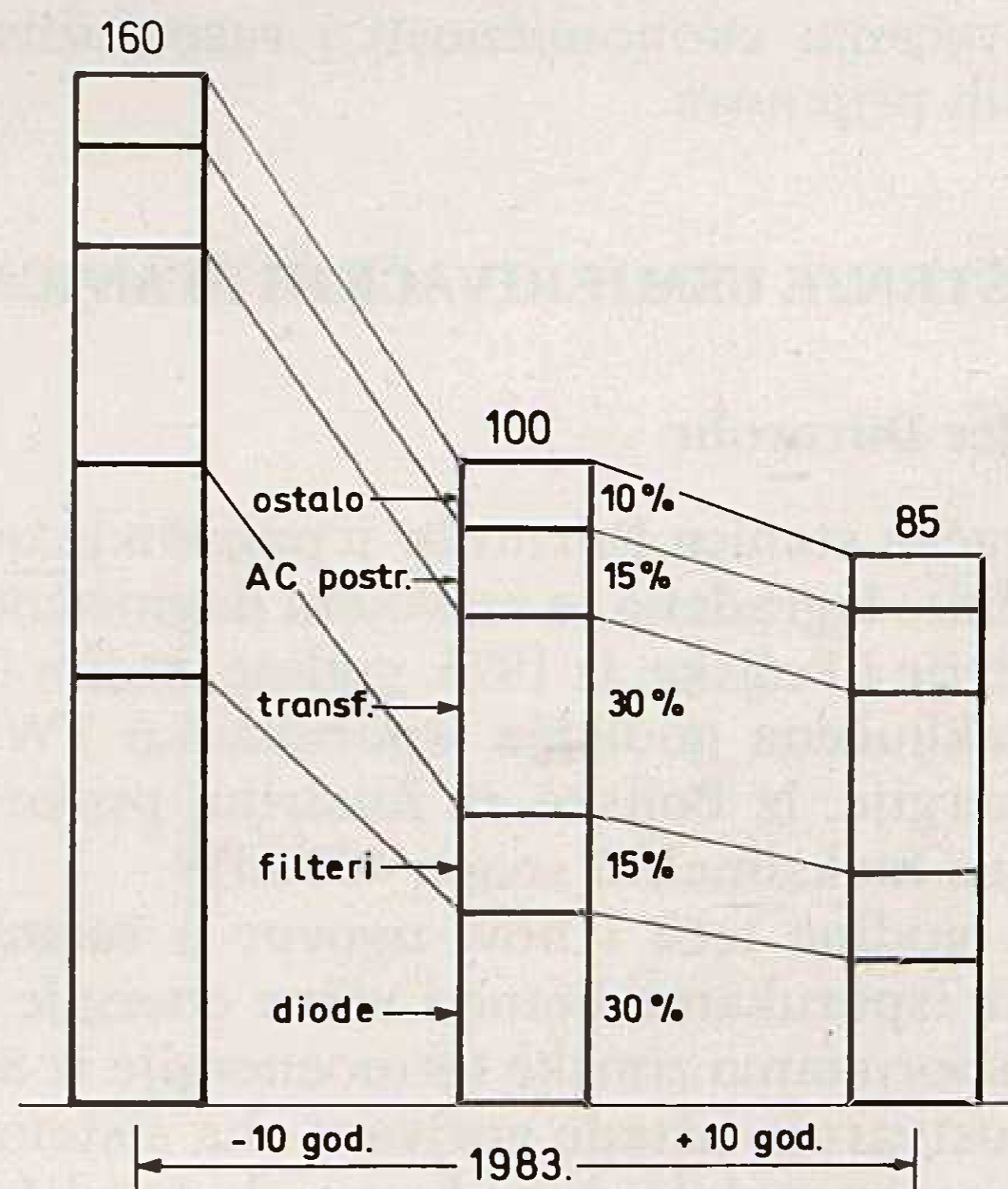
Slika 11. Jedinična cijena usmjerivačkih stanica u ovisnosti o instaliranoj snazi: (a) po jednoj krajnoj stanici, (b) »back-to-back« stanica

Izvori: (a) HVDC Transmission, Swedish SPB 1984.

(b) Grundlagestudien... Dürnrohr, ÖZE 8/9 – 1983.

Ostvarena cijena ukupnih ulaganja u stanicu Dürnrohr (uključen i dalekovod 400 kV do austrijsko-čehoslovačke granice) je oko 1,2 milijarde austrijskih šilinga. Kada se izuzme vrijednost dalekovoda, dođe se do cijene otprilike 100 USD/kW.

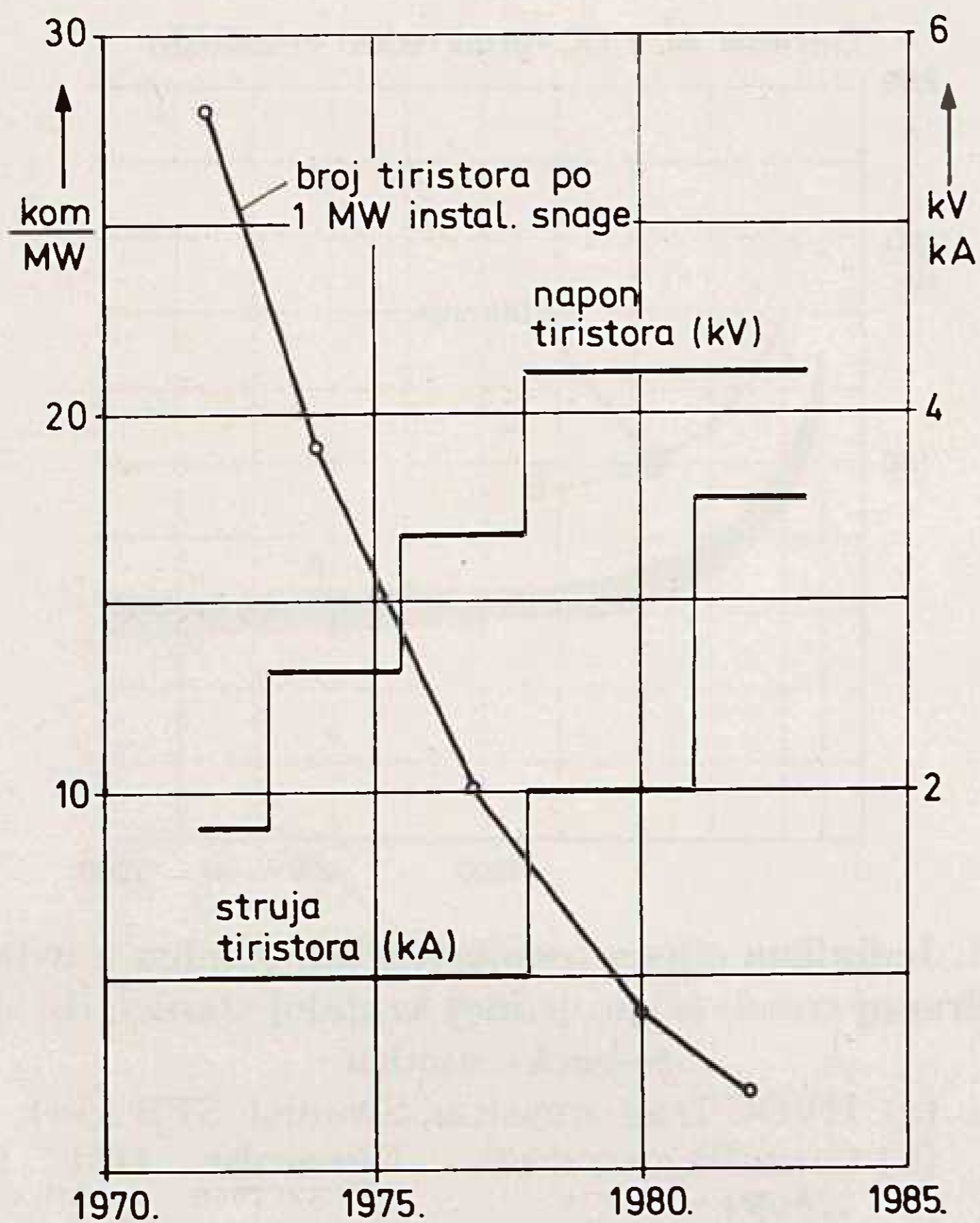
Ako se promatra samo vrijednost opreme usmjerivačke stanice (slika 12), u njoj najviše sudjeluje vrijednost tiristorskih ventila (30%) i usmjerivačkih transformatora (30%). U idućim godinama očekuje se pad cijena tiristorskih ventila, tako da bi cijena opreme za daljnjih 10-ak godina razvoja bila oko 85%



Slika 12. Udjeli u cijeni opreme usmjerivačke stanice  
Izvor: HVDC Transmission, Swedish SPB 1984.

od cijene iz 1983. godine. Omjer vrijednosti opreme i radova (građevnih, montažnih, inženjering) za usmjerivačku stanicu sada je oko 2:1.

Ostvaren je impresivan razvoj tiristora za primjenu u visokonaponskim prijenosima istosmjernom strujom, u posljednjih 10-ak godina (slika 13). Od nazivnih parametara 1 kA/1,8 kV početkom 70-ih godina,



**Slika 13. Razvoj tiristora za primjenu u visokonaponskim usmjerivačkim postrojenjima za prijenos istosmjernom strujom**

Izvor: Seminar HVDC, Stockholm 1985/R. 102

došlo se na 3,6 kA/4,2 kV početkom 80-ih godina. Time je broj ventila koje treba ugraditi po 1 MW instalirane snage smanjen sa 28 na 4 kom. Osim pojednostavljenju osnovnog kruga, to vodi i pojednostavljenju upravljanja, strujne i naponske zaštite, hlađenja, strukturnog oblikovanja, smanjenju prostornih dimenzija, smanjenju gubitaka i vlastite potrošnje, dakle povećanju ekonomičnosti i raspoloživosti istosmjernih prijenosa.

## 5. KORIŠTENJE USMJERIVAČKIH STANICA

### (a) Primjer Dürnrohr

Usmjerivačka stanica Dürnrohr u pogonu je od kraja 1983. godine. Izgrađena je razvojem dugoročnog ugovora Austrije i Poljske, iz 1975. godine, kojim je 1983. godine zaključena godišnja isporuka 1,6 TWh električne energije, iz Poljske za Austriju, preko mreže ČSSR-a, uz maksimalnu snagu 400 MW.

Od 1985. godine teče i novi ugovor o razmjeni sa SSSR-om: isporukama ljetne i vršne energije iz Austrije, te isporukama zimske termoenergije iz SSSR-a. Time se ostvaruju uštede goriva u oba sistema. Austrija ima, naime, slobodnog ljetnog hidrauličnog potencijala koji se ovako može potpunije iskoristiti. Austrija isporučuje od svibnja do kraja kolovoza da-

nju 590 GWh SSSR-u, a odande preuzima noću 472 GWh u razdoblju od siječnja do kraja travnja i od 15. listopada do 15. prosinca. Ključ razmjene je, dakle, 1,25:1. Taj ugovor zaključen je na 20 godina(11).

Prema (4), austrijska elektroprivreda prima zahtjeve zemalja iz interkonekcije UCPTTE i interkonekcije OES SEV, kojima ne bi mogla udovoljiti ni usmjerivačka stanica dvostruko veće snage od stanice Dürnrohr.

Ostvaruje se raspoloživost stanice od 98%, uključujući i vrijeme za održavanje. Da bi je, međutim, održali na toj razini i u budućnosti, odlučeno je da se dobavi jedan rezervni usmjerivački transformator, prespajiv na sekundaru u trokut ili zvijezdu, jer bi kvar jednoga od četiri takva transformatora izbacio čitavu stanicu predugo vremena izvan pogona.

### (b) Primjer Vyborg

Usmjerivačka stanica Vyborg locirana je na sovjetskoj teritoriji, sjeverozapadno od Lenjingrada, nedaleko od sovjetsko-finske granice. Njome se Finskoj isporučuje električna energija iz Sovjetskog Saveza. Prvi blok od 355 MW u pogonu je od 1981. godine, a od 1983. godine još dva takva bloka od 355 MW.

Sovjetska isporuka Finskoj je godišnje veličine 4 TWh uz maksimalnu snagu 600 MW.

U pogonu ostvaruje se visok stupanj raspoloživosti, čemu pridonosi koncept instalacije u tri bloka od po 355 MW. Time je, prema zahtijevanoj prijenosnoj snazi, jedan blok rezervni. Usmjerivačka stanica povezana je sa po dva dalekovoda izmjenične struje sa svake strane: 330 kV na mrežu SSSR-a i 400 kV na mrežu Finske.

Osiguranje od dugotrajnijeg kvara usmjerivačkog transformatora ovdje je provedeno jednofaznom izvedbom tih transformatora; u stanici ukupno je ugrađeno 36 jednofaznih jedinica. Svakako im je i proizvodnja bila jednostavnija (namjesto 12 trofaznih jedinica).

## 6. NAŠE POTENCIJALNE PERSPEKTIVE

Elektroenergetski sistem Jugoslavije povezan je danas i vodovima napona 400 kV sa sistemima zemalja interkonekcije UCPTTE i njezine regionalne grupe SUDEL (Italija, Austrija, Jugoslavija, Grčka), s kojima je u trajnom sinhronom paralelnom radu od 1974. godine (tada povezan vodovima napona 220 kV s Italijom i Austrijom, a od 1977. godine i 150 kV vodom s Grčkom).

Također, izgrađen je dalekovod 400 kV prema Bugarskoj, a u izgradnji je takav dalekovod prema Mađarskoj (Subotica – Szeged). Time je omogućena i povezanost prema sistemima interkonekcije OES SEV, ali izdvojenog dijela mreže priključenog radijalno. Ugovori o većim količinama razmjene električne energije i na dulji vremenski rok, potencijalno ostvarivi između Jugoslavije i neke zemlje iz sastava interkonekcije OES SEV, učinili bi vrlo aktualnim raz-

matranje izgradnje usmjerivačke stanice između Jugoslavije i povoljnog čvora u susjedstvu (npr. u Mađarskoj). Kako je investicijska vrijednost takva objekta vrlo velika (reda veličine većeg od 50 milijuna dolara), to je pažljiv izbor ekonomsko-energetskih odnosa, elektroenergetske lokacije, glavnih veličina i svojstava, optimiranje između dobro zamišljenih varijanata i osiguranje povoljnog domaćeg udjela, kompleksan, odgovoran i zanimljiv stručni izazov koji potencijalno predstoji.

## LITERATURA

- [1] A. DUJMOVIĆ i M. KALEA: »Sagledavanje potreba i mogućnosti prijenosa električne energije usmjerivačkom stanicom Jugoslavija – Mađarska (Ernestinovo – Toponar)«, Elektroslavonija – Osijek, 1985.
- [2] Seminar o visokonaponskom prijenosu električne energije istosmjernom strujom, Ekonomska komisija Ujedinjenih naroda za Evropu, Stockholm, 1985. (slog izvornih referata)
- [3] Hochspannungs – Gleichstrom – kurzkupplung Dürnrrohr, tematski broj časopisa Österreichische Zeitschrift für Elektrizitätswirtschaft 8/9 – 1983.
- [4] T. KRIŽNAR, R. POPOVIĆ: »Izvještaj sa službenog puta u Švedsku, Austriju i SSSR od 5. do 15. V. 1985. godine«, ZJE Beograd
- [5] V. ĐURIĆ, R. STOJKOVIĆ i R. POPOVIĆ: »Izvještaj sa službenog puta u Vyborg, SSSR, 24. VI – 2.VII. 1985.« ZJE Beograd
- [6] M. KALEA: Izvještaj o stručnoj ekskurziji u Mađarsku i Čehoslovačku u vezi s tipizacijom dalekovoda 110 kV, Elektroslavonija – Osijek, 1987.
- [7] Sporazum o tranzitu – o unapređenju suradnje – zaključen između Magyar Villamos Művek Tröst, Budapest i Zajednice jugoslavenske elektroprivrede Beograd u Pečuhu 12. III. 1987.
- [8] Protokol o razgovorima o energetskoprivrednim i tehničkim pitanjima između Österreichische Elektrizitätswirtschafts – AG i Zajednice jugoslavenske elektroprivrede od 4. V. 1984. u Novom Sadu
- [9] HGÜ – Lieferung in Rekordzeit für Highgate USA, Asea – Zeitschrift 6/1986.
- [10] Analiza prilika u elektroenergetskom sistemu SR Hrvatske u razdoblju 1991 – 1995. godine s osvrtom na 2000. godinu, ZEOH, Zagreb 9. XII. 1987.
- [11] Visokonaponska istosmjerna veza Dürnrrohr, Energija 1/1984.
- [12] B. MARKOVČIĆ: »Stanje prijenosa istosmjernom strujom visokog napona danas u svijetu«, Energija 1967/3 – 4.
- [13] B. MARKOVČIĆ: »Razvoj i tendencije prijenosa velikih snaga«, Energija 1971/5 – 6. i 7 – 8.
- [14] J. KAUFERLE: HGÜ – Alternative zur Wechselstrom – Übertragung,« Brown Boveri Mitteilungen 1978/9.
- [15] M. MARTENSON, P. DANFERS: »Die Entwicklung der HGÜ – Technik bei der ASEA«, ASEA – Zeitschrift 1975/6. i 1979/3.
- [16] A. NILSSON: »Konstruktion von HGÜ – Thyristorventilen«, ASEA – Zeitschrift 1979/4.
- [17] Referativni žurnal Svesaveznog instituta naučnih i tehničkih informacija SSSR, br. 1975/10. i 1979/2.
- [18] M. PLAPER: »Asinhrona interkonekcija elektroenergetskih sistema«, Elektroprivreda 1979/9 – 10.
- [19] M. PLAPER, D. SAJOVIĆ: »Razvoj elektroprivrede Jugoslavije do 1985. godine, s osvrtom na 1990. godinu i vizijom do 2000. godine – jednovremeni rad s evropskim elektroprivrednim interkonekcijama«, Elektroinštitut »M. Vidmar« – Ljubljana, 1979.
- [20] M. KALEA: »Prijenos električne energije istosmjernom strujom visokog napona u svijetu danas«, Energija 1980/9 – 10.

### DC ASSEMBLIES FOR CONNECTION OF ELECTRIC POWER SYSTEMS

For hundred years there are applied three phase AC assemblies for connection of electric power systems with good operational characteristics. But in some marginal conditions limiting factors become apparent. In last decades there are applied solutions with DC assemblies interpolations that are based on HVDC thyristor valves.

### DAS VERBINDEN DER ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEME DURCH GLEICHSTROM ANLAGEN

Seit fast einem Jahrhundert gründet die Ausbreitung der weltweiten elektroenergetischen Systeme sowie ihre gegenseitige Beziehung auf einer ausschließlichen Anwendung des Systems des Dreiphasen – Wechselstromes und zwar wegen ihrer zahlreichen Vorteile. Bei manchen Randanwendungsgebieten jedoch, wachsen Beschränkungen hervor die es bei normalen Verhältnissen nicht gibt. Eine Möglichkeit die sich in den letzten Jahrzehnten meldet besteht in der Interpolation der Anlagen und Gleichstromanlagen deren Aufstieg durch die Entwicklung der Halbleiterventile von sehr großer Stärke gesichert ist.

### СОЕДИНЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УСТАНОВКАМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Уже почти столетие развиваются мировые электроэнергетические системы. Их взаимное соединение обосновано исключительно на применении трехфазного переменного тока из — за многочисленных преимуществ. Однако в некоторых крайних пределах применения возникают ограничения, невыраженные в нормальных условиях. Решение, возникшее в последние десятилетия состоит в интерполяции установок и линий постоянного тока, чей взмах обеспечен развитием полупроводниковых вентилей очень большой мощности.

Naslov pisca:

**Marijan Kalea, dipl. inž.  
Elektroslavonija Osijek,  
54000 Osijek,  
Šet. V. Vlahovića 1 a, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1988 – 07 – 15

**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 nuklearne i fosilne termoelektrane i toplane te za mehanički pogon radnih strojeva; turbokompresori, diesel agregati i kompletna energetska postrojenja
- ★ BRODSKA OPREMA: glavni i pomoćni diesel motori, parne turbine, pumpe i automatika
- ★ PUMPE I PUMPNA POSTROJENJA
- ★ EKOLOŠKA OPREMA: za tretman komunalnih, industrijskih i brodskih otpadnih voda, pitke vode, dimnih plinova; spalionice smeća
- ★ ELEKTRONIKA, AUTOMATIKA I BIROTEHNIKA
- ★ GRAĐEVINSKI OKOV, ČAVLI I DRUGI ŽIČANI PROIZVODI
- ★ ELEKTRODE; FILTERI ZA RASHLADNE UREĐAJE
- ★ SPECIJALNI ALATI
- ★ PROIZVODI OD TERMOPLASTIČNIH MASA
- ★ BIOBRIKET, TEHNIČKI PLINOVI, PRERADA I KEMIJSKA ZAŠTITA DRVETA

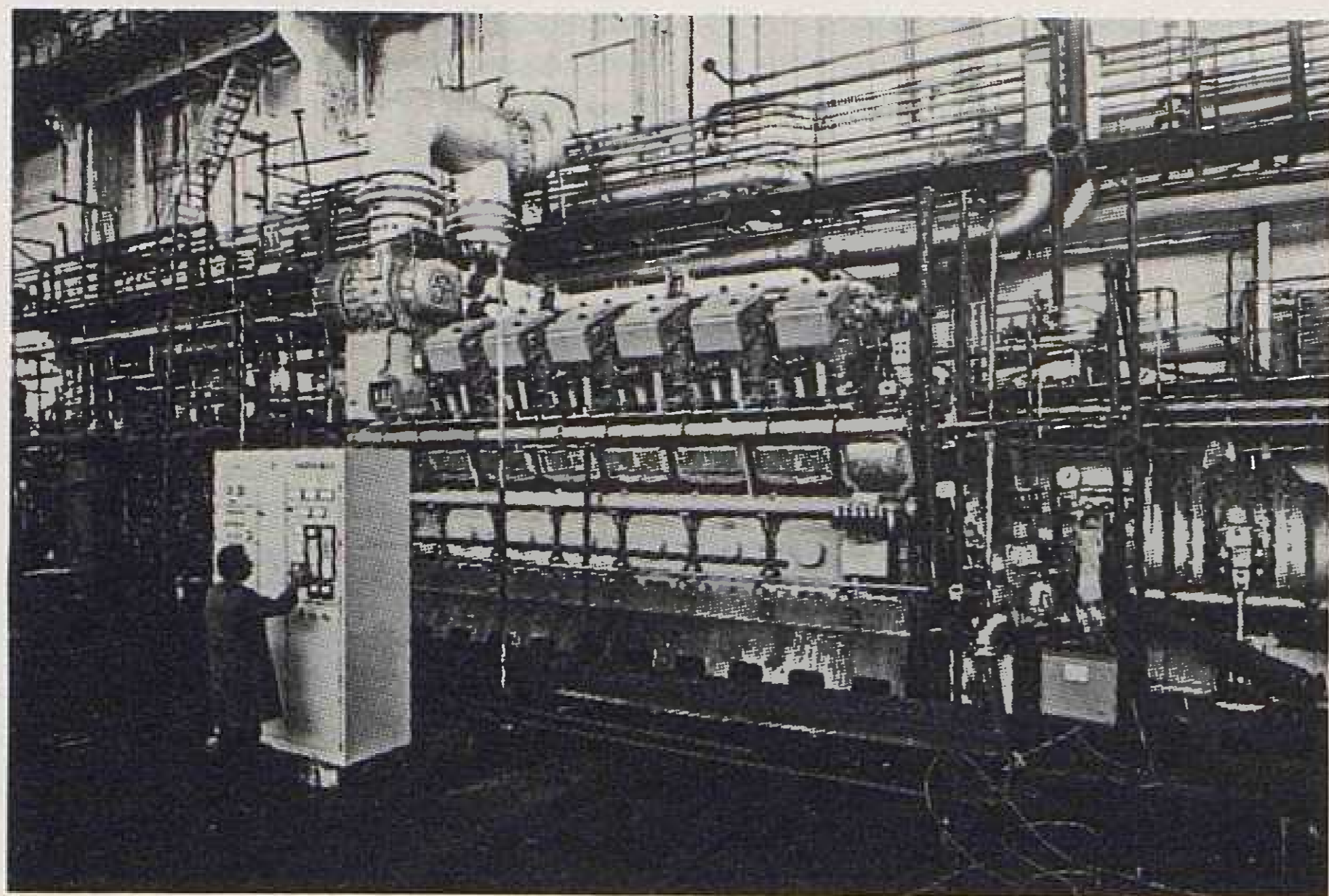
### DJELATNOSTI

- ★ INŽENJERING (konzalting, projektiranje, isporuka opreme i izgradnja objekata) ZA ENERGETSKA, INDUSTRIJSKA, HIDRO I EKOLOŠKA POSTROJENJA
- ★ IZVOZ — UVOZ, ZASTUPSTVA, TRGOVINA NA VELIKO I MALO
- ★ USLUGE ODRŽAVANJA, SERVISIRANJA I MONTAŽE za turbine, pumpe i diesel motore

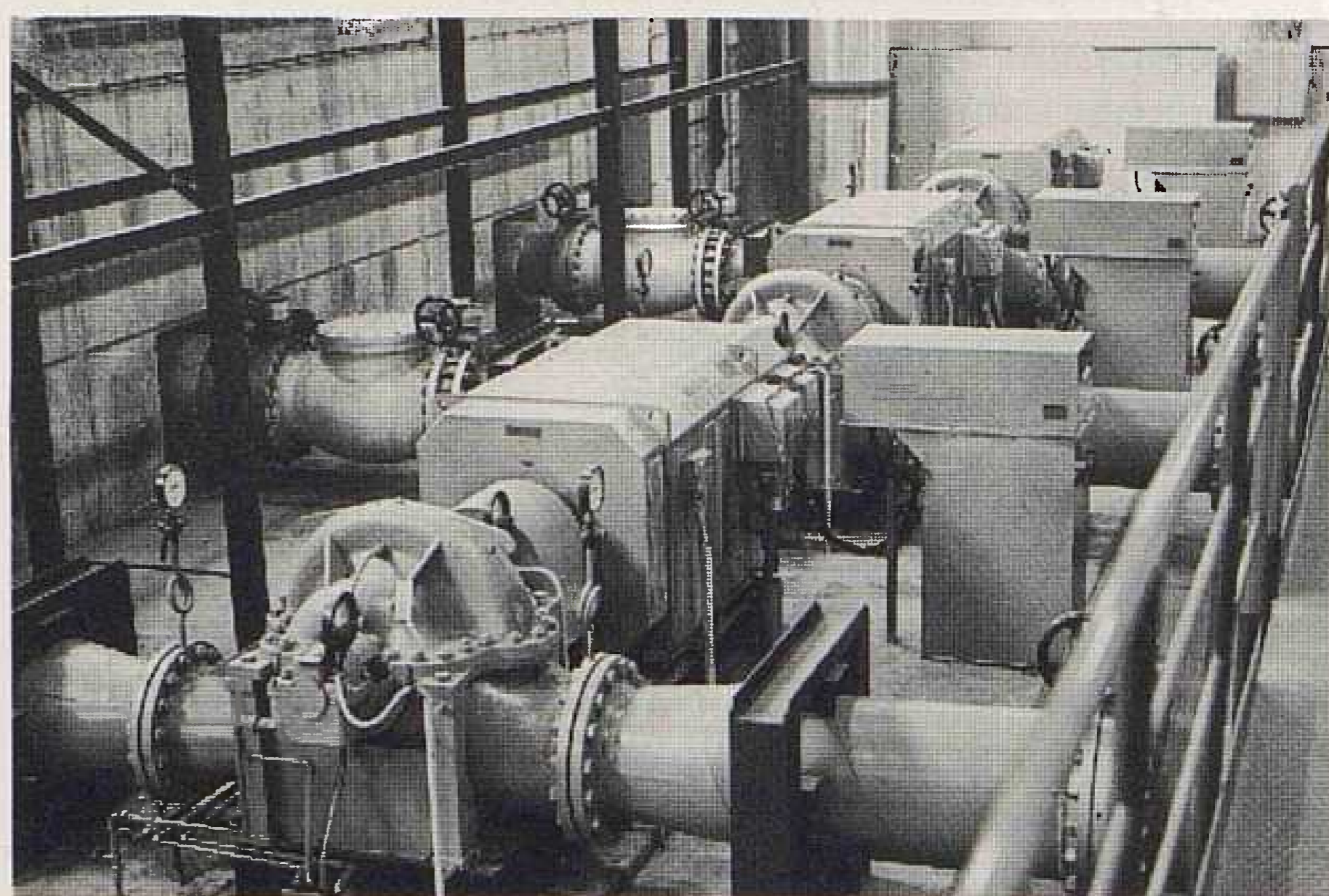
### KONTAKT ADRESA

**Jugoturbina — Trgovina i inženjering  
Marketing**

**Trg braće M. i J. Benić 2a, 47000 Karlovac  
tel. (047) 26 — 022, tlx. 23 745 yu juting**



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.

# ELEKTROPROJEKT — ZAGREB

Povodom 40. obljetnice rada (1949 — 1989)

Slavko Tomić, Zagreb



## UVOD

Visoka obljetnica neprekidnog rada Elektroprojekta obvezuje nas da sadašnjim generacijama opišemo razvojni put poduzeća i značajne događaje na tom putu. Rješenjem Vlade FNRJ od 12. 3. 1949. osniva se poduzeće za projektiranje hidroelektrana i istražnih radova pod ime-

nom »Hidroelektroprojekt«, što se računa kao početak rada »Elektroprojekta«. Godinu dana kasnije poduzeću se pripaja zagrebačka grupa »Termoelektroprojekta« i grupa za projektiranje trafostanica.

Nakon prelaska nadležnosti sa savezne na uprave republičke, Rješenjem Vlade NR Hrvatske od 6. 2. 1952, a na prijedlog Radničkog savjeta, izmijenjeno je ime poduzeća u današnje »Elektroprojekt«, poduzeće za projektiranje elektroenergetskih postrojenja.

Rad male grupe za projektiranje hidroelektrana možemo pratiti već od prvih dana nakon oslobođenja. Rad na projektu hidroelektrane Vinodol započeo još 1938. godine, a uz izmijenjenu koncepciju rješenja, nastavila je spomenuta grupa 1945. g. u sklopu Generalne direkcije Elektroprivrede NRH, a od 1. 4. 1946. u novoosnovanom poduzeću za građenje i projektiranje hidroelektrana »Hidroelektra«. U sklopu »Hidroelektre« porasla je projektantska grupa na 12 članova i do studenog 1946. g. izradila Generalni projekt HE Vinodol, a započela i neke druge studije i projekte (Zavrelje, Ozalj, Cetina). U siječnju 1948, sada već brigada od 16 suradnika iz građevinskog poduzeća »Hidroelektra«, prelazi u Inženjerski projektni zavod, a iz njega u »Hidroelektroprojekt«.

Treba spomenuti da je ta brigada inženjera i tehničara preuzela i razradila projekt HE Vinodol i HE Zavrelje kao prve hidroelektrane izgrađene nakon oslobođenja i ugradila svoje znanje, iskustvo i entuzijazam u temelje razvoja današnjeg »Elektroprojekta«, a na taj način i domaćeg razvoja inženjerske prakse.

Pothvat projektiranja i izgradnje HE Vinodol i HE Zavrelje, a zatim drugih hidroelektrana znatno je utjecao

na razvoj industrije energetske i hidromehaničke opreme i na razvoj građevinarstva, uključujući montažnu djelatnost.

Među 16 stručnjaka tog pothvata, koji su bili preteče današnje »Elektroprojekta«, točnije njegova odjela za hidroelektrane pod vodstvom tada mladoga inž. Mladena Žugaja, sa zadovoljstvom ističemo nekoliko imena koja i danas aktivno sudjeluju u radu i pridonose razvoju društva i »Elektroprojekta«, kao što su prof. dr. Mladen Žugaj, inž. Milan Mrvoš, inž. Boris Pavlin, inž. Zdenko Schwartz i inž. Fedor Jelušić, unatoč već davno odrađenih 40 godina aktivnog rada. Među pionirima »Elektroprojekta« potrebno je spomenuti pok. inž. Ladislava Ulricha, inž. Antu Skaru i inž. Stjepana Reštarovića.

Drugu grupu stručnjaka, koji su stvarali temelje razvoja naše energetike i »Elektroprojekta«, čine inženjeri za područje termoelektrana, te distributivnih i prijenosnih sistema.

Grupu za termoelektrane kao dio »Termoelektroprojekta« predvodio je jedan od najpoznatijih termičara u to vrijeme u našoj zemlji inž. Juraj Mihajlov, a nastavio inž. Ante Gaćina, da bi se u »Elektroprojektu« na toj jezgri razvio današnji Strojarski biro, specijaliziran za termotehničke procese.

Grupu za distributivne mreže i trafostanice, kao osnovu današnjeg »Elektrobiroa« predvodio je inž. Blaž Uzelac, a nastavio inž. Ljudevit Matjan.

Svim spomenutima, kao i onima koji nisu spomenuti a pripadaju osnivačima Elektroprojekta ili učesnicima u njegovu daljnjem razvoju, dugujemo iskreno poštovanje i zahvalnost za učinjeno.

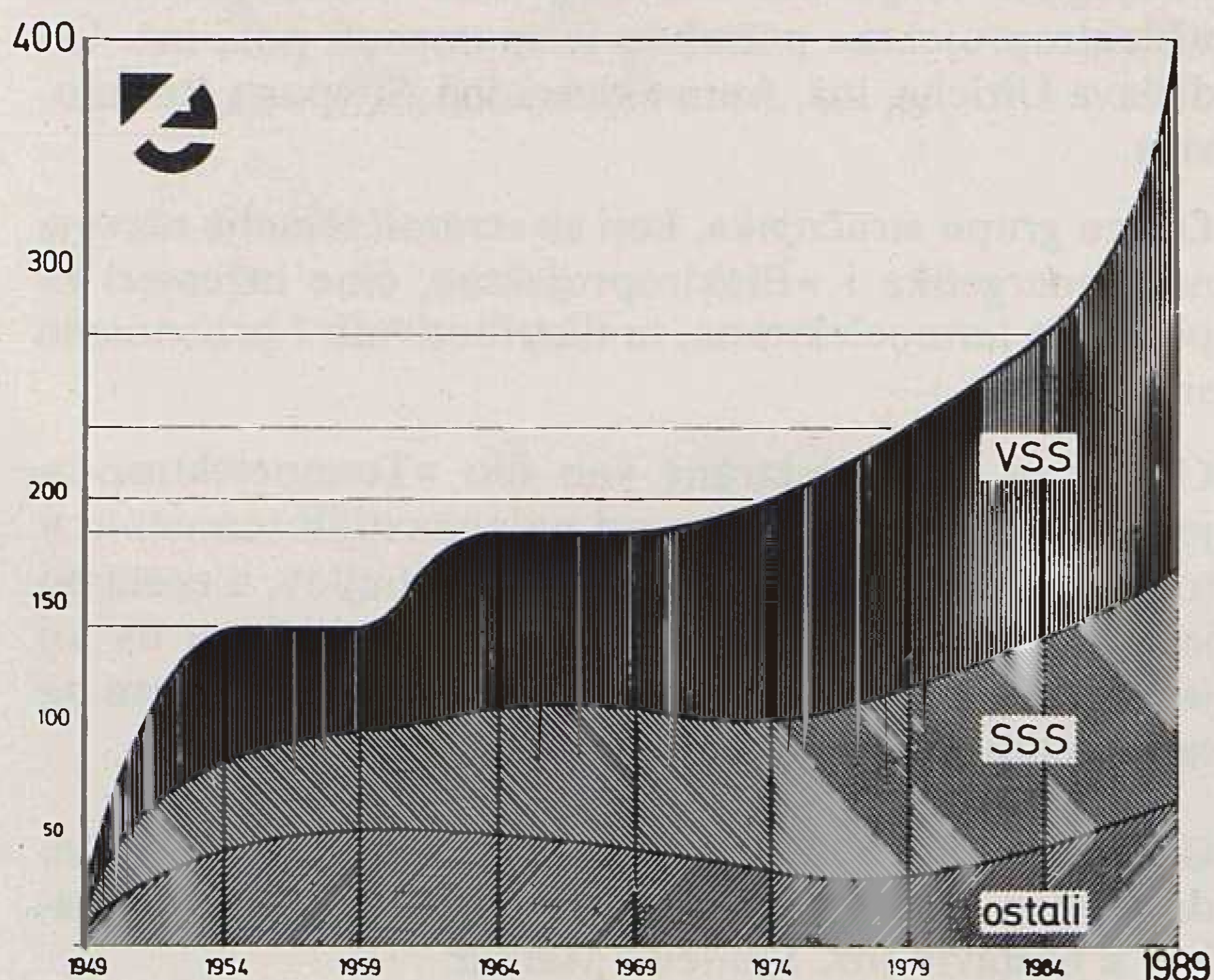
Na zasadama davne 1949. g. RO »Elektroprojekt« izrasla je u snažnu projektantsku organizaciju s kojom je razvoj Elektroprivrede i Vodoprivrede, naročito u području SRH, nerazdvojno povezan.

Uz 40 godina rada na domaćim prostorima »Elektroprojekt« obilježava i 35 godina rada na inozemnom tržištu. Ono što je bio Vinodol i Zavrelje u zemlji 1949. godine, to je bio HE Zawgyi u Burmi 1954. g. Otada počinju aktivnosti »Elektroprojekta« u inozemstvu, i ono je neprekidno, s većim ili manjim intenzitetom, prisutan na stranom tržištu.

## 1. KADROVI

Najvažnija komponenta svakog razvoja su stručni kadrovi, a zatim materijalna sredstva. »Elektroprojekt« je u svom četrdesetogodišnjem radu naročitu brigu pridavao stručnom osposobljavanju i dizanju nivoa znanja pojedinaca i cijelih profesija. Taj pristup je zadržan do današnjih dana, i on je utjecao da »Elektroprojekt« nije bitno povećao broj zaposlenih (ekstenzivnost), ali je povećavao stručnost i tako podizao kvalitetu rada i produktivnost pojedinaca i timova.

Krivulja prema slici 1. prikazuje rast zaposlenih i kvalifikacijsku strukturu od 1949. do 1989. godine. Vidljivo je da je brojno stanje povećano 7 puta u proteklih 40 godina, a u strukturi zaposlenih VSS sudjeluje s više od 54%, SSS s 29%. Tehničko osoblje (inženjeri i tehničari) u RO zastupljeni su sa oko 80%. Taj postotak predstavlja ujedno produktivno osoblje koje radi na radnim nalogima. Odnos VSS uposlenih prema ostalima daje, međutim, sliku obrnute piramide. To je posljedica potrebe samostalnosti rješavanja složenih problema i visokih stručnih zahtjeva za projektiranje kompleksni objekata te sistem školovanja i osposobljavanja srednje stručnih kadrova. Ponekad stručnjaci viših kvalifikacija rade na poslovima nižih kvalifikacija, a takva se praksa često primjenjivala u našoj zemlji i gotovo je postala pravilo.



Slika 1. Kretanje broja zaposlenih i kvalifikacijska struktura

U razvojnim planovima EPZ-a, ta se situacija treba izmijeniti, a to će biti lakše ako i školstvo prihvati osposobljavanje srednje stručnih kadrova (tehničara) i osigura njihovo usmjeravanje, kakvo zahtijeva privreda i tržište radne snage.

### Područja djelatnosti

- Vodoprivredne osnove
- Višenamjensko korištenje voda
- Sistemi navodnjavanja
- Brane i akumulacije
- Hidrotehnički tuneli i podzemne građevine

Fluktuacija radne snage u posljednje vrijeme nešto je pojačana, i to uglavnom odlaskom u inozemstvo specijalističkih kadrova najviših stupnjeva obrazovanja (magistri i doktori nauka). U prethodnim desetljećima pojam fluktuacije u EPZ-u praktički je bio nepoznat. Ta okolnost je pomogla da su se u toku proteklih godina stručno razvijali, usmjeravali i osposobljavali cijeli timovi inženjera za pojedina područja, kako onih iz osnovnih struka, tako i iz komplemetarnih znanja — neophodnih osnovnim strukama.

U radnoj organizaciji se uz zastupljenost pet osnovnih struka: građevinari, arhitekti, strojari, električari i informatičari, nalaze stručnjaci kao tehnolozi, matematičari, fizičari, kemičari, geolozi, geodeti i dr., zatim pravnici, ekonomisti, profesori i suradnici drugih specijalnosti. Zaposleni u RO imaju prosjek radnog staža oko 22 godine ili dobno stanje iznad 40 godina, što upućuje na relativno visoke godine uposlenih, što će povećanjem broja s novim mlađim suradnicima biti ublaženo.

Stručno osposobljavanje kadrova ostvaruje se nakon visokog ili srednjoškolskog obrazovanja, ponajprije kroz timski rad na poslovima, neposredno ovladavajući stručnim područjem iz radnih zadataka, zatim usavršavanjem na specijalizacijama u zemlji i inozemstvu, te konačno i stjecanjem viših stupnjeva znanja na visokoškolskim ustanovama.

U sklopu potreba za rješavanjem tehničkih problema, a dakako i radi školovanja kadrova, »Elektroprojekt« je odmah nakon osnutka poduzeća osnovao prvi hidrotehnički laboratorij u NRH, u kojem se na hidrauličkim modelima ispitivao niz godina. Među prvima bio je preliv i slapište brane Bajer, a slijedilo je daljnjih 30-ak objekata. Kasnije je laboratorij preuzeo Građevinski fakultet — Zagreb.

Stručnjacima kojima danas raspolaže »Elektroprojekt« u područjima svojih djelatnosti pripadaju vodeća mjesta po specijalnosti u našoj sredini pa i izvan nje. Visok nivo znanja i ugled pojedinih stručnjaka omogućio je da se »Elektroprojektovi« stručnjaci uključe u visokoškolsku nastavu, a neki od njih obavljaju nastavu ili rade kao asistenti suradnici.

## 2. DJELATNOST »ELEKTROPROJEKTA«

Razvoj djelatnosti u proteklih 40 godina rada bio je usmjeren na pružanje projektantsko-konzultantskih usluga uz potrebe elektroenergetike i vodoprivrede i na potrebe industrije, građevinarstva, prometa i veza te informatike.

Iz takvog usmjerenja razvila su se područja djelatnosti kojima se poduzeće bavi, a u sklopu tih područja i vrste usluga koje se pružaju korisnicima:

### Vrste usluga

- studije
- preliminarni projekti
- programi istražnih radova
- osnovni projekti
- idejni projekti



- Hidroelektrane
- Termoelektrane-toplane
- Toplinske mreže
- Industrijske energane i postrojenja
- Nuklearne elektrane
- Rasklopna postrojenja i trafostanice
- Telekomunikacije
- Automatizacija i upravljanje sistemima i procesima
- Informatički sustavi
- Ekološki objekti
  - čišćenje dimnih plinova (odsumporavanje)
  - palionice radioaktivnih i drugih otpadaka
  - odlaganje radioaktivnih i drugih otpadaka
- Nekonvencionalni izvori energije
- Javni i specijalni objekti (građevinski i industrijski)
- Racionalizacija potrošnje energije i medija u industriji

Brojčano uzevši »Elektroprojekt« je sudjelovao kroz proteklo razdoblje na domaćim i inozemnim projektima na oko 420 objekata razne namjene, i to samo onih koji se vode u referentnim listama.

- 
- vodoprivredne osnove
  - vodoopskrba
  - irigacijski i drenažni sistem
  - regulacija vodotoka
  - otpadne vode
  - zaštita izvora
  - pumpne stanice
  - oborinske i podzemne vode
  - brane (nasute i betonske)
  - ustave
  - hidrotehnički tunel
  - hidroelektrane
  - pumpno akumulac. elektrane
  - višenamjenska hidrotehnička postrojenja
  - termoelektrane
  - nuklearni objekti
  - elektrane s plinskim turbinama
  - dizel-elektrane
  - termoelektrane-toplane
  - industrijske energane
  - toplinske mreže
  - elektroenergetske mreže
  - transformatorske stanice
  - telekomunikacije
  - informatika
  - automatizacija i upravljanje
  - modifikacija postrojenja
  - racionalizacija potrošnje energije
  - kompleksne studije

- investicijski programi
- ekspertize i izvještaji
- specifikacije i ponudbena dokumentacija
- tehnička dokumentacija za dobivanje građevinske dozvole
- izvedbena dokumentacija
- dokumentacija izvedenog stanja
- programiranje izgradnje i nadzora
- planovi i programi osiguranja kvalitete
- pogonske upute
- programi puštanja objekata u pogon
- dokumentacija za održavanje, popravke i rekonstrukcije
- tehnička promatranja
- usluge geodetskih radova
- informatičke usluge
- usluge upravljanja projektima
- i dr.

Radi potpunijeg uvida u opseg i vrstu projektiranja objekata navode se neki mjerljivi pokazatelji s brojem projekata na kojima je »Elektroprojekt« bio u prošlosti ili je sada angažiran:

- 5 projekata, za područja od 205 000 km<sup>2</sup>
- 20 projekata, kapaciteta od 91 m<sup>3</sup>/h do 56 000 m<sup>3</sup>/h
- 22 projekta, na oko 800 000 ha
- 1 projekt 180 m<sup>3</sup>/s, dužine 145 km
- 2 projekta, za gradove oko 300 000 stanovnika
- 4 projekta, kapaciteta 700 l/sek
- 20 projekata kapaciteta 4,6 m<sup>3</sup>/h do 50 000 m<sup>3</sup>/h
- 10 projekata odvodnje rudnika, jama i zaštita od infiltracije
- 55 projekata, akumulacija od 6 000 hm<sup>3</sup> ukupno
- 12 projekata, dužine oko 80 km
- 10 projekata, profila 2,0–14,0 m ukupno dužine oko 100 km
- 38 projekata, inst. snage 2 135 MW
- 7 projekata, instalirane snage 1 334 MW
- 6 projekata instalirane snage 267 MW
- 25 projekata više od 7 700 MW od čega 10 projekata izvedeno sa 1 456 MW
- 6 projekata 2 530 MW izgrađeno 664 MW
- 3 projekta ukupne snage 184 MW
- 5 projekata, snage 40,9 MW
- 11 projekata, snage: 461 MW<sub>e</sub>  
1 389 MW<sub>t</sub>
- 21 projekt, 135 MW ukupne snage
- 10 projekata
- 29 projekata
- 36 projekata, 8 646 MW ukupne snage
- 24 projekta
- 7 projekata informatičkih sustava
- 19 projekata programskih sustava
- 5 projekata upravljanje informacijsko-tehnoloških sustava
- 11 projekata informacijskih sustava za podršku vođenju izgradnje
- 10 projekata automatizacije postrojenja
- 20 projekata
- 15 projekata, 6 izvedenih
- 27 projekata razne namjene



Slika 2.

Na slici 2. prikazani su elektroenergetski objekti na kojima je Elektroprojekt u potpunosti ili djelomično sudjelovao na projektiranju i nadzirao realizaciju. Od sada izvedenih objekata u području proizvodnje električne energije u Elektroprivredi SFRJ (oko 19 800 MW inst. snage) »Elektroprojekt« je svojim projektnim uslugama sudjelovao sa 4 094 MW, odnosno sa oko 21% proizvodnog sistema. U elektroenergetskom sistemu SRH »Elektroprojekt« je gotovo u potpunosti razradio projekte hidroelektrana, te u potpunosti razradio ili sudjelovao u projektiranju termoelektrana.

Na sl. 3. prikazani su objekti vodoprivrede, opskrbe vodom, višenamjenskog korištenja, regulacije vodnih tokova, navodnjavanja i odvodnjavanja, hidrotehnički objekti drugih namjena. Broj izvedenih objekata pokazuje o znatnom angažmanu »Elektroprojekta« u području vodoprivrede.

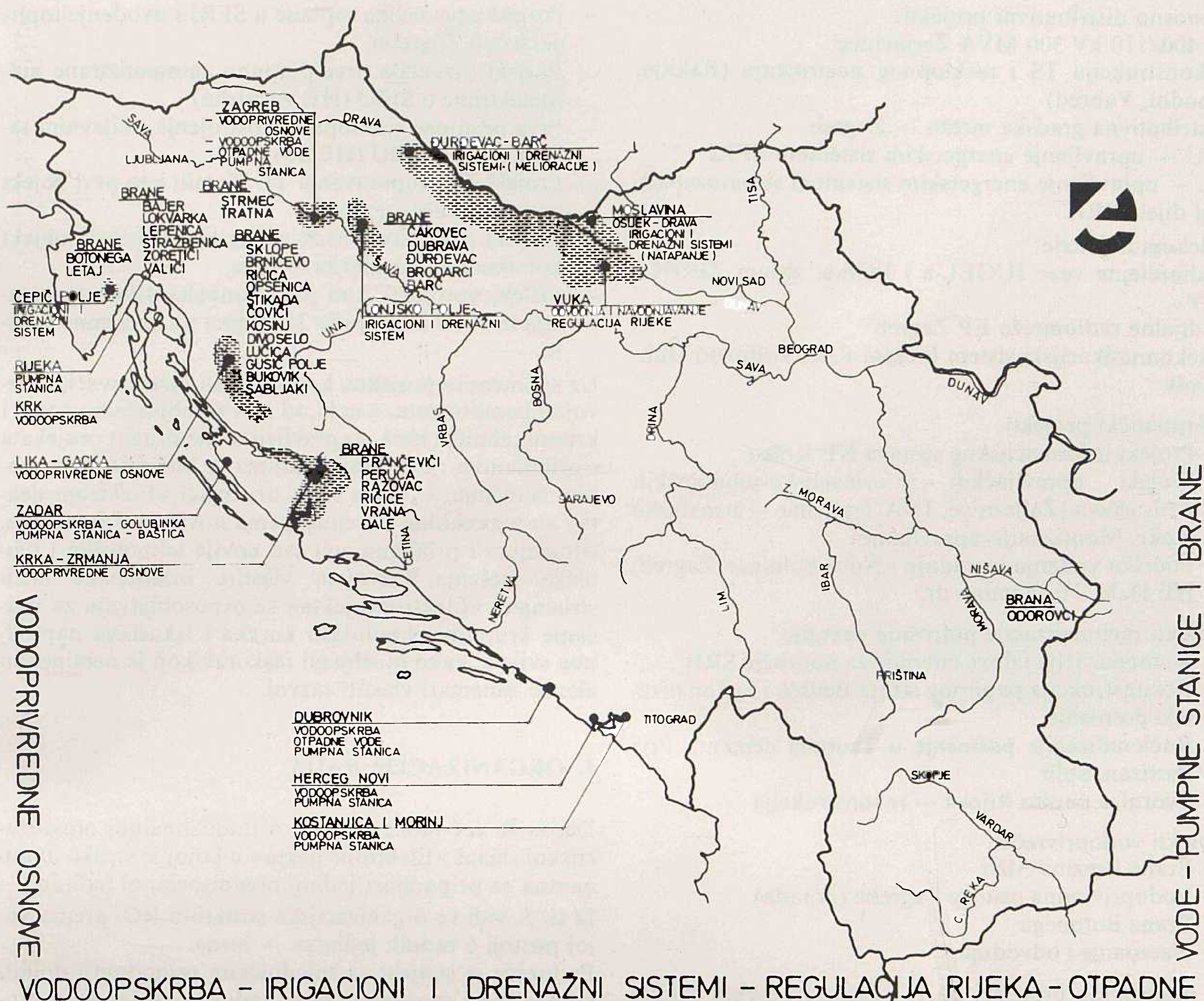
Na karti svijeta (sl. 4) prikazane su zemlje u kojima je u proteklih 35 godina »Elektroprojekt« pružao konzultantske usluge.

Uz sudjelovanje u projektiranju i izgradnji nekoliko hidroenergetskih i termoenergetskih objekata glavna aktivnost se u inozemstvu odvijala na projektiranju i konzultantskim uslugama za višenamjensko korištenje

voda i uređivanju zemljišta. Ukupno je u svim naznačenim zemljama obrađivano više od 70 projekata.

Aktivnost na izvozu usluga iz djelatnosti »Elektroprojekta« odvijala se u 20 zemalja na svih 5 kontinenata. U nekim slučajevima ta je aktivnost ostvarena posredstvom Poslovne zajednice INGRE iz Zagreba. Najveći naš angažman bio je u nerazvijenim zemljama i zemljama u razvoju Azije i Afrike, ponajviše u Iranu i Egiptu. Treba istaknuti i našu prisutnost u razradi tehničke dokumentacije na jednom projektu u SAD, čija je realizacija prošlih mjeseci završena puštanjem u pogon hidroelektrane (New Martinsville, 2 × 18,8 MW).

Kao što organizacije za pružanje intelektualnih usluga iz SRH zaostaju u izvozu inženjerskih usluga (oko 10% u odnosu na izvoz inženjerskih usluga iz SFRJ unatoč izvozu roba i usluga iz SRH s udjelom 24%), tako ni »Elektroprojekt« nije zadovoljan današnjim angažiranjem kapaciteta na poslovima u inozemstvu. Program rada i raspoloživi kadar prema broju i stručnosti pruža znatno veće mogućnosti orijentaciji na strana tržišta. Intenzivnijom suradnjom s Poslovnom zajednicom INGRA, velikim proizvodnim, građevinskim i vanjskotrgovinskim organizacijama planira se nadoknaditi taj zaostatak, iako se teško probiti s izvozom usluga i opreme



Slika 3.

na vanjsko tržište s obzirom na nedostatak originalnih tehnologija u domaćoj industriji.

### 3. AKTUALNI PROJEKTI

»Elektroprojekt« aktualno razrađuje dokumentaciju niza velikih objekata u različitim fazama obrade od osnovnih do izvedbenih projekata, obavlja funkciju generalnog projektanta ili daje tipične konzultantske usluge, a među važnijima su:

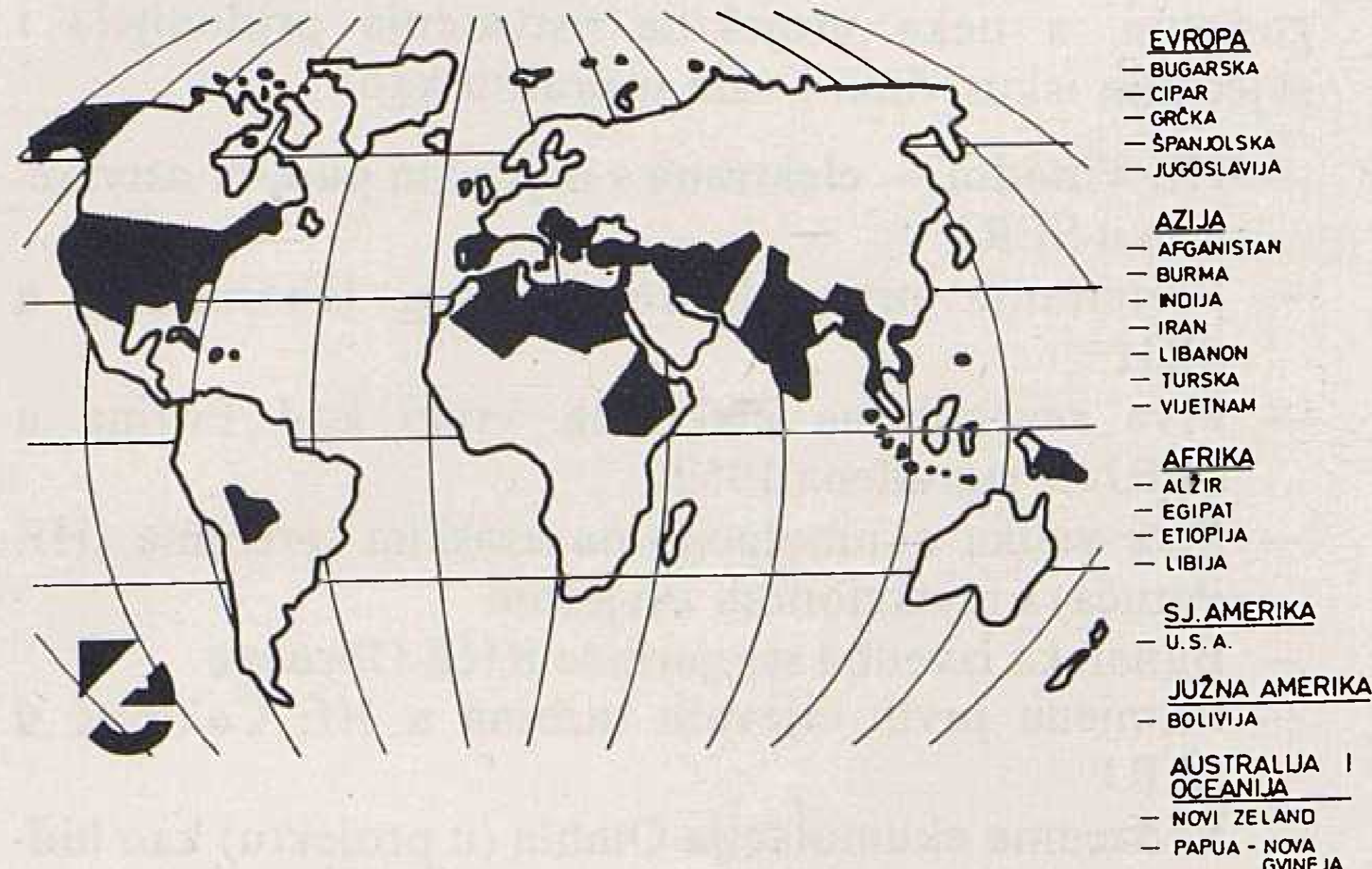
**Termoelektrane:** Plomin 2 — 210 MW, Termoelektrana-toplana Tuzla — 300 MW, TE—TO Zagreb 200 MW, EL—TO Zagreb 64 MW, TE Norfolk 4×64 MW, Al Shemal Irak (dio)

**Nuklearne elektrane:** NE Krško — modifikacije sistema, projekti remonta, Q/A  
NE Prevlaka (preprojekt — završna faza)

**Hidroelektrane:** HE Dubrava 75 MW, HE Đale 41 MW, HE Đurđevac 145 MW, Donji Miholjac 72 MW, Barč 72 MW, HE Osijek 52 MW, Sistem Valiči—Zoretići 18 MW, HE Podsused 48 MW, Drenje 39 MW, Strelečko 22 MW, zatim akumulacija Kosinj 400 GWh, te HE Ombla 50 MW kod Dubrovnika,

kompleksno rješenje sliva Kupe 24 objekta, te sistem malih hidroelektrana

Ekološki projekti:  
Ekološki problemi i zaštita zaobalja svih hidroelektrana za koje se izrađuje projekt  
Odsumporavanje dimnih plinova u TE Plomin  
Palionica smeća u gradu Zagrebu (prethodni projekti)  
Odlaganje radioaktivnih otpadaka



Slika 4. »Elektroprojekt« u svijetu

Prenosno distributivni projekti:

TS 400/110 kV 300 MVA Žerjavinec

Rekonstrukcija TS i rasklopnog postrojenja (Rakitje, Vinodol, Vuhred)

Distributivna gradska mreža — Zagreb

TSU — upravljanje energetskeg sistemom SFRJ

KL — upravljanje energetskeg sistemom sjeverozapadnog dijela SRH

Telekomunikacije:

Radiorelejne veze JUGEL-a i EGS-a, sistem ZEOH i PTT

Radijalne radiomreže EP Zagreb

Telekomunikacijski sistem Elektra Križ, Vodovod Dubrovnik

Informatički projekti:

— Projekt informacijskog sustava NE Krško

— Projekt upravljačkih informacijsko-tehnoloških podsustava (Željeznice, INA Trgovina — benzinske crpke, Montkemija-upravljanje)

— Podrška vođenju izgradnje »Nova bolnica« Zagreb, HE Đale, TE Plomin i dr.

Objekti racionalizacije potrošnje energije:

— Kompenzacija jalove energije za područje SRH

— Rekonstrukcija papirnog stroja Belišće i racionalizacija potrošnje

— Racionalizacija potrošnje u Tvornici cementa Prvi Partizan, Split

— Tvornica papira Rijeka — rekonstrukcija

Objekti vodoprivrede:

— Brana Brezina Alžir

— Vodoprivredna osnova Zagreba (dorada)

— Brana Botonega

— Natapanje i odvodnja

Iz prikazanog proizlazi da je »Elektroprojekt« svojim angažmanom i danas pretežno okrenut Elektroprivredi i Vodoprivredi uz informatičku podršku i racionalizaciju putem kojih se ostvaruje i znatnija prisutnost u industriji.

Svoj ukupni prihod s dva spomenuta naslova ostvaruje Elektroprojekt sa oko 80%, a preostalih 20% otpada na ostale korisnike i izvoz (10% + 10%).

Završavajući izlaganje o djelatnosti »Elektroprojekta« u proteklom razdoblju, kao i sadašnjem angažmanu, ne bi slika bila potpuna ako bismo zaboravili na objekte i tehnička rješenja koji su u mnogočemu bili privenci u Jugoslaviji, a neka projektna ostvarenja pridonijela i svjetskim iskustvima i ušla u praksu kao:

— HE Vinodol — elektrana s najvećim padom ostvarenim u SFRJ

— Formiranje prvog hidrotehničkog laboratorija u SRH

— Prva reverzibilna elektrana Vrelo kod Fužina u SFRJ — izgrađena 1950.

— Prva velika akumulacija na kraškim terenima (HE Peruča) s injekcionom zavjesom

— Bunarska izvedba strojnice RHE Obrovac

— Primjena prvih cijevnih turbina u HE Čakovec u SFRJ

— Podzemna akumulacija Ombla (u projektu) kao hidrogeološki i tehnički izazov

— Projekt prve velike toplane u SFRJ i uvođenje toplinarstva u Zagrebu

— Projekt i izvedba prve potpuno automatizirane hidroelektrane u SFRJ (HE Varaždin)

— Prva primjena rasklopnog postrojenja s cijevnim sibirnicama u SFRJ (HE Senj)

— Projekt odsumporavanja TE Plomin kao prvi objekt te vrste u našoj zemlji

— Projekt palionice smeća u Zagrebu kao prvi objekt komunalnog standarda te vrste

— »Elektroprojekt« kao prva konzultantska organizacija iz SFRJ izlazi prije 35 godina na inozemno tržište.

Uz spomenute projekte, koji su imali i istraživačko-razvojnu komponentu, a neki od njih su objektivno nosili i krupni tehnički rizik, napravljen je niz drugih projekata s originalnim rješenjima o kojima će biti riječi u posebnim člancima. U svom radu stručnjaci »Elektroprojekta« su neprekidno okrenuti prema novim dostignućima, istražujući i primjenjujući sve novija tehnološka i tehnička rješenja. Razvojem vlastite inženjerske misli stručnjaci »Elektroprojekta« se osposobljavaju za praćenje krupnih tehnoloških koraka i iskustava naprednog svijeta, kako bi izbjegli raskorak koji je neminovan ako se zanemari vlastiti razvoj.

#### 4. ORGANIZACIJA RADA

Danas se već može govoriti o tradicionalnoj organizacijskoj shemi »Elektroprojekta« u kojoj je struka dominantna za pripadnost jednoj organizacionoj jedinici.

Iz sl. 5. vidi se organizacijska struktura RO, prema kojoj postoji 6 radnih jedinica — biroa.

Poduzeće je subjekt sa zajedničkim prihodom i dohotkom, a birovi su samo dijelovi radne organizacije u procesu upravljanja i rada.

Evo i kratkog pregleda poslova koji se rade po pojedinim biroima:

Hidrobiro: hidroelektrane, brane, tuneli, vodoprivredne osnove i objekti irigacije, ekologija hidroelektrana

Elektrobiro: elektrane (HE + TE), trafostanice, upravljanje el, procesima, telekomunikacije, kompenzacije energije

Strojarski biro: termoelektrane, toplinarstvo, nuklearne elektrane, upravljanje i regulacije, industrijski objekti, ekološki objekti tvorničkih i industrijskim procesa, racionalizacija potrošnje energije

Arhitektonsko-konstruktivno-geodetski biro: arhitektura i konstrukcija elektrana i trafostanica, javni objekti, usluge geodezije

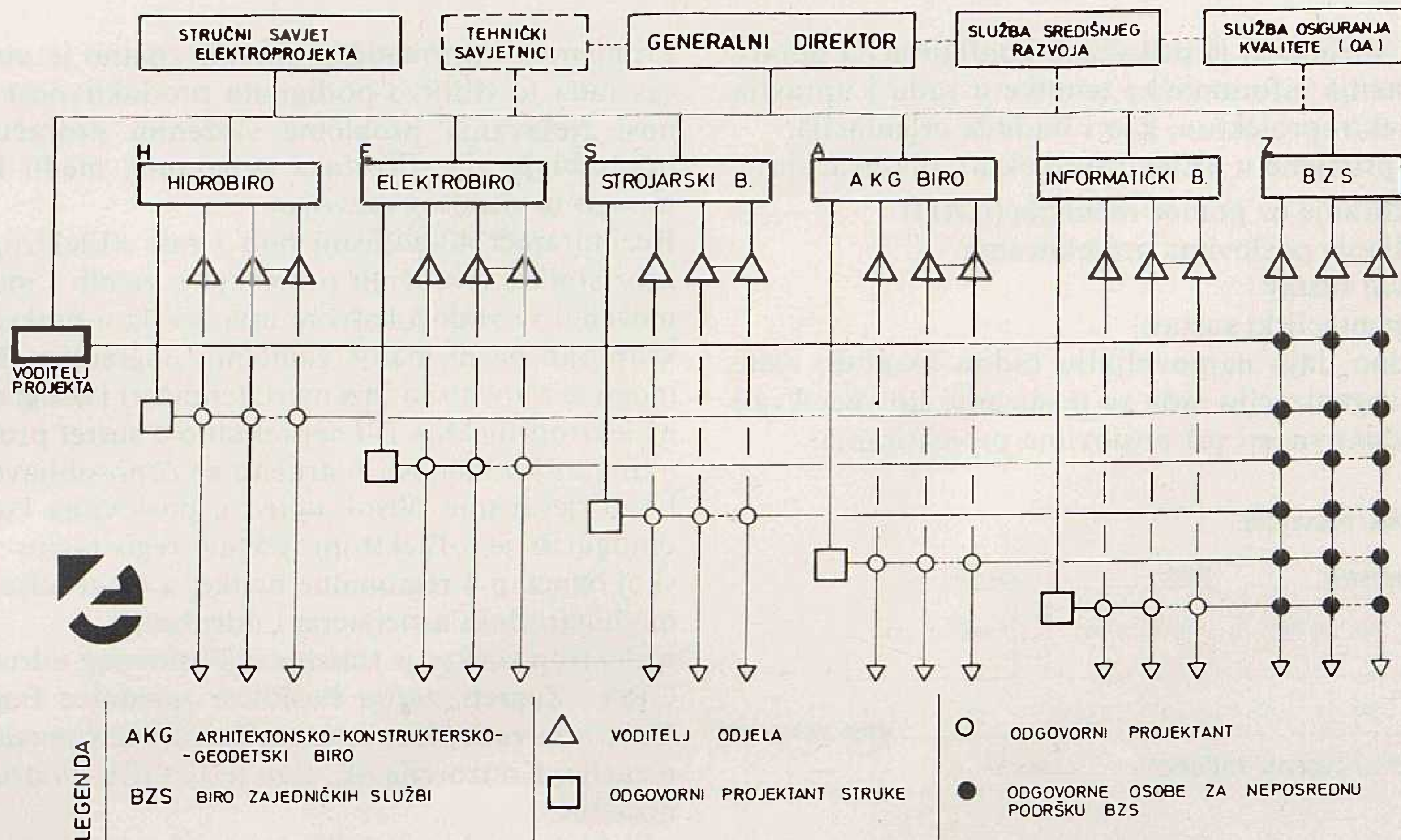
Informatički biro: projekti inforamtičkih sustava, podrška upravljanja, podrška upravljanja projektima RO, dokumentacija

Biroo zajedničkih službi: opći, pravni, kadrovski, financije i knjigovodstveno-računovodstveni, komercijalni poslovi, izvoz, servisi

Služba Q/A, kontrola osiguranja kvalitete

Služba razvoja, razvoj na razini radne organizacije

Stručni savjet na nivou RO djeluje kao element strukture poduzeća i predstavlja organ unutarnje kontrole.



Slika 5. Opća organizacijska shema rada u »Elektroprojektu«

U pravilu, nosilac odgovornosti izvršenja ugovora mora biti jedan biro, i to onaj gdje je stručni rad najviše zastupljen u nekom projektu, primjerice termoelektrane se vode u Strojarskom birou ili hidroelektrane u Hidrobirou. Ostali biroi sudjeluju sa svojom strukom u potrebnom udjelu.

Izrada dokumentacije ostvaruje se putem formiranja timova na principu matrične organizacije prikazane na sl. 5. Voditelj projekta odgovara za povjereni zadatak i ima ovlaštenje od RO, a imenuje se iz biroa nosioca projekta, a ostali biroi daju odgovorne projektante.

## 5. POSLOVNI PROSTOR I SREDSTVA RADA

### Poslovni prostor

Granicu rasta i razvoja RO kao limitirajući faktor određivao je gotovo uvijek poslovni prostor. Od svojih početaka, kada je u zgradi Elektre u Gundulićevoj ulici bilo smješteno poduzeće, pa do današnjih dana »Elektroprojekt« praktično nikada nije, osim kratkog vremena u Ulici proleterskih brigada 37, bio sa svim dijelovima RO na jednom mjestu. Tako je i danas, jer smo smješteni na četiri lokacije u Zagrebu i tome s brojčano značajnom grupom koja trajno radi u Nuklearnoj elektrani Krško. U zadnje vrijeme uspjeli smo koncentrirati kompletne biroe u Ulici proleterskih brigada 37, Proleterskih brigada 72, zatim u tornju »Cibone« i Radničkom sveučilištu »Moše Pijade«. Tako smo se svim dijelovima približili matičnoj zgradi u Ulici proleterskih brigada 37.

Budućnost Elektroprojekta gledamo u izgradnji vlastitog objekta koji planiramo izgraditi u Vrbniku zajedno sa Poslovnom zajednicom INGRA. U postupku je priprema terena i oslobađanje prostora od dosadašnjih kuća te izrada dokumentacije. Predviđeno je da se ovaj objekt za sve dijelove poduzeća i za budući razvoj izgradi do 1990/1992. god.

### Sredstva rada

Uz klasična sredstva rada, kakva su i u ostalim projektantskim organizacijama, »Elektroprojekt« primjenjuje u procesu rada informatičku opremu.

Informatička djelatnost u Elektroprojektu nema dugu tradiciju, ali se na temeljima velikog projektantskog iskustva kadrova »Elektroprojekta« razvila snažna informatička grupa koja danas ima više od 50 ljudi.

Osnovna djelatnost te informatičke grupe su projektantske, konzultantske usluge i inženjering pri razvoju i pogonu informacijskih sustava, za treće osobe, a za potrebe poduzeća pruža snažnu podršku u procesu rada i rukovođenja u poduzeću.



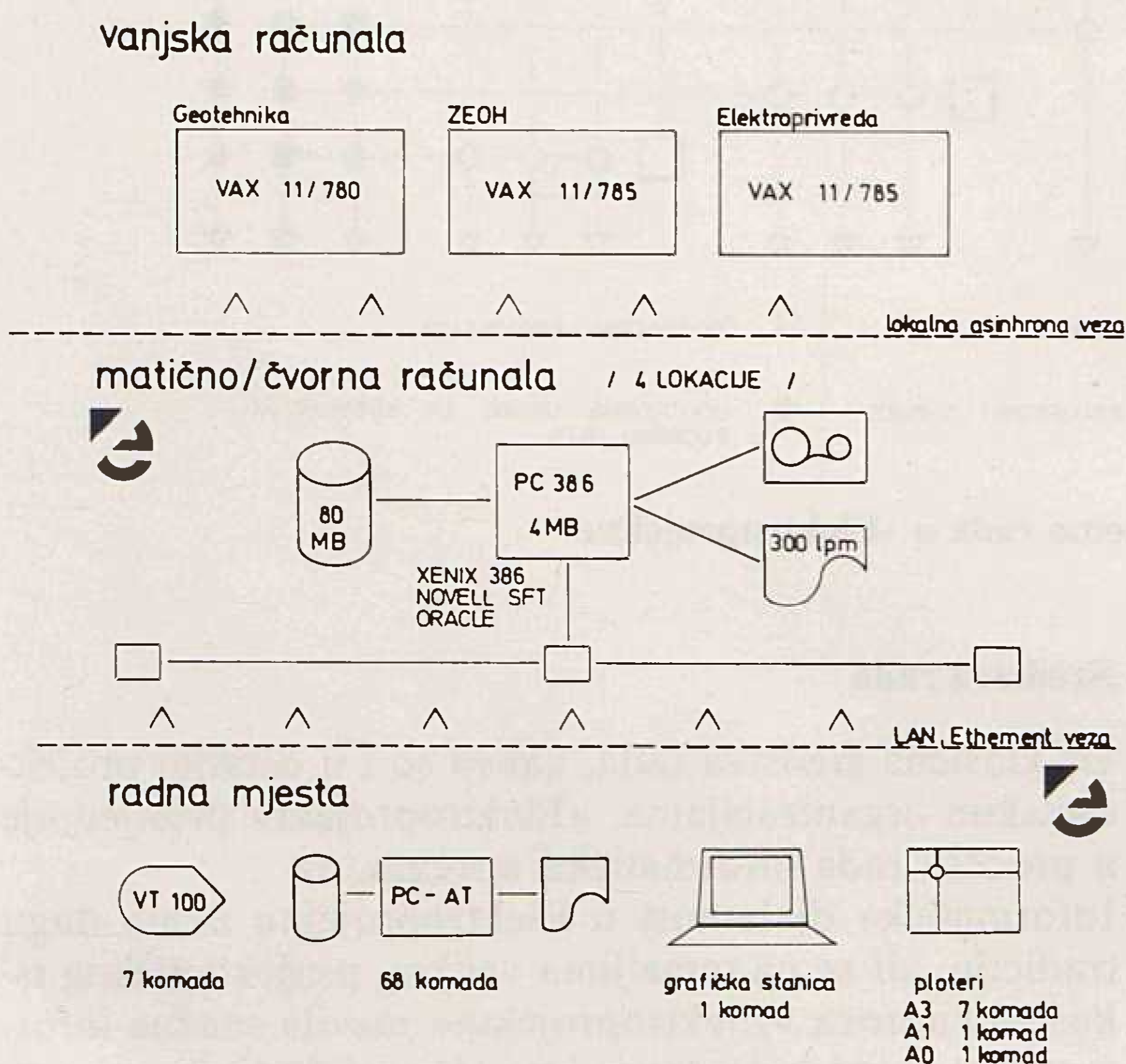
Slika 6. Toranj »Cibona«

Slikom 7. shematski je prikazana konfiguracija upotrebe i korištenja informatičke tehnike u radu i upravljanju u »Elektroprojektu«, kao i buduća orijentacija.

Područja primjene u »Elektroprojektu« obuhvaćaju:

- projektiranje uz pomoć računala (CAD)
- upravljanje poslovima projektiranja
- poslovni sustav
- dokumentacijski sustav,

koji zajedno daju najpovoljniju radnu okolinu, alate, metode i organizaciju rada za postizanje što veće kvalitete i produktivnosti pri poslovima projektiranja.



Slika 7. Shema konfiguracije informatičke opreme u »Elektroprojektu«

Informatička oprema za podršku na tim poslovima temelji se na izravnom korištenju terminala i računala na radnom mjestu, što uključuje:

- osobna računala (danas oko 70 komada)
- grafičku opremu (grafičke stanice, ploteri)
- komunikacijsku opremu,

a u radu se intenzivno koriste i vanjska računala (VAX, IBM) za specifične informatičke potrebe.

Primjenom informatičke opreme znatno je ubrzan proces rada te vidljivo podignuta produktivnost i mogućnost rješavanja problema složenim proračunima. U upotrebi je više desetaka programa, među kojima je mnogo iz vlastitog razvoja.

Rezimirajući 40-godišnji hod i rast »Elektroprojekta« kroz stotine izvedenih projekata u zemlji i inozemstvu, možemo sa zadovoljstvom utvrditi da u praksi nije bilo krupnijih pa ni manje zametnih pogrešaka. To je bilo moguće zato što su inženjeri, tehničari i drugi stručnjaci »Elektroprojekta« išli neprekidno u susret problemima, okrenuti budućnosti i stručno se osposobljavali za njihovo rješavanje. Visok ugled u poslovima konzaltinga omogućio je »Elektroprojektu« registraciju u Sovjetskoj banci, u 4 regionalne banke, u 4 agencije UNO i 8 međunarodnih asocijacija i udruženja.

»Elektroprojekt« je suosnivač Poslovnog udruženja INGRA – Zagreb, zatim Poslovne zajednice Energopool, Centra za vode, Koprojekta, Zajednice konzalting-organizacija, Konzorcija 4E, član je JUGEL-a i drugih organizacija.

»Elektroprojekt« je učlanjen u nizu domaćih stručnih društava, kao građevinskom, elektrotehničkom, strojarском, geodetskom, visoke brane, Cigre, »Nikola Tesla« i dr.

Za svoj rad u zemlji i inozemstvu, za razvoj i njegovanje samoupravnih odnosa u RO i doprinosa razvoju društva u cjelini, »Elektroprojekt« je primio više od 100 priznanja, plaketa i odlikovanja, a među najvažnijima je »Orden rada« dobiven od Predsjednika SFRJ.

Zbog naročitog doprinosa u izvršenju obaveza i u RO i društvu pojedinačno je Predsjednik Republike ili Predsjedništvo SFRJ odlikovalo više od stotinu suradnika »Elektroprojekta«.

Jedno od najvećih priznanja u povodu obilježavanja 40-godišnjice rada »Elektroprojekta« pružila je našem kolektivu Skupština grada Zagreba, prihvaćajući se pokroviteljstva proslave naše obljetnice.

»Elektroprojekt« će nastaviti s radom i rastom što su ga započele prethodne generacije, prilagođavajući svoj razvoj novim usmjerenjima i izazovima, koje naše sadašnje društvo može povezati s budućmi naraštajima i njihovim potrebama.

Slavko Tomić, dipl. inž.,  
generalni direktor »Elektroprojekta« Zagreb

**BORIVOJ BARANOVIĆ**

(30. 10. 1916 – 5. 2. 1989)



Smrcu dipl. ing. Borivoja Baranovića nestao je iz naše sredine čovjek koji je ostavio dubok trag u početnom razvoju Elektroprivrede Jugoslavije, posebno Elektroprivrede Hrvatske, a naročito Instituta za elektroprivredu u Zagrebu, u čijem je osnivanju, materijalnom usponu, stručnom i znanstvenom razvoju i radu imao ključnu ulogu.

Rođen je u vrijeme prvoga svjetskog rata u Zagrebu u obitelji umjetnika kreativaca. U međuratnom razdoblju bila je to nadasve nesigurna osnovica za opstanak, pogotovu u nesređenoj privrednoj i općoj situaciji, karakterističnoj za međuratno razdoblje. Možda je to bio jedan od poriva mladomu Borivoju da se opredijeli za životni poziv koji je izgledao kao čvrst i neovisni životni oslonac. Doista, njegova obitelj nakon okupacije doživljava posljedice totalitarnog terora: otac biva zatvoren, a time porodica gubi i svoje materijalno uporište. On je, međutim, već pri kraju studija, brzo diplomira i zapošljava se u tehničkom uredu Siemensa u Zagrebu, gdje radi na sitnim projektima kakvi su se tražili u tim uvjetima. Prestankom rata nestaju mnoge more. Siemens postaje Elektroindustrija Hrvatske (ELIH), a mladi stručnjak ima priliku da se primi složenijih zahvata vezanih za oživljavanje u ratu razorene industrije.

No tada praktički nepostojeća, danas sama po sebi razumljiva elektrificiranost zemlje, traži stvaranje organizacija koje će se za to brinuti. Već 1946. godine osniva se Glavna elektroprivredna uprava za Jugoslaviju (UPEL). Uprava se smješta u Zagrebu, koji je tada raspolagao s najviše stručnjaka. Od postojećih organizacija traži se da izdvoje stručnjake, pa ELIH izdvaja najmlađeg — Baranovića.

Tu on proživljava sva lutanja u traženju organizacijskih oblika koja su uzrokovana posvemašnjim nedostatkom iskustva. Ni za koga to nisu bili najpovoljniji uvjeti rada, a najmanje za mladog inženjera. No mala jezgra iskusnih pogonskih stručnjaka već je imala svoje vizije razvoja i uz nju se brzo učilo, naročito ako je — kao u slučaju Baranovića — mladi čovjek sam kritički analizirao razne, često i oprečne zamisli i imao prilike vidjeti tada gotovo ne-taknute potencijale Bosne i doslovce »muzejsku vrijednost« elektroenergetskih postrojenja u Dalmaciji, građenih uglavnom prije no što se on rodio, i samo uz ograničeno sagledavanje potreba pojedinih grana industrija. Očito, posla je bilo napretek.

Mnogi su sigurno kao i on uvidjeli da obilje tendencija i ideja o izboru puta razvoja nije moguće efikasno objediniti bez trijeznog i racionalnog studijskog sukobljavanja mišljenja radi nalaženja najboljeg rješenja.

Tu je trebalo zanosa i oduševljenja, a Baranović ga je imao. Našao je tada sklone utjecajne ljude i formirao grupu najiskusnijih stručnjaka. Tako je proglašen Institut u sklopu generalne direkcije.

Kao vodeći čovjek te grupe znao je i izvan elektroprivrede pronaći odlučujuće i znanstvenom razvoju sklone ljude u ključnim resorima Zagreba i Republike, uz čiju je pomoć 1952. godine Institut za elektroprivredu i formalno postao samostalna znanstvenoistraživačka ustanova.

Na samom početku djelovanja Instituta ing. Baranović se je zauzeo za realizaciju projekta Ujedinjenih naroda pod imenom »Jugelexport«. U Evropi je već vladala glad za energijom, dok nama još ni izdaleka nisu trebali svi hidropotencijali. Ujedinjeni narodi su dali ideju da se za izvoz prikladni potencijali Dinarida, koji se naglo obrušavaju prema Jadranu, iskoriste odmah, a dali su i sredstva za studije i projekte. Izgradnju su trebali financirati korisnici, a otplatiti se trebala energijom do trenutka kada nama samima ona bude potrebna. Baranović je kao član grupe eksperata smjelo branio naše buduće interese, upozoravajući na poznata mu i ovdje prije spomenuta iskustva i izborio da se tehnička dokumentacija, za ovaj projekt izradi u našoj zemlji. Ovaj projekt nije realiziran jer mi tek sada počinjemo shvaćati značenje ovakvih ulaganja kod nas. No ipak smo dobili solidno razrađeni idejni projekt koji je poslužio kao polazište svim kasnijim projektima hidroelektrana tog područja.

Nakon toga angažirao se na izgradnji naše prve javne toplane u Zagrebu. Uspjeh u tom poslu odveo ga je na gradnju ovog objekta, a zatim je kao već višestruko afirmirani ekspert na zahtjev otišao u eksportnu zajednicu »Ingru«. No tu se premalo radilo na razvoju za vizionara njegova formata, pa se vraća u Toplanu.

U Institutu se čitavo vrijeme osjećala njegova odsutnost. Nakon takvog osobnog razvoja nije više bilo dvojbe da je ing. Baranović upravo takva ugledna osoba, kakva se tražila za radno mjesto direktora pri osnivanju Instituta. Godine 1966. kada je Institut trebao direktora, više nije bilo dvojbe.

S novom energijom nastavio je raditi na daljnjoj afirmaciji Instituta na jugoslavenskom planu, na proširenju djelatnosti i na njegovoj znanstvenoj neovisnosti. Suradnja i razmjena kadra s Elektrotehničkim fakultetom u Zagrebu, smjelo traženje novih talentiranih kadrova, poticanje najbližih suradnika da razvijaju svoje vizije napretka karakteristični su za njegov rad u toku razdoblja. No vremena su se izmijenila. Od direktora se tražilo još više upravno-administrativnih odgovornosti no u vrijeme njegove prvotne aktivnosti u Institutu. U nemogućnosti da se posveti svojim vizijama razvoja Instituta otišao je u Elektroprivredu Zagreb, gdje se mogao baviti poslom kakav ga

je najviše zanimao. Zadnji takav rad, prije odlaska u mirovinu bilo je pripremanje osnova za odluku u gradnji NE Prevlaka.

Kada se razmotri 41 godina njegova rada, uočava se da je relativno malo bio u Institutu. Ukupno jedanaest godina. Ali kakvih!

Osim već navedenih radova u kojima je osobno sudjelovao, brinuo se neprestano za obnovu i usavršavanje kadrova. U vrijeme kad se u nas nije znalo za postdiplomske studije slao je mlade inženjere na višemjesečna usavršavanja u inozemstvo.

Brinuo se za publiciranje rada Instituta, no nije dozvoljavao da iz Instituta izađe i jedan rad koji nije prošao individualnu i kolektivnu recenziju. U nerijetkim slučajevima neusuglašavanja stavova eksperata iznio bi svoj sud, obrazložio ga i preuzeo osobnu odgovornost za takav službeni stav Instituta.

Radni uvjeti u Institutu također su mu uvijek bili preokupacija. U teškim uvjetima pribavljanja sredstava osigurao je izgradnju današnje zgrade Instituta uz povoljne uvjete.

Tako Institut ne samo suštinski nego i fizički stoji na temeljima koje je on podigao. Time je stvorena trajna mogućnost i za dalji razvoj i za dalja građenja kad se pokažu potrebe i mogućnosti.

Fedor Šprung



# VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

## NOVE TRAFOSTANICE 110 kV U ZAGREBU I OSIJEKU

Nova trafostanica 110/20 kV u Trpimirovoj ulici puštena je u rad 16. 11. 88. Ova trafostanica locirana je u gradskom središtu Zagreba, na domak novom hotelu koji je u gradnji. Zato se morala graditi po posebnim zahtjevima s obzirom na zaštitu od buke. Obložena je posebnim oblogama koje umanjuju neugodne efekte zujanja transformatora u radu.

Stanicu su zajednički gradili »Elektroprenos« i »Elektra«. Projekt je izrađen u »Radi Končar« koji je proizveo i montirao opremu.

Postrojenje 110 kV izgrađeno je u oklopnoj izvedbi, (SF 6). Gradnja stanice trajala je tri godine.

Stanica je spojena 110 kV kabelima s postrojenjima u TE -- TO i EL -- TO i na toj mreži ima dvostruko napajanje. Kabele je isporučila francuska firma SILEC.

Izgradnja trafostanice u Trpimirovoj stajala je oko 2,5 milijarde dinara. Dio od 1,15 milijardi uložio je »Elektroprenos«, a 1,40 milijardi dinara zagrebačka »Elektra«.

## TS 110/10 kV Osijek

U čast Dana Republike prošle godine svečano je predana na upotrebu novosagrađena TS 110/10 kV Osijek 3. To je prva izgrađena TS u Osijeku naponskog nivoa 110/10 kV. Da bi se ostvarila veza između trafostanice 110/35/10 kV Osijek 1 i TS 110/35/10 kV Osijek 2, pušten je pod napon novosagrađeni 110 kV dalekovod i dio 110 kV postrojenja u trafostanici 110/10 kV Osijek 3. Ovaj dio postrojenja pušten je pod napon 22. studenog prošle godine.

Vrijednost izvršenih radova na dalekovodu je oko 870 milijuna dinara. Sve građevne i montažne radove na priključnom dalekovodu izvele su ekipe »Dalekovoda« iz Zagreba. Izgradnjom ovog dalekovoda ispunjen je uvjet da se dobije i stalna dozvola za upotrebu cijele trafostanice 110/10 kV Osijek 3, čime se rješava dosta teško stanje u opskrbi potrošača kvalitetno električnom energijom.

Glavni dio sredstva za izgradnju ovog važnog objekta za osječki konzum osigurala je OOUR »Elektrodistribucija« Osijek.

I. R.

## SPORAZUM O GRADNJI AKUMULACIJE ČAPRAZLIJA

Sredinom studenog 1988. godine, nakon 14-godišnjeg čekanja, napokon je potpisan samoupravni sporazum SIZ-ova Vodoprivreda Bosne i Hercegovine, skupština općina Livno i Bosansko Grahovo sa Zajednicom elektroprivrednih organizacija SR Hrvatske. Potpisani sporazum odnosi se za gradnju retencije Čaprazlija koja će biti sastavni dio akumulacije Buško Blato hidroelektrane Orlovac.

Gradnjom tog sistema povećat će se proizvodnja u HE Orlovac za 135 milijuna kWh električne energije. Sistem će biti izgrađen u roku 30 mjeseci. Predviđen rok završetka izgradnje jest sredina 1992. godine.

Zajednica elektroprivrednih organizacija izvršila je dobar dio poslova za realizaciju početka gradnje tog objekta. Za-

vršen je idejni projekt, tehnička dokumentacija za građevnu dozvolu, ugovorena je studija utjecaja na okolinu, završena su razna istraživanja za izradu glavnog projekta. Početak pripreme gradnje akumulacije Čaprazlija bit će tijekom 1989. godine.

Elektroprivreda SR Hrvatske treba osigurati sredstva u gradnju vodoprivrednih objekata na području općina Livno i Bosansko Grahovo kako je predviđeno potpisanim samoupravnim sporazumom.

I. R.

## PLINSKO POLJE STARI GRADAC U POGONU

Novo plinsko polje Stari Gradac (Podravina) 26. studenog 1988. pušteno je u pokusni rad. Godišnje će proizvoditi 84 milijuna m<sup>3</sup> plina i 55 000 tona kondenzata — vrijedne sirovine za proizvodnju parafina. Ovo je treće u nizu dubokih plinskih i plinsko-kondenzatnih polja poslije — Molve i Kalinovca — i obilježava prvu fazu realizacije projekta »Podravina«. To je najveća »Naftaplinova« investicija srednjoročja koja bi trebala biti završena do kraja 1990. godine.

Puštanju u proizvodnju tog značajnog energetskeg objekta prisustvovali su članovi kolektiva »INA — Naftaplin«, te predstavnici društveno-političkih organizacija, među ostalim Ivo Latin, predsjednik Predsjedništva SR Hrvatske, i general-pukovnik Martin Špegelj, komandant Zagrebačke armijske oblasti.

Puštajući u rad ovaj energetske objekt, Ivo Latin je čestitao radnicima INA — Naftaplina« na velikom radnom uspjehu. Posebno je naglašena korisna suradnja s energetičarima susjedne NR Mađarske. Naime, riječ je o zajedničkom korištenju rezervi prirodnog plina koje se prostiru u podzemlju u graničnom pojasu između dvije zemlje. Međudržavnim ugovorom predviđeno je da rezerve dijele u omjeru 57 posto u korist Jugoslavije i 43 posto u korist NE Mađarske. U zajedničkoj suradnji i razmjeni iskustva i znanja geoloških i geofizičkih podataka u pograničnom području otkrivene su brojna naftna i plinska polja, među ostalim i Legrad, Gola, Ferdinandovac i Kelebija.

Zajednička istraživanja na tim lokacijama obavljaju se u prvom redu na lokaciji Stari Gradac — Barca Nyagat.

Kad se potkraj 1990. godine završi cjelokupan projekt »Podravina« iz ovog će se područja već početkom 1991. godine godišnje dobivati dvije milijarde kubičnih metara plina, 340 000 tona kondenzata i 43 000 tona tekućih plinova i 36 000 tona etilena. Ukupna ulaganja u ostvarenje projekta »Podravina« uložiti će se više od 100 milijardi dinara. Devizni dio ulaganja financira se kreditom Međunarodne banke za obnovu i razvoj.

Treba naglasiti da je INA-Naftaplin u svim etapama istraživanja i proizvodnje veliku pažnju obratio očuvanju životne sredine na navedenom području Podravine.

I. R.

## 20 GODINA RADA »ELEKTROPRENOSA« OPATIJA

Potkraj studenog 1988. godine članovi OOUR »Elektroprenosa« Opatija proslavili su 20 godišnjicu rada i razvoja.

Proslava je obilježena sjednicom Zbora radnih ljudi u kolektivu, a prisustvovali su joj i predstavnici društveno-političkih i elektroprivrednih organizacija. Prisutne je pozdravio prigodnim govorom Eugen Urh, predsjednik Sindikata. Direktor »Elektroprenosa« dipl. ing. Zdeslav Knez, govorio je o radu, razvoju, i uspjesima izgradnje i održavanju prijenosne mreže na području Kvarnera i Istre.

Razvojni put prijenosa električne energije na području Kvarnera i Istre doživljavao je i mnogobrojne promjene. U prvim poslijeratnim godinama bila je pod rukovodstvom vojne uprave u Opatiji sve do nacionalizacije 1948. godine. U sklopu novoosnovanog poduzeća »Elektrane« Rijeka, čiji je zadatak bio proizvodnja, kupnja, potrošnja i prijenos električne energije na području rječko-istarske regije.

U siječnju 1957. godine osnovana je jedinstvena prijenosna organizacija za područje Osijeka, Rijeke i Zagreba. U okviru te organizacije današnji Elektroprenos je djelovao kao pogonska jedinica »Istra«. Početkom 1968. godine pogonska jedinica »Istra« odvajala se od »Elektroprenosa« Zagreb i kao »Elektroprenos« Matulji udružuje se u Združeno poduzeće »Elektroprivreda« Rijeka.

U početku rada prijenosna organizacija raspolagala je malim brojem transformatorskih stanica i dalekovoda napona 110 kV.

U toku dvadeset godina djelovanja današnja slika prijenosne mreže na području »Elektroprenosa« Opatija posve je izmijenjena.

Izraženo u brojkama to izgleda ovako: 204,5 km dalekovoda napona 400 kV; 359 km dalekovoda napona 220 kV, te 766 km dalekovoda 110 kV; 18 trafostanica raznih napona: 400; 220/110 kV Melina; 220/110/35 kV Pehlin, 220 kV Brinje, zatim TS 110/35 kV Pula, Raša, Poreč, Buje, Pazin, Lovran, Delnice, Otočac, Gračac, Krasnica, Krk, Crikvenica, Lički Osik, Pula — Dolinka i Matulji.

U krugu TS Pehlin izgrađen je centar daljinskog upravljanja pod čijom su kontrolom zasada trafostanice Delnice, Otočac, Gračac, Pula — Dolinka i Lovran, a u postupku prilagođavanja su TS Poreč, Pehlin, Brinje i Krasica.

Broj zaposlenih radnika stalno raste. U početku ih je bilo 50, a danas ih je 328.

Na svečanoj sjednici radnicima koji su proveli u neprekidnom radnom odnosu 30, 20, 10 godina uručene su i nagrade i priznanja.

I. R.

## SAVJETOVANJE O HIDROELEKTRANAMA U JUGOSLAVIJI

Zajednica jugoslavenske elektroprivrede — Savjet za stručnu suradnju hidroelektrana, organizirala je VII. stručno savjetovanje o hidroelektranama i pumpnoakumulacionim hidroelektranama jugoslavije, koje je održano od 9. do 11. studenog 1988. u Opatiji.

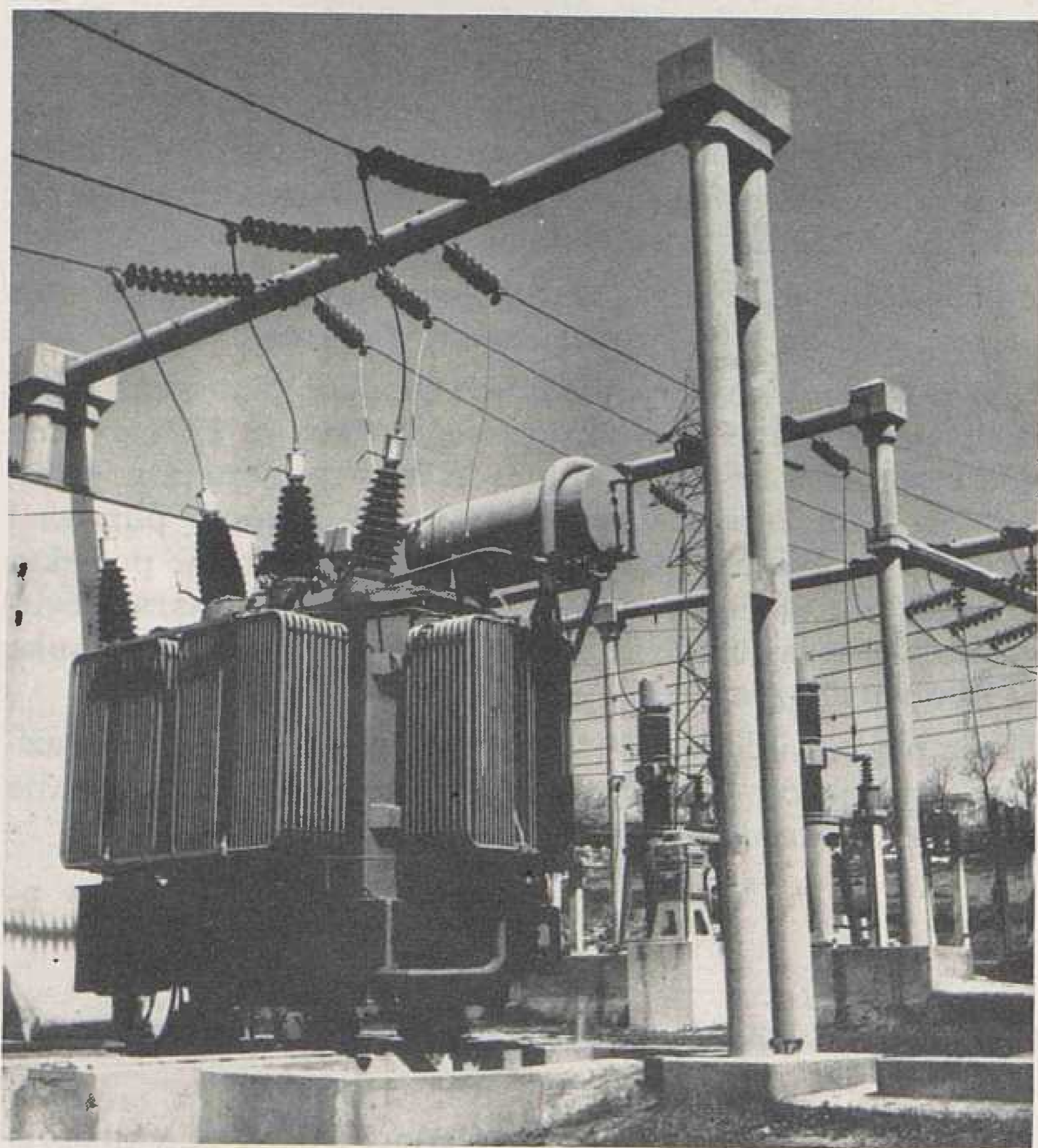
Savjetovanju je prisustvovalo više od 300 stručnjaka raznih profila iz područja izgradnje i eksploatacije hidroenergetskih postrojenja, predstavnici elektroprivrednih i projektnih organizacija, kao i proizvođači hidroopreme iz svih naših republika i pokrajina.

Na održanom savjetovanju u 75 referata obrađena je problematika iz tri tematske oblasti:

- I. Raspoloživost i način iskorištenja preostalog hidroenergetskog potencijala Jugoslavije,
- II. Modernizacija eksploatacije, obnavljanje hidroelektrana i njihove pripreme za uključivanje u tehnički sistem upravljanja Zajednice jugoslavenske elektroprivrede i
- III. Ekološki aspekti pri korištenju hidroenergetskog potencijala.

O pojedinim referatima vodena je diskusija, pa su na temelju toga doneseni zaključci koji će biti obrađeni u posebnim zbornicima. Organizacijski odbor organizirao je za sudionike savjetovanja stručnu ekskurziju u hidroelektranu »Nikola Tesla« Vinodol.

I. R.



Detalj TS 110/30 kV Matulji

## TVORNICA SOLARNIH ČELIJA U SPLITU

Zajedničkim ulaganjem zagrebačkog kolektiva »Rade Končar« i američke tvrtke »Chronar« (Savezna država New Jersey) osnovana je tvornica solarnih ćelija u Splitu. Tvornica smještena u industrijskoj zoni Smokovik puštena je u rad. 19. siječnja ove godine. Suradnja našeg poduzeća i američke tvrtke »Chronar« ima veliko značenje za oba partnera, naglasio je u svom govoru inž. Ante Marković, član predsjedništva SR Hrvatske.

Tom svečanom činu prisustvovao je i direktor »Chronara« i američki generalni konzul u Zagrebu, naši istaknuti privrednici i predstavnici društveno-političkih organizacija i Privredne komore. Gradnja postrojenja trajala je dvije godine, a za kompletno postrojenje uloženo je oko 34 milijarde dinara, od čega je ulog »Rade Končara« 60 posto, a tvrtke iz Amerike 40 posto.

Računa se da će tvornica, u kojoj će raditi stotinjak stručnjaka, biti otplaćena za oko četiri godine. S obzirom na veliku budućnost iskorištavanja Sunčeve energije, oba partnera su odlučna da prošire proizvodnju, marketing i zajedničko istraživanje.

I. R.

## PRVA ELEKTRANA NA VJETAR U JUGOSLAVIJI

Dugoročnim razvojem energetike do 2020. godine u SR Hrvatskoj treba intenzivno raditi na potrebnim istraživanjima i razvoju odgovarajućih tehnologija za korištenje nekonvencijalnih izvora energije. U grupu nekonvencijalnih izvora energije ubraja se i snaga vjetra i morskih valova. Za korištenje energije vjetra već se radi na ispitivanjima i izradi odgovarajućih studija. Očekuje se da će se do 2000. godine započeti s iskorištavanjem energije vjetra na povoljnim lokacijama, kako je predviđeno studijom stručnjaka Instituta »Ruder Bošković«.

Na osnovi takvih predviđanja već nekoliko proizvodnih organizacija u zemlji razmatra mogućnost izrade opreme za elektrane na vjetar.

Prve rezultate ostvarili su stručnjaci tvornice električnih uređaja i strojeva »Uljanik« u Puli.

Potkraj 1988. godine stručnjaci »Uljanika«, uz pomoć danskih suradnika i kolektiva »Projekt« u Mariboru, postavili su prvu vjetroelektranu u Valturi kod Pule.

Na betonskom postolju postavljen je stup vjetrenjače visok 18 metara.

Na vjetrenjači, puštenoj u pokusni rad početkom prosinca prošle godine, provodit će se testiranja koja će poslužiti stručnjacima »Uljanika« kao smjernice za budući rad. Svi podaci služit će za buduću serijsku proizvodnju.

I. R.

## IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

### ENERGETIKA KINE

Kineska privreda prihvatila je zadatak da će od 1985. godine do kraja stoljeća porast primarne i sekundarne energije iznositi godišnje 5%, što znači da će se u tom razdoblju udvostručiti. Proizvodnja električne energije bi se potrostručila, pa bi njezin udio u energetske bilanci porasao od sadašnjih 20% na 30%.

Potkraj 1986. brutosnaga elektrana iznosila je 95 GW, a proizvodnja 450 TWR. Kako Kina ima oko milijardu stanovnika, godišnje po stanovniku otpada 450 kWh. Navedeno stanovništvo živi na oko 4 milijuna km<sup>2</sup> od ukupne površine Kine od 10 milijuna km<sup>2</sup>.

Od ukupne proizvodnje električne energije 79% se proizvede u hidroelektranama, a 21% u termoelektranama. Tri četvrtine elektroenergije troši industrija, a ostalo 1% promet, 16% poljoprivreda, a 7% obrt i domaćinstva. Osjeća se, međutim, u pojedinim područjima pomanjkanje elektroenergije pa se mora posegnuti za redukcijama. U sistemu je dopušten pad frekvencije za 0,2 Hz. Predviđa se da će potkraj stoljeća zemlja biti elektrificirana 90%. Potrošak poljoprivrede narast će od 64 kWh u 1984. na 200 kWh po stanovniku i godini.

Kina posjeduje velike energetske rezerve. Teorijski se vodni potencijal procjenjuje na 676 000 MW, od čega je iskoristivo 378 000 MW s godišnjom proizvodnjom 1 920 TWh. Vrlo su velike i rezerve ugljena različite kvalitete, a ima i nafte, zemnog plina i mogućnosti iskorištenja topline zemlje. Velike se vodne snage nalaze sjeverozapadno, jugozapadno i u centralnom dijelu zemlje, dok sjever obiluje ugljenom. Kako je najnaseljeniji i najindustrijaliziraniji dio Kine pojas dubine 500 do 1 000 km uz Tih ocean, jasno su zacrtana buduća kretanja električne energije. Zbog manjih investicija i brže izgradnje Kina će forsirati gradnju termoelektrana na ugljen. Sada se grade dva nuklearna bloka od po 900 MW. Velika se pažnja polaže malim hidroelektranama i vjetrenjačama, osobito u teže dostupnim krajevima. Do 1985. izgrađeno je oko 80 000 malih hidroelektrana snage ispod 12 MW. Njihova je ukupna instalirana snaga 9 000 MW. Vjetre-

njače se predviđaju na jugoistočnoj obali i na otocima. Demonstracijska elektrana koja koristi toplinu zemlje napaja od 1985. električnom energijom grad Lasu.

Termoelektrane na naftu više se ne grade, a neke postojeće su pregrađene za ložene ugljenom. Čišćenje dimnih plinova i odsumporavanje još je u početku.

Istraživanja su pokazala da postoji 110 000 potencijalnih mogućnosti za izgradnju hidroelektrana iznad 0,5 MW, a oko 2 000 za hidroelektrane iznad 100 MW. Iskorišteno je tek 5% hidropotencijala. Danas je najveća kineska hidroelektrana HE Gešuba od 1 590 MW, a kada bude potpuno završena imat će 2 715 MW. Velike su mogućnosti iskorištenja rijeke Jangce iznad spomenute velike elektrane. Procjenjuje se moguća snaga od 13 000 do 20 000 MW. Do 1980. najviši prijenosni napon unutar područja bio je 220 kV, a za međusobnu vezu 330 kV. Godine 1981. sagrađen je prvi sistem 500 kV u sjevernoj Kini. U toku 1988. pustit će se u pogon prvi istosmjerni prijenos ± 500 kV, duljine 1 100 km za prijenos snage od 1 200 MW iz centralnog dijela zemlje do Šangaja.

Jednosistemska duljina vodova bila je 1986:

500 kV	3 269 km
330 kV	1 695 km
220 kV	49 419 km
154 kV	297 km
110 kV	89 229 km

Za prijenos energije od nekih 7 000 MW sa budućih hidroelektrana na rijeci Jangce, na udaljenosti od oko 1 000 km, do Vukana i Šangaja, studiraju se 4 varijante:

- prijenos trofazan 500 kV,
- prijenos trofazan 765 kV,
- istosmjerni prijenos,
- hibridni prijenos 500 kV istosmjerno i 500 kV trofazno.

Na kraju teba reći da će dostizanje planiranog razvoja do kraja stoljeća za čitavu zemlju biti veliko opterećenje.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 87(1988), br. 12

Mrk.

## PROJEKT VELIKE HIDROELEKTRANE NA NEPALU

Na Nepal se radi niz projekata i istraživačkih radova u vezi s gradnjom hidroelektrane Panšesvar na rijeci Mahakali blizu granice s Indijom. Elektrana bi imala snagu 3 000 MW. Svjetska banka odobrila je kredit od 14,4 milijuna dolara kako bi pomogla ostvarenje mogućnosti napajanja električnom energijom u zemlji i izvoza u Indiju.

*RGE*, god. 1988, br. 7

Mrk.

## ISTRAŽIVANJA POJAVA ZALEĐIVANJA U NJEMAČKOJ DR

U Njemačkoj DR se od 1962. motre zaleđivanja u 32 meteorološke stanice. Plastični štapovi duljine 1 m smješteni su 2 m iznad tla vertikalno. Štapovi imaju promjer 35 mm. Debljina ledene naslage bilježi se svakodnevno.

Od 1978. na 5 meteoroloških stanica ugrađeni su vodiči promjera, 11,7, 19,2 i 27 mm duljine 1 m, na visini 6 m iznad tla.

Orijentirani su istok-zapad i sjever-jug. Da se pak ispituju prilike u planinskim pedjelima, na brdu Kleiner Fihelberg, na nadmorskoj visini 1200 m, izgrađena je ispitna stanica s rasponom ispitivanog vodiča od 100 m. Motrenja se provode od 1980. Osim zaleđivanja mjeri se i utjecaj vjetra na zaleđene vodiče.

Na temelju sređenih i obrađenih rezultata kao osnovna masa leda uzima se masa kg/m koja se statistički pojavljuje svakih 5 godina. Da se pak uzme u obzir određeni promjer vodiča, visina nad tlom i nadmorska visina, utvrđeni su posebni faktori za preračunavanje, također kao rezultat motrenja. Paralelno sa sakupljanjem mjernih podataka provodila se i provjera izvedenih proračuna u praksi. Cijeli taj rad doveo je do dopune i korekture propisa. Saznanja dobivena ovakvim sistemskim istraživanjima imaju i korisne ekonomske efekte u pogledu utvrđivanja optimalnih provjera i naprežanja. Prilikom projektiranja novih elektrovoda nova se saznanja koriste za optimalno dimenzioniranje, a kod postojećih se utvrđuje faktor rezerve.

*Energetechnik*, god. 38(1988), br. 6

Mrk.

## POVEĆANJE KAPACITETA NUKLEARNIH ELEKTRANA U BUGARSKOJ

Danas se u Bugarskoj 30% električne energije proizvodi u nuklearnim elektranama. U godini 1987. u pogonu su bila 4 reaktorska bloka. Prema planovima Ministarstva za energetiku godine 1990. u bugarskim nuklearnim elektranama treba da bude proizvedeno 40% potrebne električne energije.

*RGE*, god. 1988, br. 7

Mrk.

## ENERGIJA ISLANDA

Island je otok u Sjevernom moru od čije je ukupne površine 103 000 km<sup>2</sup> kultivirano i naseljeno samo 1%. Oko 150 000 žitelja živi raštrkano po otoku. Od toga 90 000 obitava u glavnom gradu Reykjaviku. Ovdje stanovnici ne treba-

ju štedjeti energiju jer je ima u izobilju. Island, usprkos industrijalizaciji, neće moći potrošiti ni ovu energiju kojom već danas raspolaže. Smatra se da bi se iz vodenih tokova moglo proizvesti 10 puta toliko električne energije koliko se proizvodi danas. Tome treba još pridonijeti goleme količine toplinske energije iz termalnih izvora. Reykjavik uzima cijelu svoju toplinsku energiju za grijanje iz izvora vruće vode koji se nalaze 800 do 1 000 m ispod površine zemlje. Od 1972. vrućom se vodom griju staklenici bez kojih, zbog opore klime, ne bi bilo svježeg povrća, voća i cvijeća.

Voda izlazi iz izvora s temperaturom 95 °C, a u stanove ulazi s temperaturom 75 °C. Posljedica takvog grijanja je veoma čisti zrak. Nema čišćeg grada od Reykjavika. Njegovo ime znači »zaljev koji se dimi« zbog oblaka pare koja izlazi iz vrućih vrela.

*Energie*, god. 40(1988), br. 10

Mrk.

## UKIDANJE NUKLEARKI U ŠVEDSKOJ

Dvije od dvanaest nuklearnih elektrana u Švedskoj prekida ju rad između 1995. i 1996. godine. To je početak ukidanja nuklearnih izvora koji bi se morao završiti 2010. godine. Energetskim se planom predviđa ograničenje sadržaja sumpora koje izbacuje industrija, program gospodarenja električnom energijom, razvoj alternativne tehnologije proizvodnje elektroenergije, iskorištenje hidroenergije u uvjetima koji su snošljivi za okoliš. Da se pak intenziviraju istraživanja novih tehnologija proizvodnje energije osnovan je fond koj dobiva godišnje 100 milijuna švedskih kruna. Treba nadalje poboljšati sistem prijenosa električne energije.

Posebne će mjere biti potrebne da se prijeđe s električne na druge načina grijanja u kućanstvu. Ukidanje nuklearnih elektrana uvelike zaokuplja industriju i odgovorne sindikate koji u tome vide prijetnju zaposlenju i ekonomiji zemlje.

*REG*, god. 1988, br. 7

Mrk.

## ENERGETIKA DRŽAVE IZRAEL

Energetska politika Izraela stavlja posebni naglasak na iskorištenje energije sunca. Ovakva je orijentacija sasvim u skladu s klimatskim prilikama. Tel Aviv je smješten na 32 paraleli, pa ljeti sunce dosegne kut upadanja od 81. Zemlja ima 300 sunčanih dana u godini. No, s druge strane, posljedica ovakvih prilika je pomanjkanje vode. U Izraelu 15% potrošnje električne energije otpada na dobavu vode, a 75% za potrebe poljoprivrede.

Godine 1979. izgrađena je prva solarna elektrana na Mrtvom moru (vidi *Energiju* 1981, br. 2). Od 1980. obavezno je na krov kuće stavljati sunčane kolektore za zagrijavanje vode. Svrha toga je ušteda uvoznih fosilnih goriva. Posebna tvrtka u Izraelu specijalizirala se za gradnju solarnih elektrana sa zrcalima. Nakon uspješno izvedenih pokusa u Kaliforniji pristupilo se gradnji ovakvih velikih postrojenja u Izraelu.

Ipak, danas solarna energija pokriva samo 3,1% izraelskih energetske potrebe, a uvozna nafta 73%. postoje nade da će se nafta naći i u zemlji.

Ugljen, koji pokriva 23% potrošnje energije, također se najvećim dijelom uvozi jer je domaći ugljen vrlo prašinst. Prirodni se plin troši u neznatnim količinama. Dosada su, osim sunca i ugljena, domaći energetske izvori slabo razvijeni. U zemlji ima samo 4 do 5 elektrana na vjetar. Zbog suš-

ne klime teško se uzgajaju šume, iskorištenje bitumenoznih škrljevaca je neekonomično, a korištenje bioplina iz otpadaka je ograničeno. Postavlja se, međutim, pitanje zašto se ne prihvaća upotreba nuklearne energije. Razlog su prvenstveno veliki investicijski troškovi, a zatim i vojnopolitički. Velika je zapreka nestašica potrebne vode. Moguća je lokacija samo na morskoj obali, no to su zone prevelike naseljenosti.

U budućnosti vlada namjerava voditi energetska politiku tako da se 48% energetske potrebe pokrije iz domaćih izvora, gdje je sunce u prvom planu, i da se provodi svestrana energetska štednja.

RGE, god. 1988, br. 7

Mrk.

### PODRUČJE PRIMJENE »STARIH« I »NOVIH« SUPROVODLJIVIH MATERIJALA

»Starim« suprovodljivim materijalima, npr. Nb, Nb<sub>3</sub> Sn itd., nazvali smo one koji za hlađenje trebaju tekući helij (-269°C), a »novima« nove keramičke supravodljive materijale kojima je dovoljno niska temperatura tekućeg dušika (-196°C). Novi materijali predstavljaju veliku prednost jer s jedne strane upotrebljavaju za hlađenje mnogo jeftiniji dušik (odnos cijene prema heliju 1:75), a s druge pak strane za moguću višu temperaturu tehnička su rješenja jednostavnija, a energija potrebna za hlađenje kudikamo manja. Koji će se od navedenih materijala i gdje praktički koristiti, ovisi ponajviše o udjelu troškova suprovodiča u ukupnim troškovima postrojenja. Udio troškova hlađenja neznatan je kod nuklearnih fuzijskih postrojenja i MHD generatora. Naprotiv, kod akceleratora čestica troškovi hlađenja imaju veliku ulogu, pa će primjena novih materijala biti ubrzana.

Ona prvenstveno dolazi u obzir u energetske uređajima. Pokazalo se da je pri snazi generatora od 1 000 MW već konvencionalna suprovodljiva tehnika konkurentna, a novi materijali to još potenciraju. jednako tako vrijedi i za supravodljive transformatore čiji se troškovi mogu smanjiti za trećinu, a težina svesti na petinu. Moglo bi se upotrijebiti i za energetske kabele, premda ipak nadzemni vodovi ostaju konkurentniji.

Čini se da bi se novi suprovodljivi materijali mogli ponajprije koristiti u elektroničkim elementima, kao i u opremi naučnih laboratorija. Na kraju treba reći da će se pojaviti i sasvim nove mogućnosti primjene za koje dosadašnji suprovodiči nisu dolazili uopće u razmatranje.

ETZ, god. 109(1988), br. 12

Mrk.

### SUPROVODIČI NA BAZI BIZMUTA I TALIIJA

Početkom ove, 1988. godine, pronađena je nova klasa tzv. visokotemperaturnih suprovodiča na bazi elemenata bizmuta, a zatim i talija. Ti novi materijali imaju vrlo visoku kritičnu temperaturu — 125 K, a osim toga je njihova proizvodnja jednostavnija od proizvodnje suprovodiča na bazi itrija.

ETZ, god. 10(1988), br. 16

Mrk.

### SOLARNE ELEKTRANE

U časopisu »Modern Power Systems«, VII. 1988. objavljen je članak o izgradnji solarnih elektrana u Kaliforniji — SAD. Dosada je izgrađeno pet takvih elektrana, a još dvije su u izgradnji. Postrojenja iz ovog projekta nose skraćeni naziv SEGS (Solar Electric Generating System), tj. Sunčevi sistem za proizvodnju električne energije.

Seriju ovih elektrana projektirala je, isporučila i izgradila tvrtka Luz Internacional Ltd a uz financiranje privatnog kapitala. Proizvedena električna energija prodaje se i predaje mreži elektroprivrednog poduzeća Southern California Edison.

U bližoj budućnosti očekuje se izgradnja serije solarnih elektrana snaga 80 MWe, što je, među ostalim, posljedica i promjena u odgovarajućim saveznim zakonima kojima je dopušteno povećanje jediničnih snaga ovakvih elektrana od 30 na 80 MWe.

Već izgrađene elektrane, kao i one dvije u izgradnji, razlikuju se ponešto u tehnologiji i konceptu sistema u cijelosti, što je posljedica poboljšanja rješenja, a na osnovi eksploatacijskih iskustva prije izgrađenih elektrana. Za što povoljnije uvjete prodaje električne energije nužno je postići takav režim rada kako bi se proizvedena električna energija mogla isporučivati u mrežu za vrijeme vršnih opterećenja lokalnog konzuma.

Za prilike u Kaliforniji to je od lipnja do rujna vrijeme između 12 i 18 sati, a u ostalom dijelu godine vršeno opterećenje traje od 17 do 21 h. prilagođavanje prirodnog ritma pogona solarnih elektrana navedenim zahtjevima potrošnje riješeno je tako da je u solarnim elektranama instalirano dodatno zagrijavanje zemnim plinom (tip SEGS II–VII). Energija dobivena dodatnim zagrijavanjem iznosi do jedne četvrtine ukupno proizvedene energije koju isporučuje pojedina elektrana, a što je u skladu s propisima Federalne komisije za energiju.

U prvoj elektrani ove serije (SEGS I) bio je ugrađen toplinski spremnik kapaciteta dovoljnog za puni pogon elektrane za oko 3 h, no za daljnje instalacije iz ove serije (SEGS II–

### Osnovni podaci elektrana SEGS I–VII

Postrojenje	Godina puštanja u pogon	Status	Snaga P neto (MWe)	Solarno polje		Stupanj djelovanja (%)		God. neto-proizvodnje (MWh)
				temp. (°C)	veličina (m <sup>2</sup> )	solarni dio	kotao	
I	1985.	u pogonu	13,8	307	82 960	31,5*	—	30 100
II	1986.	”	30	315	165 376	20,4	37,0	66 500
III	1987.	”	30	349	203 980	30,6	37,4	85 050
IV	1987.	”	30	349	203 980	30,6	37,4	85 050
V	1988.	”	30	349	233 120	30,6	37,4	91 820
VI	1989.	u izgrad.	30	390	188 000	37,5	39,5	90 575
VII	1989.	”	30	390	183 120	37,5	39,5	94 410

\* Uključivo dodatno pregrijavanje pare zemnim plinom.

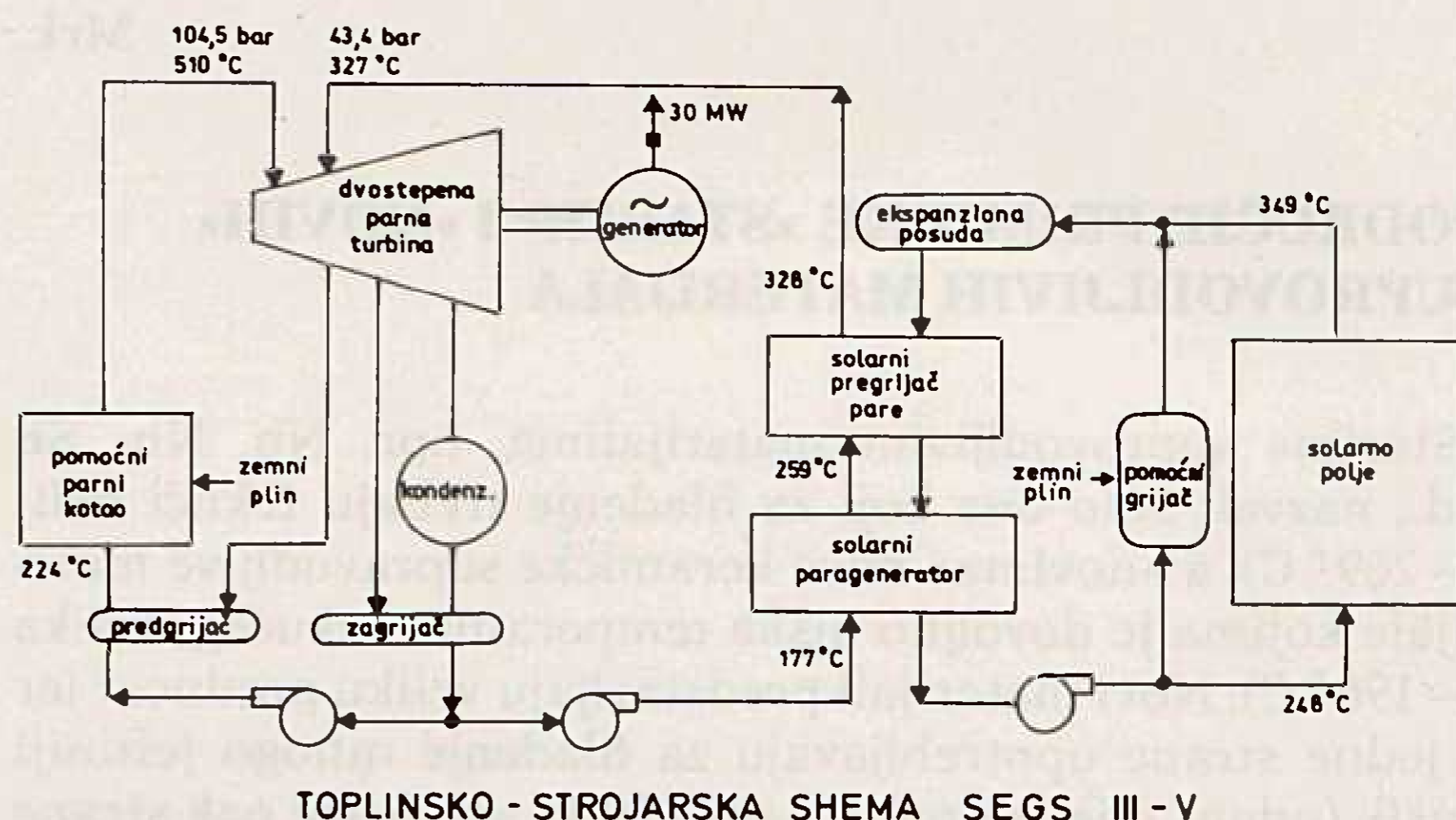
VII) nema informacija o nekim uređajima za akumulaciju primarne topline.

Osnovni elementi ovih elektrana jesu solarni kolektori koji su smješteni u ztv. solarna polja. U navedenim elektranama dosada su ugrađena tri tipa ovih kolektora (LS1, LS2 i LS3). Kolektori se redovito izvode kao parabolična ogledala u čijem su centru smješteni (nazovimo to) »grijači elementi« u kojima se zagrijava medij pogodan za prijenos topline do »kotla« (parageneratora). Prvi tip kolektora LS1 ugrađen je u elektranama SEGS I i II, drugi tip u elektranama SEGS III – VI, dok se tip LS3 ugrađuje u elektranu SEGS VII. Neke razlike u osobinama kolektora i primarnog toplinskog kruga možemo zaključiti na osnovi povišenja temperature toplinskog medija i stupnja djelovanja solarnog dijela odnosno na osnovi smanjenja površine solarnog polja, a uz istu izlaznu neto električnu snagu elektrane (30 MW za elektrane tipa SEGS II – VII).

Svaki kolektor ima sistem za praćenje upadnog kuta Sunčeva zračenja, tj. za njegovo pozicioniranje i upravljanje, a samo se upravljanje vrši centralno iz komandne zgrade. Kolektori i njihova postolja izvedeni su tako da mogu ispravno raditi do brzina vjetra od 32 km/h (8,9 m/sek), a uz nešto reduciranu točnost praćenja upadnog kuta Sunčevih zraka i do brzina vjetra od 72 km/h (20 m/sek). Međutim, zbog sigurnosti pogon za praćenje prekida se kada vjetar dostigne brzinu 56 km/h (15,5 m/sek). Noću ili kada se pogon prekida, ogledala se zakreću prema dolje, tj. prema površini terena. Čišćenje i pranje kolektora od onečišćenja (npr. naslage prašine) obavlja se noću, i to svaka dva do tri tjedna.

Preostali toplinsko-strojarski dio ovih solarnih elektrana nije posebno zanimljiv, no svakako je specifičan s obzirom na relativno niske temperature u primarnom toplinskom krugu, kao i zbog, zahtjeva dodatnog zagrijavanja i mogućnosti pogona do 25% zahtijevanog vremena proizvodnje a u slučaju smanjenja ili prestanka insolacije, što je sve prikazano na toplinskoj shemi solarne elektrane tip SEGS II – V.

Kroz prve dvije godine pogona elektrane SEGS I (u pogonu od 1985. godine) proizvodnja električne energije bila je niža od one projektom predviđene, pa su poduzimani određeni korekcijski zahvati kako bi se proizvodnja povećala. Elektranu SEGS II (u pogonu od 1986. godine) također je u probnom pogonu proizvodila manje, pa su obavljene izmjene programa upravljanja i regulacije. Objekti SEGS III i IV već su se u probnom pogonu pokazali vrlo dobrima, te je nakon dvomjesečnog probnog pogona raspoloživost iznosila 90% (što je više od predviđenoga), dok je ove (1988) godine njihova raspoloživost oko 97%, a proizvedena električna energija dosegla je već polovinom 1987. godine iznose koji su bili predviđeni tek za 1988. godinu.



Toplinsko-strojarska shema SEGS III – V

Troškovi izgradnje SEGS I iznosili su 62 milijuna dolara (4,5 milijuna USD/MW), za SEGS II 96 milijuna (3,2 milijuna USD/MW) a za SEGS III i IV po 101 milijun dolara (3,37 milijuna USD/MW), dok se troškovi izgradnje preostalih triju solarnih elektrana kreću u približno istim veličinama.

H. P.

## NOVE KNJIGE

### UDŽBENICI FIZIKE SVEUČILIŠTA U BERKELEYU

IRO Tehnička knjiga OOUR Izdavačka djelatnost Zagreb, Jurišićeva 10, uvrstila je u svoj plan izdanja izvanrednu ediciju, koja je u svijetu postigla izvanredan uspjeh. Programom ove ugledne izdavačke kuće predviđeno je izdavanje svih pet svezaka jednoga od najpopularnijih izdanja fizike koji nije samo standardni udžbenik fizike studenata prirodoslovnog i tehničkog usmjerenja Sveučilišta u Berkeleyu nego je »standard work« svi onih koji žele svoje znanje na ovome području obnoviti ili proširiti. Tumačenja su prilagođena za studente, naprednije srednjoškolce i inženjere u praksi. Edicija će izaći u pet svezaka:

1. Mehanika
2. Elektricitet i magnetizam
3. Titranje i valovi
4. Kvantna fizika
5. Statistička fizika.

Dosada je Tehnička knjiga izdala prva dva od navedenih pet svezaka u odličnoj opremi i vrhunskoj grafičkoj vještini. Format knjiga je 28 × 20 cm, tvrdo su ukoričene, a cijena im je svakoj 60 000 dinara. *Mehanika*, autora Charlesa Kittela, Waltera D. Knighta i Malvena A. Rudermana (242 stranice) izašao je u siječnju 1982. godine, a izvrsno ga je preveo dr. Nikola Zovko. Sadržaj ovog sveska podijeljen je u 14 poglavlja. Sadržaj pojedinih poglavlja samo ćemo ukratko spomenuti redoslijed pojedinih tema: red veličine, vektori i vektorske derivacije, Newtonovi zakoni, Galilejeve transformacije, rad i energija, srazovi, diferencijalne jednadžbe oscilatornog gibanja, moment i sila, određivanje brzine svjetlosti, Lorentzove transformacije, impulsi i relativistička energija i opće relativnost. Materija za sva poglavlja izvanredno je sretno odabrana, popraćena nizom slika i dijagrama, te instruktivnim primjerima i zadacima.

Drugi svezak *Elektricitet i magnetizam*, kojemu je autor Edward M. Purcell, (281 stranica) izašao je u lipnju 1988. go-

dine. Ovaj nadasve zanimljiv svezak nauke o elektricitetu na najsuvremeniji način pristupa tumačenju ovoga područja fizike. Ovaj drugi svezak preveo je prof. dr. Ksenofont Ilakovac. Svojim sadržajem ovo će djelo čitaocu zainteresiranom za ovo područje približiti »razumijevanje svijeta u kojemu živimo«.

Ovo djelo podijeljeno je u deset poglavlja koja obuhvaćaju: električni potencijal, električna polja oko vodiča, električne struje, polja naboja koji se gibaju, magnetsko polje elektromagnetska indukcija i Maxwlove jednadžbe, izmjenične struje, električna polja u tvarima i magnetska polja u tvarima. Ovaj svezak sadrži veoma velik broj zadataka za samostalno vježbanje i produbljivanje pročitane gradiva. U ovom svesku daju se upute za realiziranje pokusa u kojima se studenti upoznaju praktički s aparatima i instrumentima o kojima se govori u teorijskom dijelu tumačenja. Praćenje gradiva olakšava i to što je upotrijebljen međunarodni sustav jedinica. Na kraju možemo još jednom ponoviti da ove sveske preporučamo svakome tko želi više znati o svijetu u kojem živimo, a izdavaču ove vrijedne edicije želimo uspjeh u radu.

Andrija Milićević

### **Werner Nürnberg, Rolf Hanisch DIE PRÜFUNG ELEKTRISCHER MASCHINEN**

Ispitivanje električnih strojeva  
— šesto, posve prerađeno izdanje

Izdavač: Springer – Verlag, Berlin; Heidelberg; New York; London; Paris; Tokyo, 1987.

Format: 17 × 25 cm, tvrdo ukoričeno, XIX uvodnih stranica, 348 stranica, 233 slike, 4 numerirane tablice, 5 nenumeriranih tablica i tablice sličnih prikaza; cijena 168 DM.

Značenje ovog djela za našu stručnu javnost povod je njegovu prikazu izvan uobičajenog konteksta. Na njemu su, naime, izobražene prve poratne generacije ispitivača električnih strojeva i ostalih elektrostrojarskih inženjera diplomiranih na Zagrebačkom sveučilištu, koji su Zagreb učinili metropolom jugoslavenske industrije električnih strojeva. Prateći stil i način rada ove industrije, reklo bi se da je knjiga znatno utjecala i na tehnički odgoj tih i (posredno i djelom neposredno) kasnijih generacija, stručnjaka ovog profi-

la. Kada se traži ovo djelo u nas, traži se »Nürnberg«, iako od istog autora postoje i druga značajna djela iz područja električnih strojeva. Ono je u ovoj sredini praćeno i korišteno gotovo bez iznimke kroz sva izdanja, iako je u međuvremenu izbor literature proširen.

Između 5. i 6. izdanja ove knjige došlo je do znatnih izmjena brojnih tehničkih rješenja, kao i do općesvjetskog prihvatanja međunarodnog sustava mjernih jedinica. Stoga je ovo šesto izdanje doživjelo korjenite izmjene sadržaja, a djelom rasporeda gradiva. Svrha izdanja bila je da prikaže ovo područje prema suvremenom stanju tehnike, strogo profesionalno, ne dopuštajući nikakve neracionalne ustupke teorijskim zanimljivostima prevladanih rješenja.

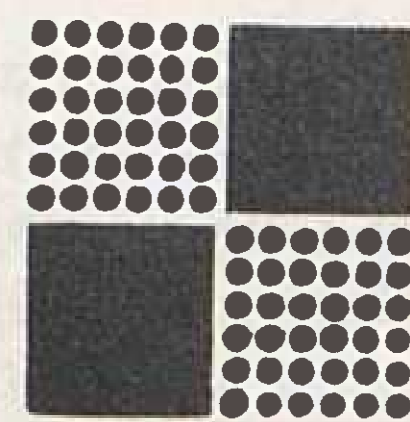
Djelo je u osnovi sačuvalo već klasičnu raspodjelu na opći (zajednički) i posebni dio (ispitivanja pojedinih vrsta strojeva, uključivo energetske transformatora). U općem dijelu promjene su neznatne, a posebni dio ne obrađuje više ona područja za koja je vrijeme donijelo rješenja bez upotrebe električnih strojeva. Tako, naprimjer, nisu više obrađeni metadini i amplidini, kao ni neke specijalne primjene asinhronih strojeva, a ni kolektorski strojevi, osim jednofaznog serijskog motora. U poglavlju o mjerenjima novost je prikaz magnetorezistivne sonde.

Jedinice, pojmovi i oznake prilagođeni su novom sustavu mjernih jedinica. Pojmovna i tehnička poboljšanja uvijek pridonose lakšem praćenju djela. Tako su slike uglavnom povećane; dobile su još čitljivije opise i njihov je smještaj svrsishodniji u odnosu prema tekstu koji se na njih poziva.

Ovo izdanje upozorava starije generacije inženjera na krupne promjene u vrstama i primjeni električnih strojeva što su nastale pod djelovanjem snažnog razvoja industrijske elektronike i njezine primjene na električne strojeve. Mlađim generacijama ono odgovara zbog primjene njima jedino poznatog međunarodnog sustava mjernih jedinica i simboličke lišene njima nepoznatih njemačkih (gotičkih) slova kao oznaka vektora u ravnini.

Tijekom rada na ovom izdanju prof. dr. Werner Nürnberg je umro. koautor je sam dovršio rad. Činjenica da je jedan znanstvenik ponio glavni teret u završnim opsežnim radovima na rukopisu, posebno u pripremi za tisak, ostavlja nadu da će ovo djelo dalje živjeti i, poput sličnih u drugim područjima, slijediti razvoj ove struke u budućim izdanjima u duhu devise »uvijek budni«, koja očito nije samo izdavačeva, nego je primjenjuju i autori. Svima će biti korisno to djelo koje u novim izdanjima dotjeruje svoju didaktičku jasnoću izlaganja uz istovremenu preglednost i sažetost.

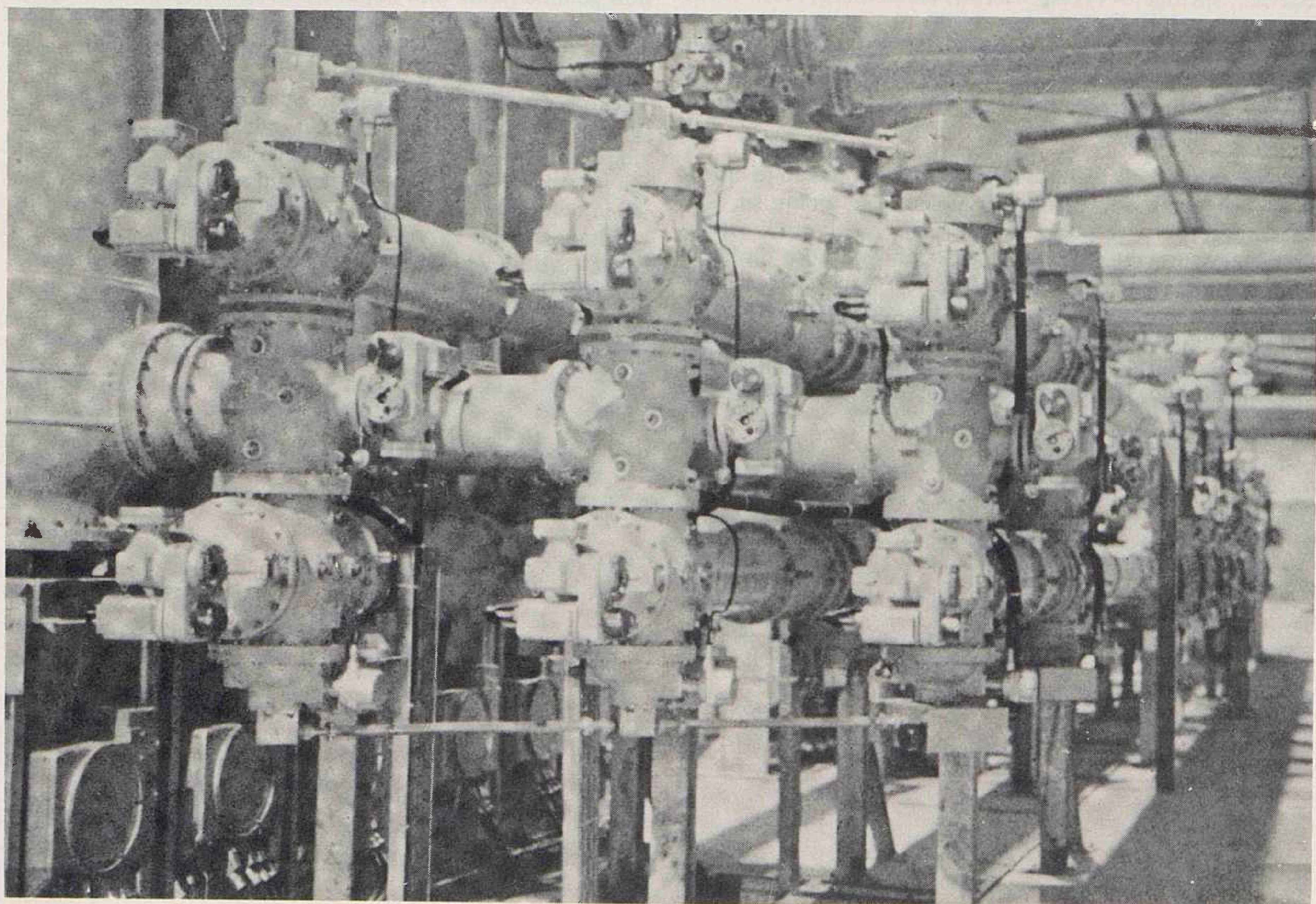
Fedor Šprung



**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





ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE  
HRVATSKE

# energija

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Godište 38 (1989)

Zagreb 1989

Br. 3

Zajednica elektroprivrednih  
organizacija Hrvatske

Institut za elektroprivredu, Zagreb

SIZ za znanstveni rad Hrvatske

## SADRŽAJ

<i>Cvetković Z.</i> : Elektroprivreda na tržištu (Pregledni rad) . . . . .	187
<i>Malbaša N.</i> : Utjecaj ekoloških parametara na planiranje elektroenergetskog sistema (Pregledni rad) . . .	193
<i>Vuković V.</i> : Otok tri milje i Černobil (Pregledni rad) . .	215
<i>Mužek Z.</i> : Racionalna upotreba energije — tendencije i poruke prakse zemalja OECD-a (Pregledni rad) . . .	221
<i>Šimunić J.</i> : Analiza dimenzioniranja izvora istosmjernog razvoda 220 V (110 V) u elektroenergetskim postrojenjima (Pregledni rad) . . . . .	235
<i>Mahmutćehajić R.</i> i <i>Scott Meyer W.</i> : EMTP — Program za simuliranje elektromagnetskih prijelaznih pojava u elektroenergetskim sistemima (Stručni rad) . .	241
<b>Vijesti iz elektroprivrede</b> . . . . .	247
<b>Iz strane stručne literature</b> . . . . .	250
<b>Oglasi</b> . . . . .	255

## IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

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 — EDITORIAL BOARD

Glavni urednik - Editor-in-chief: dr Zorko Cvetković, dipl. inž.  
Urednik - Editor: Zdenka Jelić, prof.

Urednici rubrika — Contributing Editors: »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 — Technical Editor: Branko Mališ — Lektor — Linguistic Adviser: Vladimir Strojny, prof. — Metrološka recenzija — Metrologic review: 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 60000 dinara, a za poduzeća i ustanove 150000 dinara (za studente 30000) dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 10000.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

# 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

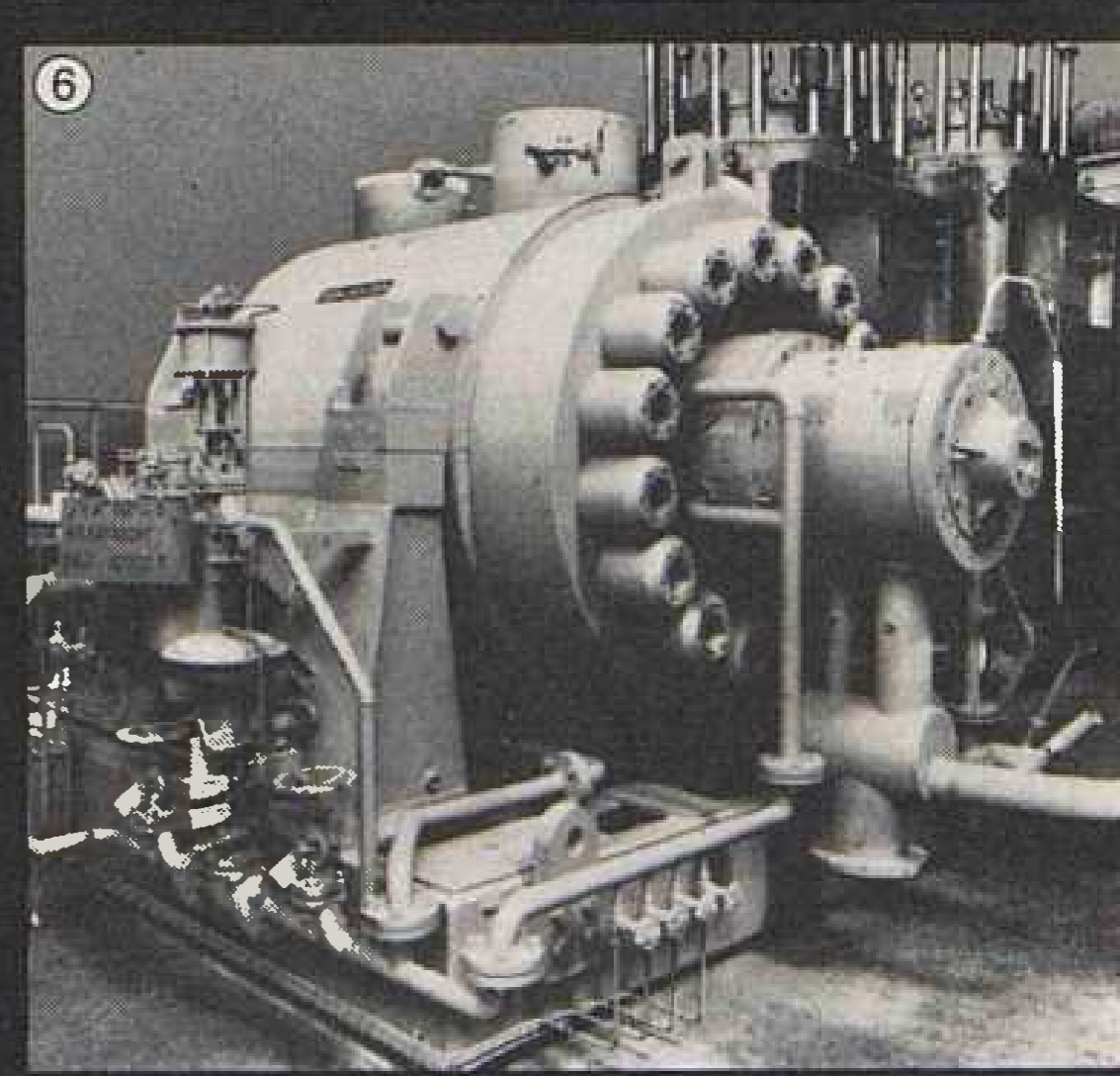
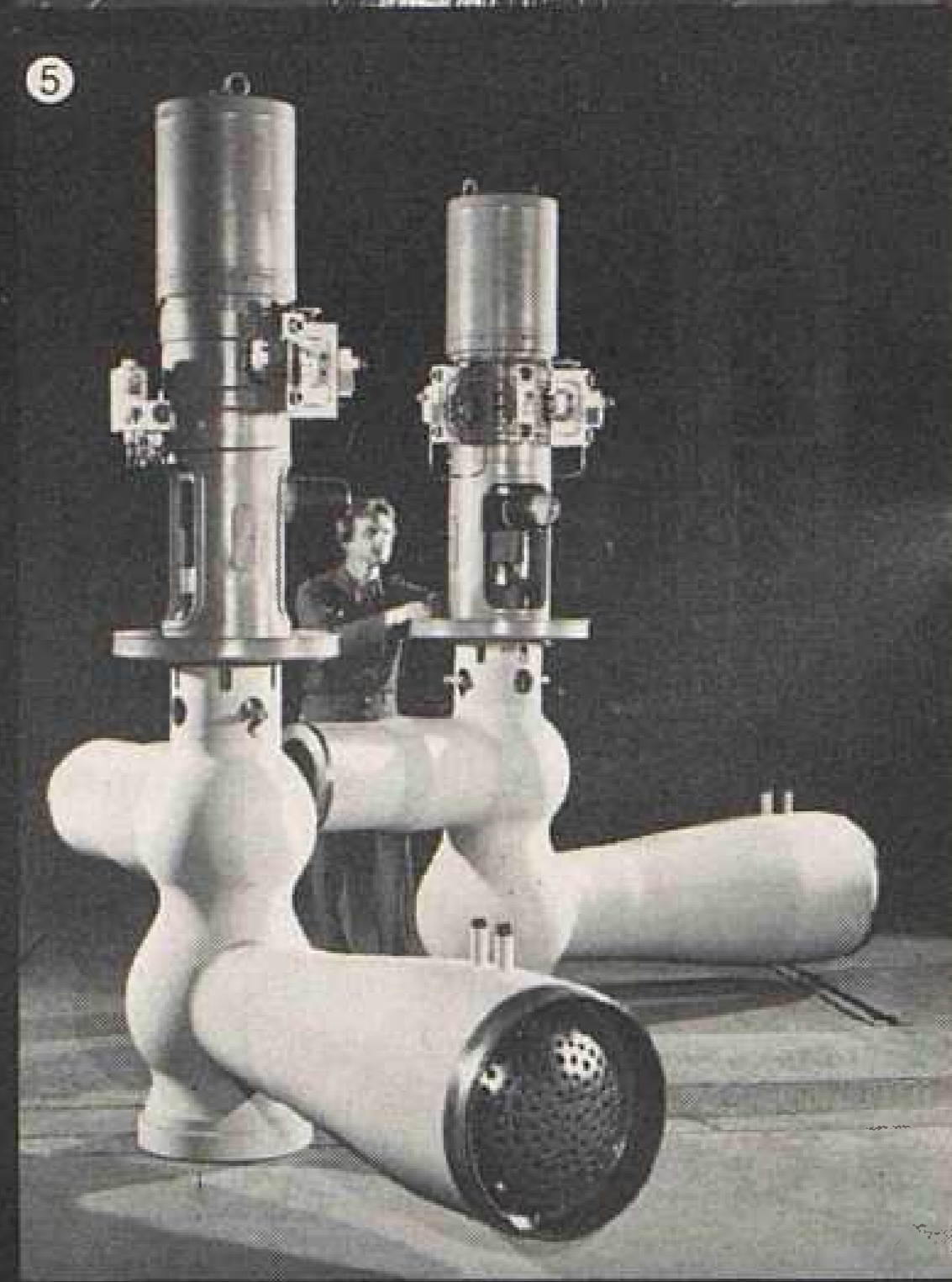
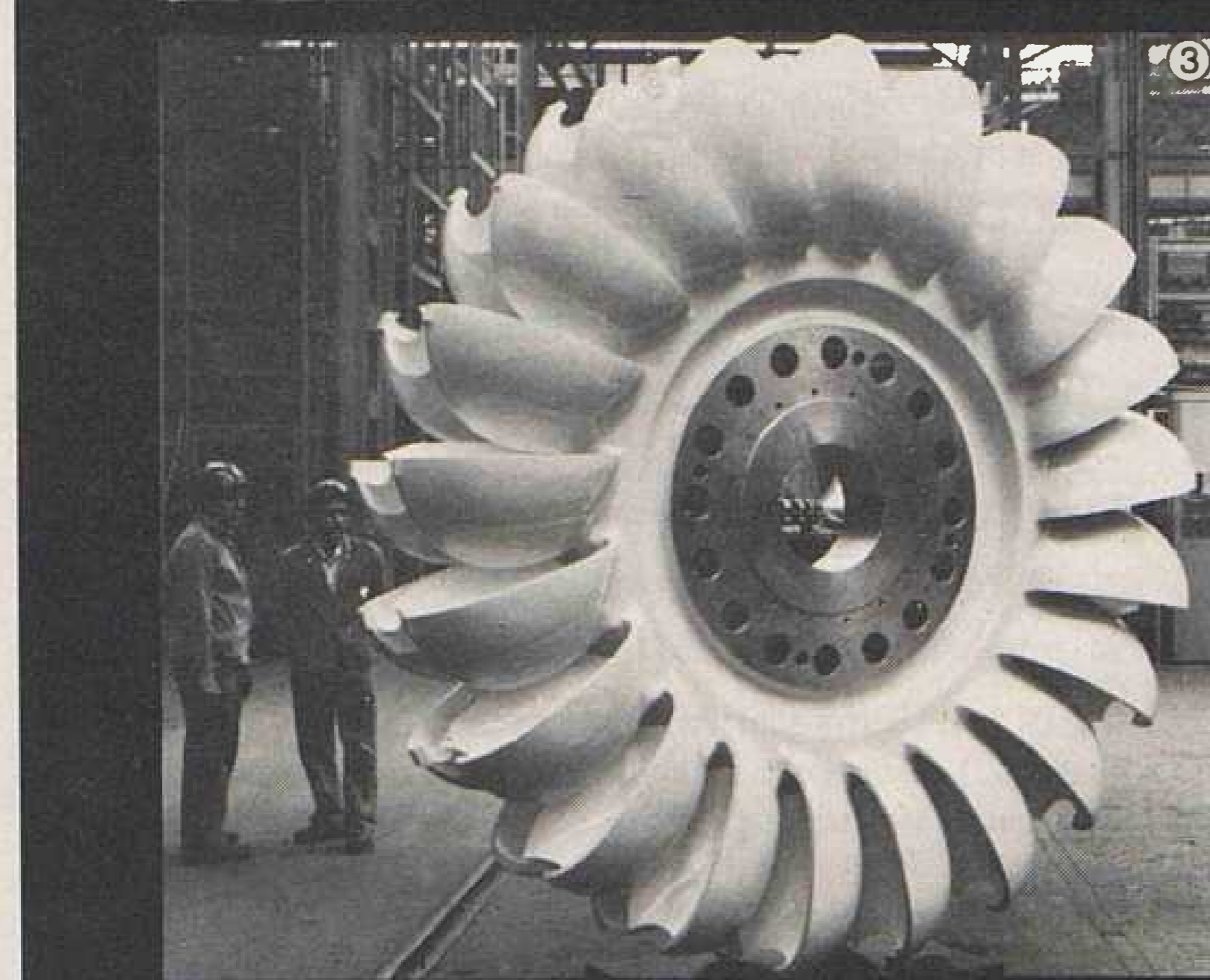
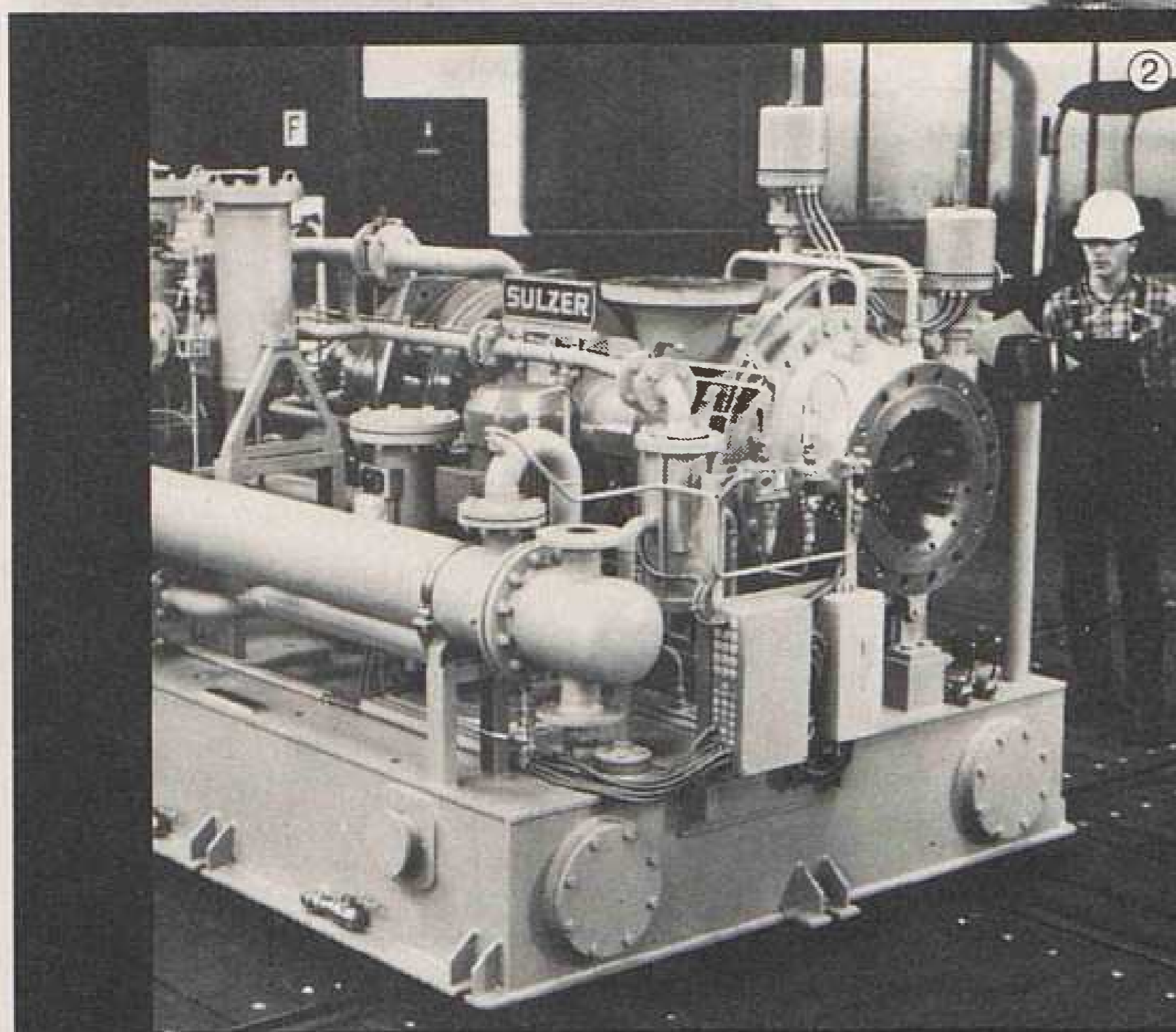
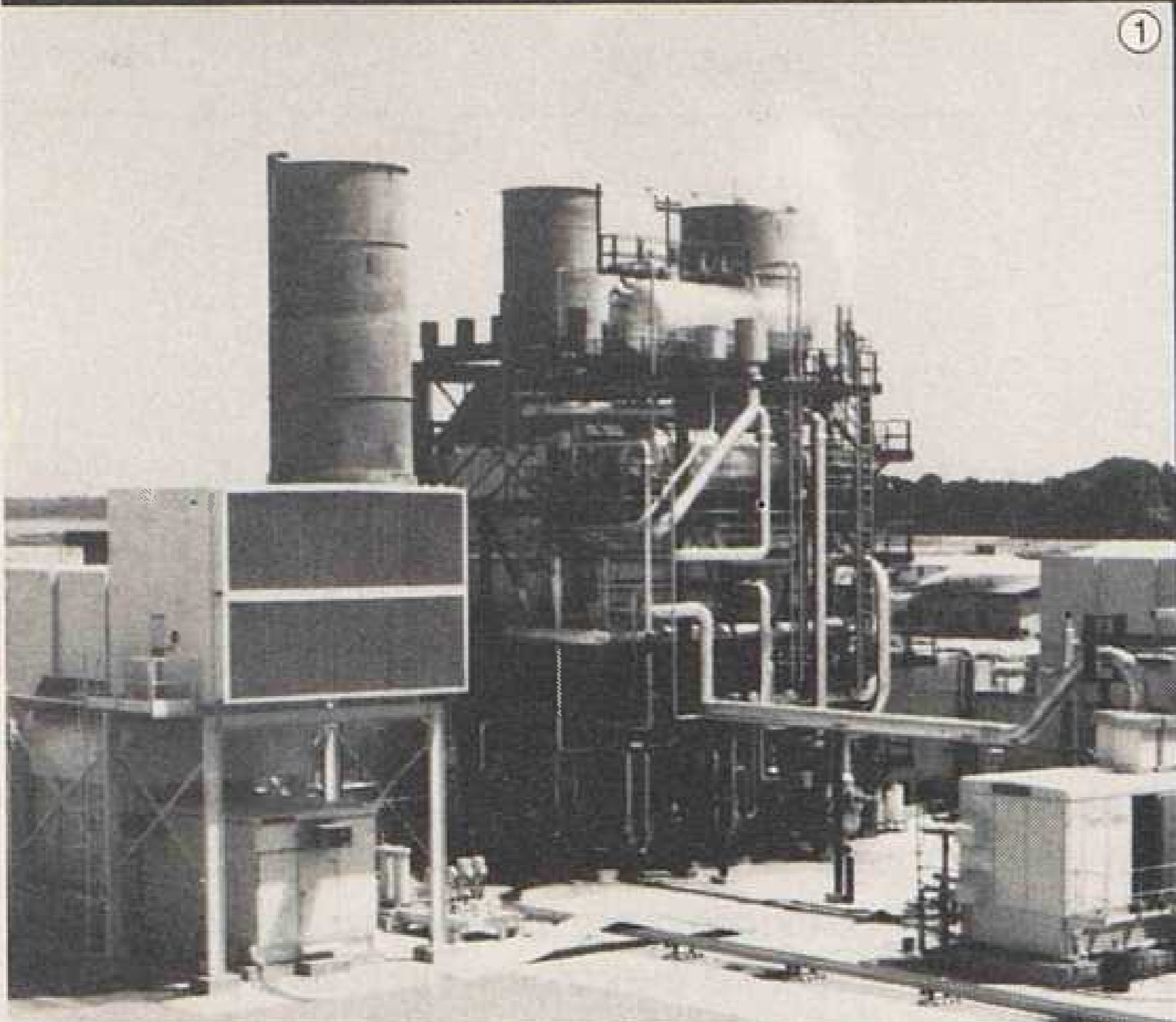
⑥ Kotlovska napojna pumpa za 600 MW-termoelektranu u Nizozemskoj.

## 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



# ELEKTROPRIVREDA NA TRŽIŠTU

Dr. Zorko Cvetković, Zagreb

UDK 621.31:061.5  
PREGLEDNI RAD

Daju se osnovne usporedbe stanja u elektroprivredi Jugoslavije i u nekim razvijenim zemljama Evrope. Na primjeru elektroprivrede Hrvatske predlažu se neki zahvati na polju proste i proširene reprodukcije koje bi trebalo provesti da bi se elektroprivreda osposobila za rad na tržištu. Dani su i neki organizacijski i kadrovski preduvjeti za takvu akciju.

**Ključne riječi:** tržište, kadrovi, organizacija, prosta reprodukcija, proširena reprodukcija.

## 1. UVOD

U našoj zemlji je potencirano prisutan trend otvaranja prema tržišnoj privredi. Ne ulazeći u realne rokove postizanja tog cilja, može se postaviti pitanje što će se dogoditi, odnosno što bi se trebalo dogoditi s elektroprivredom u tržišnim uvjetima. Možda još bolje pitanje glasi: Što bi se trebalo dogoditi u elektroprivredi odmah da bi tržišne uvjete dočekala spremno.

Budući da jugoslavenski elektroenergetski sistem (EES) radi u paralelnom radu s interkonekcijom UC-PTE, dobro je baciti pogled na situaciju u zemljama članicama UC-PTE, odnosno nekim visokorazvijenim zemljama Evrope. Prva je konstatacija, budući da se radi o tržišno orijentiranim zemljama da se i elektroprivrede u tim zemljama ponašaju na adekvatan način i ako nisu isključeni neki elementi državne politike provedene kroz elektroprivrede tih zemalja. Kako se, međutim, 1992. godine ukidaju međusobna ograničenja u zajedničkom evropskom tržištu koje uključuje i tržište električne energije, to su već danas vrlo aktualna gibanja u mnogim evropskim elektroprivredama. Tako je npr. prisutan problem u SR Njemačkoj čija industrija, da bi održala konkurentnost, teži nabavi jeftinije električne energije iz Francuske umjesto kupovine domaće energije kroz čiju cijenu se državnim politikom rješavaju i neki drugi problemi, naročito oni rudnika ugljena [1].

I inače je u Evropi prisutan sve značajniji promet električne energije uz rastući problem tranzita preko trećih zemalja. Tome su naročito pridonijeli značajni viškovi električne energije u Francuskoj, ali i nabava iz zemalja OES SEV postaje sve prisutnija.

Interesantno je baciti pogled na organizacijske forme evropskih elektroprivreda. Vidi se da je prisutno veliko šarenilo formi: od jakih privatnih regionalnih poduzeća, kao npr. u SR Njemačkoj, snažnih nacionaliziranih elektroprivreda, kao ENEL u Italiji i EdF u Francuskoj s funkcionalnom organizacijom (proizvodnja i prijenos sa ili bez distribucije), do švedskog

primjera s državnim poduzećem koje uključuje prienosnu mrežu, neke veće elektrane i dispečing i mnoštvo privatnih proizvođača priključenih na tu mrežu. Kao poseban primjer treba spomenuti onaj u Velikoj Britaniji. Tamo je vrlo snažno nacionalizirana elektroprivreda CEGB prošle godine reprivatizirana. Pri tome je stvoreno nekoliko regionalnih poduzeća, ali samo jedno poduzeće za prijenos i dispečing koje pokriva cijeli teritorij i u kojem su ostala poduzeća dioničari.

U našoj zemlji postoji 8 republičko-pokrajinskih elektroprivrednih organizacija za proizvodnju i prijenos od kojih većina uključuje i distribuciju. Te organizacije rade u jedinstvenom tehnološkom sistemu, ali ne i u jedinstvenom ekonomskom sistemu. Naime ekonomski su odnosi između pojedinih organizacija bilateralni, svaka organizacija ima svoju dispečersku službu koja kontrolira međusobne razmjene, dok zajednička služba Zajednice elektroprivrednih organizacija Jugoslavije (JUGEL) koordinira njihov dogovoreni rad bez mogućnosti realizacije zajedničkog ekonomskog optimuma. Slični odnosi vrijede i na polju proširene reprodukcije. Treba reći da su sve te organizacije pod naglašenim utjecajem lokalnih upravnih i političkih organa, prije svega izvršnih vijeća republika i pokrajina. Ti organi putem elektroprivrede, konkretno putem cijene koštanja kWh, rješavaju pojedine »vruće« lokalne probleme. Da bi slika bila potpuna, elektroprivreda je istovremeno objekt stalnih napada sredstava javnog informiranja, ponajviše RTV-a. Kao što će i u ovom članku biti izneseno, sigurno je da ima dosta mjesta kritici elektroprivrede i da je ona dobrodošla. Sasvim drugi problem je, međutim, nestručno, neprincipijelno, jeftino i »a priori« napadanje sistemom »držite lopova«. Ovi napadi izravno štete elektroprivredi, ali mnogo više njezinim potrošačima u čije se ime navodno provode.

Napada se, naime, grana čiji proizvod na našem tržištu i kvalitetom i pouzdanošću i cijenom odgovara evropskom tržištu, a to je na našem tržištu još uvijek rijetkost. Sasvim je drugi problem činjenica da je

taj proizvod sve teže pristupačan prosječnom potrošaču s obzirom na njegovu kupovnu moć. Sigurno je da se taj problem neće riješiti putem električne energije.

Nakon ovog općeg pregleda nastojat ćemo prikazati koje bi promjene u djelovanju elektroprivrede Hrvatske bile poželjne u njezinu otvaranju tržištu i koje bi rezultate mogle donijeti u budućem razdoblju. Dakako, na sličan način bi se mogla obraditi elektroprivreda Jugoslavije, no autor ne raspolaže dovoljnim podacima. Ipak, kao minimalan korak naprijed u radu jugoslavenske elektroprivrede može se zamisliti da postojeće organizacije već danas prijeđu na rad u poolu s ekonomskim efektima koji iz toga slijede.

Napokon treba napomenuti da će se ovo izlaganje odnositi samo na proizvodnju i prijenos, ali bi slična obrada distribucije bila vrlo poželjna i korisna.

## 2. PROSTA REPRODUKCIJA

U ovom poglavlju bit će djelomice analiziran plan poslovanja elektroprivrede Hrvatske (ZEOH) za 1987. godinu, kao i neka iskustva iz eksploatacije sistema s prijedlogom poželjnih promjena [2].

### 2.1. Analiza plana poslovanja

Analiziramo li plan poslovanja ZEOH-a za 1987. godinu (proizvodnja-prijenos), dobijemo sljedeće odnose troškova u postocima:

— nabava električne energije izvan sistema	43
— nabava goriva	16,3
— amortizacija	9,7
— obaveze po kamatama	7,4
— bruto osobni dohoci	4,4
— ostali materijalni troškovi OMT	1,5
— investicijsko održavanje I.O.	2,8
— ostalo	14,9
	100,0

Već prvi pogled daje neke interesantne informacije koje je korisno razmotriti:

— Očito da je dominantni trošak nabava električne energije izvan sistema i da svako smanjenje te stavke pozitivno utječe na smanjenje cijene električne energije. Pod energijom izvan sistema razumijeva se sva energija proizvedena izvan teritorija SR Hrvatske, npr. energija iz NE Krško i sl.

Postavimo li pitanje da li je smanjenje te stavke moguće, odgovor je pozitivan. Prvu stvar koju bi ZEOH morao učiniti na tom području jest da donese odluku o tome koji je prihvatljiv odnos između energije proizvedene u vlastitim postrojenjima, energije proizvedene u elektranama izgrađenim u drugim republikama i pokrajinama i uveze ne energije. Ta procjena treba uzeti u obzir pouzdanost rada sistema i ekonomske kriterije.

Ovdje se, dakako, misli na dugoročnu politiku razvoja, a u dnevnoj se operativi može i znatno odstupati od takve doktrine, ovisno o stanju na tržiš-

tu. Drugu stvar koju bi ZEOH trebao učiniti jest izgradnja odgovarajuće prijenosne mreže s nužnom kompenzacijom koja omogućuje sve povoljne aranžmane.

Treća stvar je permanentna i dugoročna obrada tržišta energije, pri čemu se koristi i naše članstvo u UCPTE i UNIPEDE, kao i pravila ponašanja koja vladaju u tim organizacijama.

Upravo u veljači 1989. godine, kad je ovaj članak pisan i kad smo suočeni sa značajnim poteškoćama u opskrbi električnom energijom radi dugotrajne suše, dokazuju se sve prednosti tržišta energije, ali i žalje nje zbog kašnjenja u izgradnji mreže 400 kV. Kad govorimo o prednosti tržišta mislimo, naravno, na pouzdanost i cijenu energije.

— Druga stavka po važnosti u analizi troškova jest nabava goriva. Tu danas dominira mazut, ali ni ugljen ne treba zanemariti. Poznato je da smo sa zakašnjenjem reagirali na naftnu krizu 1973. g. Čini se, međutim, da nismo ništa naučili, pa na sniženje cijena nafte također reagiramo sa zakašnjenjem. Cijena mazuta koju danas plaća ZEOH je višestruka prema cijeni koju plaćaju neke susjedne zemlje. Dva su razloga za to — prvi što ne nabavljamo mazut u vrijeme i na mjestu kad mu je cijena najpovoljnija i drugi što je cijena mazuta za potrebe elektroprivrede opterećena s nizom »zaštitnih« poreza nastalih u doba naftne krize. ZEOH ne može sam riješiti taj problem, ali treba poduzeti inicijativu i tražiti sva moguća rješenja uključujući i informiranje javnosti u tom vidu utjecaja na cijenu električne energije.

Što se ugljena tiče, to je uglavnom raški ugljen čija je osnovna karakteristika visok sadržaj sumpora i visoka cijena eksploatacije. Ne bi trebalo da elektroprivreda produžuje vijek trajanje takve neekonomične eksploatacije i da to plaća povišenom cijenom proizvodnje kWh.

— Dok se u prve dvije stavke naziru mogućnosti znatnijih ušteda, dotle treća stavka — amortizacija izgleda značajno potcijenjena. Kao posljedica nerealnih faktora revalorizacije u odnosu na inflaciju nabavna vrijednost osnovnih sredstava je u knjigama elektroprivrede oko 4 puta niža od tržišne vrijednosti. Značajni manjak sredstava amortizacije koji iz toga slijedi dovodi do niza problema, kao što su nedovoljni zahvati na zamjeni, rekonstrukciji i modernizaciji postrojenja i nedovoljna financijska sredstva za proširenu reprodukciju [3]. Takav način doduše snizuje cijenu električne energije, ali traži dodatno opterećenje potrošača neproporcionalno potrošenoj energiji kako bi se ostvario nužni trend proširene reprodukcije. O tom trendu bit će riječi u sljedećem poglavlju.

Prve tri stavke čine većinu troškova proizvodnje i prijenosa, pogotovo uz realnu procjenu amortizacije. Ti troškovi direktno proizlaze iz izbora objekata koji elektroprivreda gradi, iz rokova izgradnje, iz načina vođenja pogona, iz definiranja tarifnog sistema iz organizacije rada itd. Sumirano to znači da kroz te stavke postoje i značajne mogućnosti utjecaja na cijenu kWh.

Što je rečeno za stavku amortizacije, vrijedi i za OMT odnosno I.O. sa svim negativnim posljedicama. U vezi s osobnim dohocima bit će više riječi u poglavlju 4.

Što se pak tiče posljednje stavke »ostalo«, koja je također značajna (14,9 %), treba reći da se sastoji od niza sitnijih stavki i da uštede na tom polju manje obećavaju od prije navedenih stavki.

Dominantne stavke odnose se pak na obaveze iz dohotka i revalorizaciju sirovina i materijala na koje elektroprivreda nema utjecaja.

## 2.2. Eksploatacija

Može se reći da imamo iskusne dispečere i operatere u postrojenjima za vođenje EES u realnom vremenu. Naime, naš sistem vrlo često radi ne samo na granici normalnog pogona već i u kritičnom području, a to je najbolji trening za svakog operatera bez obzira na to što je kao takav nepoželjan.

Imamo također u pogonu moderan sistem vođenja s perspektivom daljnje modernizacije. Uza sve to trebalo bi izvesti neke zahvate da bi rad eksploatacije bio efikasniji:

- Organizaciju dispečerske službe treba provesti dosljedno predviđenoj hijerarhijskoj shemi, što će reći s dispečerskim centrom ZEOH-a na prvom nivou, a centrima daljinskog upravljanja prijenosnom mrežom (CDU), komandama lanca hidroelektrana (KL) i termoelektrana na drugom nivou.
- Dispečere treba rasteretiti svih rutinskih operacija prijenosnom mrežom 110 kV i prenijeti ih na CDU (osim iznimnih postrojenja).
- Službu eksploatacije ZEOH-a treba pojačati iskusnim kadrovima kako bi kompletno vodili operativno planiranje, vođenje u realnom vremenu i analize rada sistema, te aktivno sudjelovali u budućem razvoju sistema. Primjera radi, u djelatnosti eksploatacije trebala bi uči nabava goriva, definiranje relejne zaštite, utjecaj na karakteristike sistema i njegovih elemenata i sl.
- Hidroelektrane i transformatorske stanice trebale bi raditi bez smjenske službe. Također bi održavanje hidroelektrana, a kad je moguće i termoelektrana, trebalo riješiti centralnim specijaliziranim ekipama slično kao što je riješeno održavanje prijenosnih postrojenja. Pritome bi trebalo naći pravu mjeru udjela vanjskih partnera u remontima. Kao vodilju trebalo bi koristiti praksu i normative razvijenih evropskih elektroprivreda korigiranu specifičnim uvjetima kad je to nužno.

## 3. PROŠIRENA REPRODUKCIJA

U ovom se poglavlju daju neki aspekti energetske situacije i zadovoljenje konzuma u sljedećoj dekadi, kao i neke prepravke vezane za djelatnost razvoja i izgradnje elektroenergetskih objekata.

## 3.1. Energetska situacija

U »Osnovama za donošenje globalnog plana izgradnje proizvodnih postrojenja za razdoblje 1991–1995« [4], koji je donio ZEOH u lipnju 1988. godine, predviđa se stopa porasta konzuma od 4,4% u razdoblju 1985–2000. Uzevši u obzir sve postojeće elektrane, i elektrane u izgradnji (HE Dale, HE Dubrava i TE Plomin 2), kao i 100 MW zamjene za 200 MW iz TE Tuzla IV, proizlazi prema navedenim osnovama sljedeća situacija u 1995 godini:

konzum	20 920	GWh
manjak snage	681,4	MW
manjak energije	3881	GWh.

Pokušajmo razmotriti kako se stvarno ponaša konzum posljednjih godina. Porast konzuma je iznosio:

1986/1985.	5,1 %
1987/1986.	2,1
1988/1987.	1,0%

Ukupni konzum u 1988. godini iznosio je 14 916,4 GWh. Već danas je jasno da se neće realizirati prosječni porast od 4,4 % do 2000. g., odnosno 4 % za period 1990–1995. g.

U tablici 1. dana je procjena konzuma, te procjena manjka energije i snage u 1995. g. za razne varijante opterećenja.

Tablica 1.

Konzum 1988. GWh	14 916,4					
Stopa porasta %	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Konzum 1995 GWh	17 124	17 750	18 347	18 944	19 615	20 286
Manjak energije 1995. GWh	85	712	1 308	1 905	2 576	3 247
Manjak snage 1995. MW	0	125	230	330	450	570
Manjak snage 1995. uz defekt NEK MW	300	425	530	630	750	870

Radi bolje preglednosti razmotrimo situaciju u 1998. godini, tj. u sljedećem desetljeću u kojem je moguća realizacija značajnih izvora (tabl. 2).

Uzevši u obzir sve odgovarajuće faktore, kao i opću situaciju u zemlji, čini se da je porast konzuma od 2,5 % dosta realna varijanta u sljedećoj dekadi.

Razmotrimo situaciju u 1995. g. pod pretpostavkom rasta konzuma od 2,5 %. Manjci od 712 GWh odnosno 125 MW zanemarivi su i mogu se nabaviti iz sistema. Isto vrijedi i za manjak snage od 425 MW u slučaju defekta najvećeg agregata (NEK). Dakako, u tom razdoblju bit će izgrađena 400 kV mreža iz II. etape prstena »Nikola Tesla« (DV Melina-Tumbri, DV B. Luka-Tumbri, kao i DV Maribor-Kainachtal). Ako se osvrnemo na 1998. g., vidimo da se čak i predviđeni manjak do 2 062 GWh, tj. oko 10 % ukupnog konzuma, može pokriti iz sistema. Isto vrijedi i za manjak snage od 350 odnosno 650 MW. To, među-

Tablica 2.

Konzum 1988. GWh	14 916,4					
Stopa porasta %	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Konzum 1998 GWh	18 200	19 100	20 000	21 000	22 100	23 200
Manjak energije 1998. GWh	1 160	2 062	2 961	4 061	5 061	6 161
Manjak snage 1998. MW	200	350	500	680	850	1 100
Manjak snage 1998. uz defekt NEK MW	500	650	800	980	1 150	1 400

tim, vrijedi ako se realizira na bazi dugoročnog ugovora.

Razmotrimo, međutim, i optimističiju varijantu sa srednjim godišnjim porastom konzuma od 3,5 %.

Situacija u 1995. g. odgovara tada situaciji iz 1998. g. u prethodnoj varijanti (2,5 %).

U 1998. g., međutim, manjak energije iznosi 4 061 GWh, tj. oko 20 % ukupnih potreba, a manjak snage 680 MW, odnosno 980 MW u slučaju defekta NEK. Za ovaj slučaj nameće se potreba jednog značajnijeg izvora energije.

Sumirano to znači da je do 1995. moguće zadovoljiti konzum bez puštanja u pogon novih izvora, dok bi u razdoblju između 1995. i 1998. g. trebalo pustiti u pogon jedan značajniji izvor.

Razmotrimo mogućnosti kojima raspolažemo:

Objekt	jed. snaga MW	energija GWh	spec. troš. US\$/kW
TE izvan republike	300	1 800	1 800
TE u republici na uvozni ugljen	300	1 800	1 200
TE u republici na mazut	300	1 800	1 000
HE 1200 GWh	290	1 200	2 200
NE u republici	500	3 100	2 400

Sigurno je da na izbor optimalne varijante izgradnje izvora utječu mnogi faktori, kao energetska ekonomika, vrijednost, **financijska mogućnost investitora**, kretanje cijene goriva, ekološka ograničenja, fiskalne mjere, **mogućnost sufinanciranja partnera**, izbor objekata kontinuiteta nakon 1998. g., mogućnosti prijenosa itd., no dva potcrtana faktora imaju danas izvanrednu težinu.

Prema današnjem sagledavanju čini se, dakle, da se nameće rješenje s izgradnjom termoelektrane na uvozni ugljen. Iz razmatranja ne bi trebalo izbaciti podvarijantu s proširenjem TE Urinj uz korištenje mazuta ili plina, iako vjerojatnost takve varijante samo iznimno može dobiti prioritet. Uz izabrani termoblok može se, ali ne mora, izgraditi najpovoljnija ili eventualno dvije najpovoljnije elektrane iz grupe 1 200 GWh, a nikako cijeli paket.

U vezi s izgradnjom HE treba naglasiti nuždu ograničenja pratećih troškova koji sasvim neracionalno opterećuju investicijske troškove tih objekata.

U ovom razmatranju nije detaljnije obrađena cijena kWh budućih elektrana s obzirom na nepoznanicu kretanja cijena goriva, naročito mazuta, ali i domaćeg ugljena. Budući da se raspršila fama o nepresušnim vlastitim mogućnostima lignita u zemlji, vjerojatno bi svjetske cijene uz razumne carine trebale biti odlučujuće u tržišnom pristupu elektroenergetici. U tom slučaju cijene goriva kod izbora objekata neće imati preveliko značenje, to više što je nabava uvoznog goriva u prenesenom smislu dugoročni bezkamatni kredit, a investicijska ulaganja to nisu.

Treba svakako napomenuti da se kao elektrane kontinuiteta iza 1998. g. također nameću daljnji blokovi na uvozni ugljen ako u međuvremenu, bez politizacije, ne uspijemo realno procijeniti značenje nuklearnih elektrana na bazi ozbiljnih procjena, i to naročito ekoloških.

I ovom prilikom treba naglasiti nuždu dosljedne obrade evropskog energetskog tržišta kako ne bismo ostali postrance i zakasnili za događajima koji se u Evropi vrlo burno odigravaju u oči 1992. godine.

### 3.2. Vođenje razvoja i izgradnje

Svakodnevna praksa pokazuje da bi u vođenju poslova razvoja i izgradnje trebalo učiniti neke promjene. Prije svega na nivou buduće republičke elektroprivredne organizacije trebalo bi razdvojiti razvoj od izgradnje kao prvi preduvjet.

U djelatnosti razvoja trebalo bi rješavati ponajprije značajnije izvore, mrežu 400 kV i sistemsku problematiku. Razvoj mreže 110 kV treba ostaviti prijenosnoj organizaciji u suradnji s dispečerskom službom i distribucijom. Kad je riječ o sistemskim problemima, misli se na karakteristike opreme, kompenzaciju, sheme postrojenja, tipizaciju, zaštitu i sl.

U takvom razvoju trebala bi djelovati manja grupa iskusnih stručnjaka koja bi vodila i koordinirala rad Instituta za elektroprivredu, fakulteta i ostalih srodnih organizacija.

U djelatnosti izgradnje vršili bi se investitorski poslovi na svim većim izvorima u republici i izvan nje ili na grupi izvora kad je riječ o hidroelektranama. Ta bi služba uključivala i nadzorne grupe na terenu.

Radi svoje specifičnosti gradnjom prijenosne mreže bavila bi se jedinstvena prijenosna organizacija kao jednom os svojih osnovnih djelatnosti, što odgovara i evropskoj praksi.

### 4. NEKI PREDUVJETI

Da bi rad buduće elektroprivrede bio što efikasniji, potrebno je ispuniti neke preduvjete. Navest ćemo ovdje tri preduvjeta koje, po našem mišljenju, ne bismo smjeli zanemariti:

- da elektroprivreda postane privredna grana na tržištu bez utjecaja ili s minimalnim utjecajem upravnih, a pogotovo političkih organa

- da se elektroprivreda odgovarajući organizira
- da se značajno promijeni kadrovska politika u elektroprivredi.

Kad se govori o elektroprivredi na tržištu, treba istaknuti da se misli o njezinu ponašanju na tržištu električne energije i o njezinu utjecaju na troškove. Ipak, radi njezina specifičnog položaja i mogućnosti monopola bit će nužna kontrola njezine dobiti, a time i cijene kWh od nadležnog državnog organa.

Vjerojatno bi se dva posljednja preduvjeta mogla realizirati i danas, pa čak djelomično i prvi preduvjet, no kako praksa pokazuje, to je teško izvedivo iz objektivnih, a još više iz subjektivnih razloga. Ako se ispunji prvi preduvjet, sve će se znatno lakše moći riješiti. Pretpostavimo zato da je prvi preduvjet ispunjen i pozabavimo se drugim dvama.

- Da je današnja elektroprivredna organizacija nedovoljno efikasna, to više ne treba nikoga ni uvjeravati, to više što to nije specifikum samo elektroprivrede. Prije svega, trebalo bi postići da se pojedine funkcije u elektroprivredi dosljedno realiziraju kroz sve hijerarhijske nivoe. Kad govorimo o pojedinim funkcijama, mislimo u prvom redu na proizvodnju, prijenos i distribuciju, a u drugom redu na razvoj, izradnju, pogon i održavanje.
- Drugi važan korak bio bi da se poslovne odluke u sklopu prihvaćene politike donose efikasno na poslovnim organima uz punu osobnu odgovornost, a ne putem golemog broja delegatskih odbora, što se pokazalo krajnje neefikasnim.

Nije svrha ovog članka da detaljno rješava organizaciju elektroprivrede, no neke dileme i neke vizije treba spomenuti uzevši u obzir realni energetske, pa i geografski značaj republike.

Prva je dilema da li distribuciju organizacijski vezati s proizvodnjom i prijenosom ili ne. Obje varijante su moguće, no praksa pokazuje da bi varijanta s odvojenom distribucijom bila efikasnija. U tom slučaju bi u okviru jedinstvene elektroprivrede (npr. združenog poduzeća) trebalo djelovati jedno poduzeće za prijenos i jedno ili više slivnih ili bazenskih proizvodnih poduzeća. U ovim poduzećima odvijala bi se funkcija održavanja i dio funkcija razvoja, izgradnje i pogona, kako je spomenuto u točkama 2 i 3.

Ako bi distribucija ostala vezana za proizvodnju i prijenos, vjerojatno bi i ona trebala djelovati kao jedno poduzeće.

Mjesto toplinarstva zasigurno je u komunalnim poduzećima, ali za svaki slučaj treba odrediti granicu između djelatnosti kad su posrijedi pojedine elektrane — toplane.

U vezi s kadrovskom politikom treba reći da je to sigurno područje u kojem najviše zaostajemo za razvijenim evropskim elektroprivredama.

Razmotrimo dvije pojave tog pitanja koje sigurno traže promjene. To su:

- broj radnika i produktivnost
- selekcija radnika i razvrstavanje.

U vezi s brojem radnika i produktivnosti pogledajmo usporedne podatke elektroprivrede Francuske (EdF) [5,6] i elektroprivrede Hrvatske (ZEOH) [7,8] za 1975.

i 1984. godinu (tabl. 3), s napomenom da se odnose na ukupnu elektroprivredu, uključujući i distribuciju.

Tablica 3.

Indeks	1975.		1984.	
	EdF	ZEOH	EdF	ZEOH
broj radnika	98 774	12 308	124 931	19 774
konzum GWh	180 700	9 096	297 300	12 985
GWh/rad	1,83	0,74	2,38	0,66
ZEOH/EdF	2,47		3,60	

Iz tablice vidimo da je produktivnost u EdF u 1975. godini okruglo 2,5 viša od one u ZEOH-u, što se moglo i očekivati s obzirom na to da je to više ili manje opća pojava u nas. Vjerojatno bi detaljna analiza pokazala da postoje i neki objektivni razlozi takvog odnosa dviju elektroprivreda i da bi se realno odnos kretao između 2 i 2,5. Ono što, međutim, više zabrinjava jest naglo pogoršanje tog odnosa od 2,5 na 3,60 u razdoblju od deset godina. Što je tek u 1988. g. za koje nemamo podatke?

Jasno je da postojeći trend treba odmah zaustaviti, a onda prići poboljšanju situacije. Drastično treba smanjivati administraciju, a zatim i ostalo osoblje, što je vezano i s reorganizacijom, kako je to već napomenuto u točkama 2 i 3.

U vezi s brojem radnika postoji na svim hijerarhijskim nivoima mišljenje da oni malo utječu na cijenu kWh, pa štednja na radnoj snazi nema svrhe. Tome svakako doprinosi i službena politika priznavanja prosjeka O.D. po zaposlenom bez obzira na broj zaposlenih.

Iako u tome ima i nešto istine (4,4% u 1987. g.), ipak je takva tvrdnja pogrešna. Prvo, nije samo osobni dohodak trošak vezan za broj radnika. Spomenimo samo stanove. Drugo, tehnološki višak stvara psihozu u kojoj većina ne radi dobro. I napokon, kad analiziramo troškove elektroprivrede, vidimo glavni troškovi, tj. nabava energije, nabava goriva i kapitalni troškovi uglavnom odgovaraju evropskom prosjeku, ali nam osobni dohoci po radniku zaostaju 8 do 10 puta.

Ako se želimo i na tom polju barem približiti Evropi, a to želimo, onda s ovim brojem radne snage troškovi osobnih dohodaka postaju neprihvatljivi.

Da paradoks bude veći, istovremeno s nekontroliranim porastom ukupnog broja radnika elektroprivredi u predstojećem razdoblju vrlo ozbiljno prijeti nedostatak inženjerskog kadra. S jedne strane, prisutna je stalna fluktuacija toga kadra radi općeg trenda okretanja prema elektronici, radi niskih osobnih dohodaka u elektroprivredi i radi opće slike o elektroprivredi stvorene u društvu, a s druge strane je prisutan ozbiljan manjak studenata na energetske smjerovima elektrotehničkih fakulteta. Taj problem elektroprivreda mora riješiti **odmah**, bez odlaganja, jer prijeti da on postane kočnica budućeg razvoja.

Pod selekcijom radnika misli se na izbor radnika za pojedine radne zadatke. Očito da današnji administrativni pristup rješenju tog zadatka osim povreme-

nih parola »nagrađivanje prema radu« u prosjeku nije dao rezultat. Samo opće priznata formula nagrađivanje dobrih a otpuštanje loših može dati rezultat, a to bi se samo po sebi riješilo u tržišnoj poziciji elektroprivrede.

Konačno nekoliko riječi o razvrstavanju. Kao primjer uzmimo inženjerski kadar elektroprivrede. Osim iznimaka, danas se najiskusniji inženjerski kadar nalazi u OOUR-ima, a kvaliteta i iskustvo trebali bi rasti kako se penjemo u hijerarhiji prema Radnoj zajednici ZEOH-a. Također, ako izuzmemo održavanje, zadaci, odgovornost i nagrađivanje trebali bi ići istim smjerom.

Taj problem svakako je vezan za postojeću organizaciju elektroprivrede, ali i za neke vanjske faktore prisutne u nas, pa ga nije lako riješiti. Ipak, uz efikasniju organizaciju bilo bi moguće pojedince povezati na zajedničkim funkcijama usprkos činjenici da žive na različitim lokacijama.

Tako bismo izbjegli da nam se identični zadaci ne rješavaju paralelno na više mjesta, a da se istovremeno neki drugi zadaci uopće ne rješavaju.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom članku iznesena su neka razmišljanja o radu elektroprivrede u tržišnim uvjetima i nekim promjenama koje je u tom smislu nužno poduzeti. Izvjesno je da bi se mnoge promjene mogle provesti i danas, no praksa pokazuje da je to teško provedivo.

O ovoj materiji sigurno postoji niz sasvim različitih pogleda, pa je članak ispunio svoju svrhu ako potakne diskusiju. Ona bi bila poželjna ne samo u okviru elektroprivrede Hrvatske već i u sklopu elektroprivrede Jugoslavije kao cjeline. I napokon, ponovimo da svi navedeni manjkovi u radu elektroprivrede koje bi trebalo uklanjati ne smetaju ovoj elektroprivredi na postojećem jugoslavenskom tržištu da i danas nudi kvalitetnu robu uz cijene koje znatnije ne odstupaju od evropskih, što je činjenica o kojoj bi mnogi izvan elektroprivrede trebali razmisliti. Treba ipak napomenuti, kad je riječ o cijeni električne energije, da je to širi problem koji bi tražio posebnu analizu s obzirom na sve tržišne faktore koji danas utječu na nju.

## LITERATURA

- [1] VAN HANS MICHAELIS, »Strom aus Frankreich Elektrizitätswirtschaft,« Jg 86 (1987), Heft 16/17.
- [2] Analiza poslovanja elektroprivrede Hrvatske za 1987. godinu, ZEOH 1988.
- [3] ZORKO CVETKOVIĆ, »Kuda idemo«, Elektroprenos, br. 191 – 1986.
- [4] Osnove za donošenje globalnog plana izgradnje proizvodnih postrojenja za razdoblje 1991 – 1995, ZEOH, Lipanj 1988.
- [5] Electricite de France Rapport d'activite, Comptes de gestion Exercice, 1976.
- [6] Electricite de France Rapport d'activite, Comptes de gestion Exercice, 1984.
- [7] Godišnjak elektroprivrede Hrvatske 1975.
- [8] Godišnjak elektroprivrede Hrvatske 1984.

### ELECTRIC POWER ENTERPRISES ON THE MARKET

In the article is presented a comparison of conditions in electric power enterprises in Yugoslavia and some developed Europe countries. On the example of enterprises in SR Croatia, recommended are some actions in the field of production, that are necessary for free market economy. Presented are some organisational and personal requirements as a condition for such transformation.

### ELEKTROWIRTSCHAFT AUF DEM MARKT

Hier behandelt man Vergleiche der Situation in der jugoslawischen Elektrowirtschaft und in einigen entwickelten europäischen Ländern. Am Beispiel der kroatischen Elektrowirtschaft werden einige Eingriffe auf dem Gebiet der einfachen und breiteren Produktion vorgeschlagen die man durchführen sollte, damit die Elektrowirtschaft für den Markt vorbereitet wird. Es werden auch einige organisatorische und personelle Vorbedingungen für eine solche Aktion gegeben.

### ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВО НА РЫНКЕ

Приводятся основные сравнения положения в электрохозяйстве Югославии и некоторых развитых странах Европы. На примере электрохозяйства Хорватии предлагаются предпринять некоторые действия в области простого и расширенного воспроизводства для оспособления электрохозяйства на работу на рынке. Приводятся также некоторые организационные и кадровые предпосылки для такого действия.

Naslov pisca:

**Dr. Zorko Cvetković, dipl. inž.  
Elektroprenos Zagreb,  
41 000 Zagreb, Proleterskih  
brigada 37, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis  
1989-03-13.



# UTJECAJ EKOLOŠKIH PARAMETARA NA PLANIRANJE ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Dr. Niko Malbaša, Zagreb

UDK 621.31:577.4  
PREGLEDNI RAD

U radu je opisan odnos prostorno-planerskih, ekonomskih i ekoloških parametara s posebnim naglaskom na moguća ekološka ograničenja u dugoročnom planiranju i razvoju EES u SFRJ i SRH (EES-proizvodnja + prateći gorivi ciklusi), te osvrt na postojeće stanje.

**Ključne riječi:** ekološki principi, gorivi ciklusi ugljena i urana, efluenti, planiranje i razvoj EES-a.

## UVOD

Energija kao osnova svih procesa u prirodi i energetika kao znanost o energiji i o tehničkoj upotrebi izvora i oblika energije pojmovi su usko vezani za ekologiju kao znanost što između ostalog obuhvaća i ukupne odnose između čovjeka i njegove okoline. Pritom pojam »čovjekova okolina« (»ljudska okolina«) uključuje ne samo prirodnu ljudsku okolinu (okolice, okoliš, prirodnu sredinu) nego i cjelokupan proizvod ljudskog uma i rada, kao i ukupno kulturno nasljeđe.

Zakon o održanju energije je osnovni zakon prirode. Civilizacijski razvoj čovjeka uglavnom je tekao usporedo s razvojem raznih mogućnosti upotrebe energije. Povijest nas uči da korištenje energijom i na njoj baziranim tehničkim i tehnološkim napretkom mora poslužiti postizanju skladnog odnosa između čovjeka i njegove okoline. Taj cilj je tipično ekološki, pa je energetika, gledajući šire, samo posebni aspekt ekologije. Razvoj, primjena i unapređivanje energijskih uređaja, što je osnova za postojanje moderne civilizacije, treba da se ostvaruju u razumnom skladu s temeljnim ekološkim zakonima i principima.

Ekološki se ciljevi, uz istovremeno zadržavanje civilizacijskih dostignuća, ne mogu postići bez uvažavanja ekonomskih zakonitosti. Sistem vrijednosti u široj društvenoj zajednici treba da bude tako postavljen da se može razumno ostvariti samo ona tehnološka (ekološka, civilizacijska, društvena) inicijativa za koju se može dokazati da joj ukupna korist (benefit) nadilazi štete (cost, risk) što ih ona proizvodi.

O tome postoji opća suglasnost. Problemi nastaju kada treba da se odrede koristi i štete od pojedine inicijative. Ako koristi i štete nisu ispravno određeni, jer se zanemaruju neki njihovi bitni dijelovi, ili se odluke o tome ne donose na temelju ekoloških i ekonomskih analiza, stvoreni sistem vrijednosti neće biti adekvatno postavljen i rezultati njegove primjene,

bit će dugoročno gledajući, i ekonomski i ekološki promašaji.

Troškovi (štete) se dijele na unutarnje (koji su uključeni u cijenu proizvoda) i na vanjske, eksterne (externalities, spillover) koji predstavljaju štetne ekološke efekte što nisu (barem ne izravno) uključeni u cijenu proizvoda. Vanjske štete, osim očiglednih i nespornih, treba da uključe i nevidljive ali prisutne probleme, te sve ekološke rizike vezane za planirani objekt. Rizik se pritom definira kao umnožak vjerojatnosti nepoželjnog efekta (dogadaja) i ekoloških posljedica toga efekta (dogadaja), pri čemu ljudsko zdravlje može biti ugroženo ili izravno ili posredno stvaranjem sekundarnih nepoželjnih efekata u čovjekovoj okolini.

Određivanje vjerojatnosti nepoželjnih efekata redovito predstavlja problem zbog velikog broja parametara, te fizikalnih, kemijskih i bioloških procesa koji se moraju analizirati. Upotreba čovjeka kao »pokusnog kunića« nije etički prihvatljiva, pojedine epidemiološke studije nisu dovoljne, a pokusi na životinjama, te primjena rezultata na ljude mogu se prihvatiti u samo određenim granicama.

Određivanje koristi je manje problematično, barem onog njenoga aspekta što se odnosi na neposrednog inicijatora (investitora, korisnika, proizvođača, vlasnika). Ako se prodaja proizvoda realizira na tržištu benefit je poznat. Može postojati i izvjesna općedruštvena korist od neke inicijative i pored neposredne koristi za samog inicijatora (npr. korist za općerodnu obranu od izgradnje nekog energetskog objekta ili korist od upotrebe alternativnog materijala za neki proizvod). U tom slučaju šira društvena zajednica mora ispravno ocijeniti taj benefit i mjerama ekonomske politike, regulativom i zakonskim mjerama smanjiti korisniku interne troškove proizvodnje, naravno na račun penaliziranja eksternih troškova neke druge inicijative. Na taj način politika, odnosno politička odluka mora dobiti svoje mjesto kao veza

između ekonomskih i ekoloških preferencija, jer samo »nevodljiva ruka« tržišta ne može, ili barem ne može adekvatno i u pravom trenutku optimirati općedruštvenu korist.

Funkcija političke odluke mora, međutim, biti ograničena samo na stimulaciju (destimulaciju) onih aktivnosti koje tržište samo po sebi ne može regulirati (dugoročno upravljanje resursima, makroekonomski specifični ciljevi, neracionalni aspekti tržišnih odnosa itd.).

Politika nema mandat da donosi odluke proizvoljno, bez detaljnih analiza, bez poštivanja znanstveno dostignutih spoznaja i samo na temelju snage javne akamacije. Odluke u domeni energije i ekologije uvijek su ključne odluke s dalekosežnim pozitivnim (ili negativnim) posljedicama. Voluntarizam i brzopletnost pri donošenju odluka nikada ne rezultira pozitivnim efektima.

Ako tržište nije ispravno regulirano, uvažavajući ekološke principe, ekološki i ekonomski ciljevi počinju divergirati, što uvijek vodi ekološkoj katastrofi s neizbježnim ekonomskim posljedicama.

U nas je, ako je riječ o elektroenergetici, situacija prilično konfuzna. Energetsko tržište ne postoji, nego postoji energetski monopol države koja određuje cijene električne energije, te osigurava izgradnju i eksploataciju objekata putem elektroprivrednih poduzeća koja ničim nisu zainteresirana za ekonomski i ekološki racionalnu gradnju.

Ako ne postoji tržište, nije moguće odrediti ni stvarnu cijenu proizvoda, a još je manje moguće regulirati tu cijenu na temelju ekonomskih i ekoloških principa. Posljedica je toga voluntarizam na svim razinama energetske politike i odlučivanja u energetici, jer ne postoje osnovni pokazatelji za određivanje koristi i štete u proizvodnji električne energije, pa ni racionalna regulacija takvog stanja nije moguća. U takvoj situaciji nije moguće stvoriti racionalne kriterije za izbor prioriteta objekata za izgradnju ni dostići optimum na cijelom jugoslavenskom prostoru. Autakričan razvoj je samo neizbježna posljedica takvog stanja.

U takvoj situaciji npr. nastupom »naftne krize« nije bilo moguće, da se i htjelo, provesti efikasnu regulaciju na tržištu, nego je kao krajnja mogućnost (tek kad je »vrag odnio šalu«) preostao instrument zabrane upotrebe tekućeg goriva, odnosno njegovo radikalno ograničavanje s nizom dodatnih negativnih posljedica.

Zbog toga nije ni čudno što se u nas u praksi ekološkim zahtjevima u razvoju elektorenergetike nije poklanjala veća pažnja. Elektroprivredne organizacije nisu stimulirane da smanjuju eksterne troškove na račun troškova proizvodnje u sistemu s limitiranim cijenama električne energije.

Iako u nas postoji niz publiciranih radova iz područja utjecaja elektroenergetskih objekata na ljudsko zdravlje i okolinu te brojne studije i analize, rezultati toga sporo prodiru u službene dokumente, a ako tamo i stignu, u praksi se ignoriraju. Još su uvijek problemi degradiranja ljudske okoline, utjecaja na ljudsko zdravlje i život, te potrošnje neobnovljivih resur-

sa na margini planiranja društveno-ekonomskog razvoja i razvoja energetike i elektroenergetike posebno.

## 2. TROŠKOVI (ŠTETE) ELEKTROENERGETSKIH OBJEKATA

Ako se radi o proizvodnji električne energije, troškovi (štete) moraju se odrediti analizom sljedećeg:

- konvencionalnih (internih) troškova,
- potrošnje neobnovljivih izvora energije, čime je njihova upotreba u budućnosti smanjena ili onemogućena,
- degradiranja ljudske okoline,
- neposrednog utjecaja na zdravlje i sigurnost ljudi.

### 2.1. Analiza konvencionalnih troškova

Konvencionalni troškovi su oni koje investitor odnosno korisnik objekta uračunava u cijenu proizvoda, tj. u cijenu kWh predanog potrošaču. To su redovito troškovi izgradnje objekta, troškovi održavanja i eksploatacije i troškovi goriva.

Često su u konvencionalne troškove uključeni i troškovi nekih struktura, sistema ili komponenata čija je jedina svrha zaštita čovjekove okoline, ali su oni sastavni dio standardnog objekta (npr. elektrostatički filtri u termoelektranama na ugljen ili sistemi za obradu radioaktivnog otpada i mnogi drugi u nuklearnim elektranama).

Neki sistemi vezani za zaštitu okoline nisu još posvuda prihvaćeni kao obavezni, pa se njihovi troškovi ponekad uključuju među konvencionalne troškove, a ponekad ne (npr. sistem za odsumporavanje dimnih plinova u termoelektranama, dvostruki containment u nuklearnim elektranama itd.).

Konvencionalni troškovi su najviše opterećeni troškovima sistema za zaštitu okoline u nuklearnim elektranama, koje su se tehnološki razvile uz radikalno uvažavanje ekoloških principa. Može se reći da se veći dio investicija za nuklearne elektrane odnosi na sisteme čija je jedina svrha sigurnost ljudi i zaštita okoline. Osim toga, nuklearna regulativa bazirana je na linearnom odnosu između doze zračenja i posljedica bez posebnog praga ispod kojega doze zračenja ne bi bile štetne. To vodi do načela da je potrebno izbjevati nepotrebno ozračenje ljudi ma kako maleno ono bilo (ALARA-princip), što je dovelo do usavršavanja sistema za zaštitu okoline i sigurnosti gotovo do neshvatljivih granica. Posljedica je takvog pristupa da standardna nuklearna elektrana povećava dozu zračenja u svojoj okolini za manje od 1 % u odnosu na prirodno zračenje.

Za razliku od toga npr. koncentracija SO<sub>2</sub> u okolini kao posljedica izgaranja smije biti 100 puta iznad prirodnog fona, a koncentracija NO<sub>2</sub> oko 4 puta\*. Nužno je spomenuti da je kod konvencionalnog onečićenja prihvaćena hipoteza o postojanju određenog

\* Prema američkim standardima, Ref. 45.

praga ispod kojega su efekti zanemarivi, pa je to razlog što se obično razmatraju samo neki faktori onečišćenja (npr. SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dim), a drugi se zanemaruju bez većin argumenata (npr. teški metali, sulfati, radioaktivnost, policiklički aromatski ugljikovodici i sl.). Radioaktivnost se čovječanstvu otkrila najprije u svom najgorem obliku. Počevši od Hirošime, pa preko raznih nezgoda u nuklearnim objektima, u medicini, industriji, posljedice radioaktivnosti za čovjekov život i zdravlje su dosta analizirane i kvalitetno elaborirane. S druge strane, utjecaj na okolinu i ljudsko zdravlje od SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, sulfata, teških metala i sl. emitiranih iz klasičnih objekata još uvijek nije dovoljno detaljno proučen, pa se standardi u pojedinim zemljama bitno razlikuju.

Posljedica je takvog stanja da konvencionalni troškovi ne odražavaju ukupne troškove elektroenergetskih objekata, te da analiza samo konvencionalnih troškova ne može biti osnova za planiranje elektroenergetskog sistema s raznim tipovima objekata.

Konvencionalni troškovi uključuju u sebi uloženi rad, prirodne resurse i troškove novca. Za mikroekonomske analize bitna su i neka druga izdvajanja koja figuriraju kao troškovi (carinske pristojbe, razna društvena davanja, porezi, izdvajanja u amortizacijski fond itd.), a inače su dio političke odluke kojom se stimuliraju odnosno destimuliraju pojedina rješenja ili inicijative.

Ako je riječ o elektroenergetici u nas, može se općenito reći da ne postoje pravi mehanizmi uvažavanja ekoloških principa u planiranju elektroenergetskog sistema, pa se zbog toga u praksi oni često ignoriraju.

## 2.2 Štete zbog potrošnje neobnovljivih izvora energije

Budući da ovaj dio nije iskazan u cijeni proizvoda, može se govoriti o šteti (ekološkoj šteti) prije nego o troškovima, iako su pojmovi »šteta« i »trošak« u jednoj principijelnoj ekološkoj analizi gotovo sinonimi. Naime, ipak postoji razlika među ovim pojmovima s ekonomskog aspekta. Konvencionalni trošak se uvijek realizira na tržištu, gdje postoji kupac i prodavač, pa je trošak za kupca istovremeno dohodak za prodavača.

Za razliku od toga šteta se ne realizira na tržištu, ona se uvijek odnosi na upropaštavanje vrijednosti koje su zajedničko dobro. Povreda općih dobara i njihova neracionalna i pogrešna upotreba uvijek su se smatrali manjim zlom od štete načinjene konkretnom pojedincu ili društvenom subjektu. Zbog toga, ako se želi spriječiti degradiranje ljudske okoline i zajedničkih dobara (zrak, voda, prirodni resursi), nužni su osim tržišnih i dodatni mehanizmi.

Suvremena civilizacija, općenito gledajući, još nije stvorila adekvatne mehanizme za očuvanje prirodnih vrijednosti i posebno za zaštitu neobnovljivih i vitalnih resursa. Glavni razlog tome je što još uvijek ne postoji suglasnost oko globalnih pitanja opstanka ljudske vrste i između ostaloga o tome koliko nam je još vremena preostalo do trenutka kad će nedosta-

tak i ugroženost prirodnih resursa postati nepremostiva prepreka za dalji razvoj. Sadašnji ekonomski sistem, utemeljen na neograničenoj količini i kvaliteti svih potrebnih prirodnih resursa, svim se silama trudi da odgodi taj trenutak. Zbog toga se vrijedni minerali i sirovine, pa i energetske oblici, nemilice eksploatiraju, cijena im se na sve načine održava što nižom, a svaka, makar i kratka eskalacija cijene doводи do panike.

Neadekvatan odnos prema prirodnim neobnovljivim resursima slijedi i iz činjenice da su tržišne odluke u principu temeljene na kratkoj percepciji budućnosti. Nije samo tzv. »negativna sklonost riziku« prirodnih subjekata uzrok tome. Glavni problem je u općeprihvaćenim ekonomskim analizama koje potcjenjuju buduću vrijednost u korist sadašnje.

Kolika je npr. sadašnja vrijednost jugoslavenskog ugljena što će preostati nakon recimo 2020. god. Uz skromnu diskontnu stopu do 6 % vrijednost tog ugljena je za 6–7 puta niža od onog što se danas eksploatira. Ekonomska logika, dakle, nudi kao optimalna ona rješenja koja će prirodne resurse najbrže iskoristiti i realizirati na tržištu. Privrednici tako, silom prilika, maksimiraju trenutni dohodak na račun budućnosti.

Štetne posljedice takve orijentacije vrlo je teško sagledati. Zbog toga je, kao minimum, nužno analizirati štete što nastaju nereguliranom eksploatacijom neobnovljivih prirodnih resursa, te ih na prikladan način uključiti u politiku ekonomskog razvoja.

## 2.3. Degradiranje ljudske okoline i utjecaj na ljudsko zdravlje i sigurnost ljudi

Već su u početku razvoja energetike spoznati nepoželjni utjecaji na ljudsko zdravlje i okolinu. Tako engleski kralj Edward I (1272–1307) zabranjuje u Londonu upotrebu tzv. morskog ugljena (»carbone marino«) eksploatiranog u primorskom dijelu sjeveroistočne Engleske u korist drvenog ugljena i drveta. Richard II (1377–1399) dozvoljava ograničeno loženje ugljena uz plaćanje posebne takse, a Henry V (1413–1422) osniva Komisiju za reguliranje količine ugljena koja se smije dovesti u London.

U XVI. stoljeću nagli porast broja stanovnika doводи do propadanja šuma zbog sječe pa grijanje ugljenom postaje neizbježno. Već tada se zna da je sumpor u ugljenu jedan od glavnih nepoželjnih sastojaka, pa je dvorski liječnik Elizabete I dobio dozvolu da ukloni sumpor iz ugljena, ali u tom, naravno, nije uspio.

Četiri stoljeća kasnije situacija nije nimalo bolja. Dođuše, moderna tehnološka rješenja omogućuju znatno smanjenje štetnih emisija i njihovu kontrolu, ali su eksponencijalni porast broja stanovnika i njihove sve veće potrebe u energiji doveli do enormne potrošnje svih energetske oblika i prirodnih resursa općenito, pa je sve veća potreba da se sagledaju, osim lokalnih i globalne, planetarne posljedice takvog razvoja. Svjetska zajednica u tom smislu čini u posljednje vrijeme sve veće napore, što bitno utječu na tehnološki razvoj i na privredne tokove.

Niču naglo nove znanstvene, istraživačke i privredne organizacije s isključivom svrhom da svoj dohodak

vežu za probleme zaštite okoline. Na tim osnovama traži se i politički prestiž, a i javnost se više nego ikada želi uključiti u diskusije i odlučivanje o tim problemima.

Ignoriranje tih pojava koje su u suštini izuzetno pozitivne, bez obzira na razne deformacije i pojedine radikalne opcije što se ponekad javljaju, znači tehnološki i ekonomski zastoj, te politički nazadak.

Jugoslavija je uvijek poklanjala značajnu pažnju problemima zaštite okoline. Ustav SFRJ piše između ostaloga: »Čovjek ima pravo na zdravu životnu okolinu. Društvena zajednica osigurava uvjete za ostvarivanje toga prava« (čl. 192).

U praksi, međutim, situacija nije zadovoljavajuća. Loša ekonomska situacija stimulira kratkoročna rješenja, a to je uvijek na štetu ekoloških principa i zaštite okoline. U energetici situacija nije, razumljivo, mnogo bolja nego u privredi kao cjelini. Osim NE Krško u Jugoslaviji gotovo da nema energetskog objekta koji može, u pogledu zaštite okoline, poslužiti kao primjer. Većina od njih ne radi ni približno u skladu s načelima zaštite okoline, niti se optimalno koriste opremom koja je u tu svrhu na raspolaganju. U nastavku želim ukratko opisati osnovne probleme vezane uz utjecaj elektroenergetskih objekata na okolinu.

Osim izravnog utjecaja elektrane analizirat će se i ciklus goriva. Utjecaj na okolinu obično se dijeli na utjecaj emisije u zrak, vodu i tlo, te na zauzeće terena uključujući i socijalno-ekonomske aspekte izgradnje i eksploatacije elektrane i pripadnih objekata gorivog ciklusa.

### 2.3.1. Termoelektrane na ugljen

Od početka razvoja energetike ugljen je bio osnovno gorivo. Tek u XX. stoljeću istiskuju ga postepeno plin i derivati nafte, hidroenergija, te u zadnjih dvadesetak godina i nuklearna energija. Istovremeno se sve veći dio proizvedenog ugljena upotrebljava za proizvodnju električne energije.

U analizi utjecaja na okolinu potrebno je razmotriti ugljenokop (proizvodnju ugljena), separaciju odnosno čišćenje, prijevoz do elektrane, eksploataciju u elektrani i odlaganje pepela i šljake.

Ugljenokop se može realizirati kao površinski i kao podzemni ovisno o položaju i debljini slojeva ugljena. Utjecaj na okolinu očituje se u onečišćenju površinskih i podzemnih voda, devastaciji terena i u izravnom utjecaju na zdravlje i život zaposlenih.

Pri površinskom otkopu najprije se mora otkopati i deponirati sloj zemlje što se nalazi iznad ugljena koji je ponekad i nekoliko puta deblji od sloja ugljena. Često je moguće jalovinu deponirati na prostoru gdje je ugljen već eksploatiran, pa se tako dio devastiranog terena može dovesti u prvobitno stanje i rekultivirati.

U krovini lignitnih slojeva mogu se nalaziti znatne količine raznih vrijednih minerala, koji su obično slabo istraženi, a njihovo iskorištavanje nakon eksploatacije ugljena postaje nemoguće ili se bitno komplicira.

Uništavanje infrastrukture, komunikacija, naselja, prirodnih ljepota, arheoloških i kulturnih spomenika i sl. postaje gotovo neizbježno na prostoru iznad ležišta ugljena u slučaju eksploatacije.

Naime, bazeni lignita su formirani obično u prostranim aluvijalnim područjima (obale pliocenskih jezera), pa se iznad ugljena često nalazi plodno tlo na kojemu su se kroz povijest formirala naselja sa svim pratećim sadržajima, pa je naseljenost iznad lignitnih ležišta obično vrlo visoka. Povijesne i arheološke vrijednosti na tim tradicionalno naseljenim područjima također su iznadprosječno zastupljene.

Takve bazene često presijecaju vodotoci i glavni prometni putovi, pa je upotrebna vrijednost terena i vrijednost na njemu sagrađenih objekata često iznad prosjeka za šire područje.

Značajni su i neizravni nepovoljni efekti uređenja novih lokacija za preseljeno stanovništvo, a nisu pritom zanemarivi ni socijalni, psihološki, pa ni politički aspekti tih aktivnosti.

Pri podzemnoj eksploataciji utjecaj na teren nije toliko značajan iako i tu može doći do nepovoljnih efekata na površini (slijeganje, urušavanje, klizanje).

Utjecaj na površinske i podzemne vode pri eksploataciji ugljena je uvijek velik. Glavno onečišćenje je ponajviše vezano za prisutne spojeve željeza i sumpora, posebno uz pirit, koji izložen zraku reagira s podzemnim vodama i stvara kisele tokove. Problem je pri površinskoj eksploataciji manji nego pri podzemnoj. Međutim tu se pojačava utjecaj oborina koje mogu proizvesti slične efekte. Separacija ugljena također je značajan izvor onečišćenja vode, posebno ako nisu provedene sve potrebne aktivnosti obrade otpadnih voda.

Poseban problem čini permanentno odvodnjavanje ugljenokopa, koje se najčešće realizira sistemom bunara na periferiji eksploatiranog područja. Time se remete i tokovi podzemnih voda u širem području, što može izazvati poremećaje na izvorima vode u okolici ili razne sekundarne efekte (gubitak čvrstoće slojeva, slijeganje i klizanje terena i sl.).

Eksploatacija ugljena velik je rizik za ljudsko zdravlje i život. Podzemna eksploatacija je uz najbolje osiguranje često uzrok eksplozijama i požarima zbog prisutnog metana i ugljene prašine. Udisanje ugljene prašine dovodi do posljedica za zdravlje (pneumokonioze). Prašina se taloži u plućima, što izaziva razne posljedice (fibroza, emfizem i sl.), subjektivne tegobe, gubitak radne sposobnosti i skraćanje života. Površinska eksploatacija je manje opasna zbog boljih uvjeta rada i manjeg broja zaposlenih.

Prijevoz ugljena također je znatan rizik za ljude, posebno u zemljama gdje je ugljen visoke kvalitete i pogodan za transport. U željezničkom prometu u SAD pogiba godišnje oko 200 ljudi pri nezgodama vezanim uz prijevoz ugljena, što je gotovo jednako broju poginulih pri eksploataciji ugljena.

U nas je prijevoz ugljena rijedak zbog njegove loše kvalitete, pa ni rizici vezani za njega nisu veliki.

Interes javnosti je redovito najviše vezan za utjecaje termoelektrane na okolinu. Izgaranjem ugljena nastaje niz štetnih tvari koje onečišćuju zrak, vodu i

tlo. Pažnja je tradicionalno usmjerena prema emitiranom pepelu, sumpornim i dušikovim oksidima, te problemima smještaja neizgorenih ostataka (šljaka i pepeo).

Ogrjevna vrijednost ugljena varira i iznosi 6–12 MJ/kg za lignit, do 24–28 MJ/kg ako se radi o kvalitetnim vrstama kamenog ugljena. Sadržaj sumpora varira obično od 0,5 % do 3 %, a ponekad i do 8 % pa i više (npr. ugljen iz raškog bazena u Istri). Izgaranjem sumpora stvara se dvostruka masa sumpordioksida, SO<sub>2</sub>, koji u atmosferi prelazi u sulfatnu grupu, SO<sub>4</sub>, intenzitetom od 0,2–3 % na sat. Budući da je poluživot SO<sub>2</sub> u atmosferi 5–30 sati, u prosjeku oko 20 % emitiranog SO<sub>2</sub> prelazi u SO<sub>4</sub>, koji se ispire kišom i tako smanjuje pH oborina, što mnogi dovode u vezu sa tzv. »kiselim kišama« i propadanjem šuma na nekim područjima.

Proizvedeni SO<sub>2</sub> je sam po sebi štetan za ljude. Štete su evidentirane pri višim koncentracijama. Nije međutim još usuglašeno mišljenje o tome da li su i niske koncentracije također opasne ili postoji neki prag ispod kojega opasnost ne postoji. Da se izbjegnu visoke koncentracije SO<sub>2</sub> u okolini elektrane, grade se visoki dimnjaci (200–300 pa i više metara) s brzinama dimnih plinova na izlasku iz dimnjaka višim od 20 m/s. Budući da je temperatura plinova na izlazu oko 140 °C, stvara se dodatno nadvišenje od nekoliko stotina metara. Disperzijom u atmosferi koncentracija SO<sub>2</sub> pada u području kontakta s tlom za 10<sup>4</sup> do 10<sup>6</sup> puta. Neposredna okolina tako biva zaštićena u većini meteoroloških situacija, a na većoj udaljenosti koncentracije SO<sub>2</sub> postaju vrlo niske i znatno ispod dozvoljenih vrijednosti.

Sadržaj SO<sub>4</sub>, međutim, raste s udaljenošću od elektrane i doseže relativni maksimum na daljini od nekoliko stotina pa i tisuća kilometara.

Zbog toga je s porastom broja i snaga termoelektrane porasla i prosječna količina sulfata u zraku. Tako su npr. početkom sedamdesetih godina na sjeveroistoku SAD ocijenjene prosječne količine sulfata (SO<sub>4</sub>) od oko 15 µg/m<sup>3</sup>, to je 5–7 puta iznad prirodnih vrijednosti. U Evropi je situacija slična iako ne postoje detaljna istraživanja. Godinama se, naime, sva pažnja usmjeravala prema SO<sub>2</sub>, pa sulfati u zraku nisu mjereni, a ni u regulativi ne postoje ograničenja vezana za SO<sub>4</sub>.

Kad se shvatilo da opasnost dolazi i od SO<sub>4</sub>, došlo je do bitnih promjena u regulativi. Prizemne koncentracije SO<sub>2</sub> (emisija) postaju sekundarne, a emisija SO<sub>2</sub> postaje ograničavajući faktor. S takvim pristupom visoki dimnjaci globalno gledajući više štete nego koriste jer omogućuju znatno dulje zadržavanje SO<sub>2</sub> u zraku i tako stvaranje većih količina SO<sub>4</sub>. Osim toga SO<sub>2</sub> u prizemnim slojevima, naročito posredstvom vegetacije i vodnih površina (tzv. suho taloženje), nestaje mnogo brže nego u višim slojevima atmosfere gdje je konverzija u SO<sub>4</sub> gotovo jedini mehanizam za uklanjanje SO<sub>2</sub> iz atmosfere.

Elektroenergetski objekti veće snage uvijek se grade s visokim dimnjakom. Lokalni utjecaj tih objekata na emisiju SO<sub>2</sub> je stoga zanemariv, barem ako se gleda relativni utjecaj u odnosu na manje izvore onečiš-

ćenja s niskim ispuštanjem dimnih plinova. Međutim, ako se promatra stvaranje sulfata u atmosferi, onda su termoelektrane njihov primarni uzročnik.

Zbog toga postoji sve čvršća spoznaja da je potrebno smanjiti emisiju SO<sub>2</sub>, pa se u posljednje vrijeme sve više termoelektrana u Evropi gradi s uređajima za odsumporavanje dimnih plinova koji snižavaju sadržaj SO<sub>2</sub> u dimnim plinovima za 60–90 %. Odsumporavanje dimnih plinova poskupljuje za oko 20 % cijenu proizvedene električne energije, a deponiranje nusproizvoda odsumporavanja (najčešće CaSO<sub>4</sub>) dodatni je problem.

Termoelektrana snage 1 000 MW na lignit, ogrjevne vrijednosti 7 MJ/kg, godišnjeg iskorištenja 6 000 sati i sa specifičnom potrošnjom topline 10–11 MJ/kWh treba godišnje 9–10 milijuna tona ugljena. Ako ugljen sadrži 1 % sumpora, proizvede se 180 000–200 000 tona SO<sub>2</sub> godišnje. Uz stupanj odsumporavanja od 80 % emisija SO<sub>2</sub> iznositi će 36 000–40 000 tona godišnje, a količina stvorenoga CaSO<sub>4</sub> više od 300 000 tona. Godišnje potrebe kalcija u obliku CaCO<sub>3</sub> iznose oko 280 000 tona. Ugljeni što sadrže mnogo kalcija mogu vezati dio SO<sub>2</sub> i bez uređaja za odsumporavanje.

U parnim kotlovima termoelektrane toplina se uglavnom prenosi zračenjem, a manje konvekcijom. Zbog toga su temperature plamena vrlo visoke. Radi osiguranja potpunog izgaranja potrebna je nešto veća količina kisika iznad stehiometrijskog minimuma. Pretičak kisika u navedenim termoelektrana na ugljen iznosi oko 3–4 %. Višak kisika uvjetuje stvaranje dušikova oksida, NO, a visoka temperatura (iznad 1 500 °C) stimulira daljnju oksidaciju u mnogo opasniji NO<sub>2</sub>. Stvoreni NO<sub>2</sub> je mnogo nestabilniji nego SO<sub>2</sub> i već za sat ili dva razlaže se na Sunčevoj svjetlosti u NO i ozon. Slično kao i u slučaju SO<sub>2</sub>, može se konstatirati da velika ložišta s visokim ispuštom ne predstavljaju problem s gledišta neposrednog utjecaja NO<sub>2</sub> na ljudsko zdravlje. Glavni problemi dolaze od prometnih vozila i niskih ložišta. Međutim stvaranje ozona je problem regionalnog i globalnog značaja, kao što je to problem sulfata u odnosu na SO<sub>2</sub>.

Tehnologije izgaranje ugljena u tzv. fluidiziranom sloju (fluidized bed combustion) zbog niže temperature izgaranja i bržeg prijenosa topline na radni medij gotovo da ne proizvode NO<sub>x</sub>, a emisija SO<sub>2</sub> smanjuje se na vrlo prihvatljive vrijednosti. Zasada su ove tehnologije uspješne za manja ložišta.

Osim oksida sumpora i dušika problem za okolinu predstavlja i ispuštanje lebdećih čestica i dima. Ugljen sadrži 10 % – 30 % negorivih tvari (pepela), a budući da moderne termoelektrane redovito u procesu izgaranja upotrebljavaju fino samljevenu ugljenu prašinu, nakon izgaranja je pepeo mikronskih dimenzija. Visoka temperatura izgaranja uvjetuje daljnje razbijanje čestica u fini submikrometarski prah. Ovisno o sastavu pepela dio čestica se aglomerira u veće čestice i tvori šljaku (15–30 %), ali je veći dio u situaciji da bude ispušten u atmosferu.

Moderne termoelektrane upotrebljavaju za smanjenje ispuštanje pepela u atmosferu elektrostatičke fil-

tre koji uspiju zadržati i do 99,5 % pepela. Efikasnost elektrostatičkih filtara ovisi o kvaliteti ugljena, temperaturi dimnih plinova, njihovoj starosti itd. tako da je prosječna efikasnost u radu kroz dulje razdoblje obično niža od deklarirane. Ugljeni s niskim sadržajem sumpora dovode obično do većih problema u radu tih filtara nego oni s višim sadržajem sumpora. U SAD je u 1972. god. izmjereno prosječno ispuštanje pepela iz 696 glavnih termoelektrana od 8 %. Trenutno su, međutim, na snazi standardi koji dozvoljavaju emisiju od  $1,4 \cdot 10^6$  kg pepela godišnje iz elektrane od 1 000 MW, što za američki ugljen iznosi oko 1 % od ukupnog pepela. U SR Njemačkoj emisija prašine je ograničena na  $100 \text{ mg/m}^3$  dimnih plinova, a u nekim slučajevima propisane su i niže vrijednosti ( $50 \text{ mg/m}^3$ ). U Italiji je, prema podacima iz 1980. god., prosječna emisija pepela iznosila 5 %, u Poljskoj 20 % (1980), a u Indiji 10 % (1980).

Drugi problem vezan za elektrostatičke filtre jest što oni propuštaju najmanje frakcije (manje od nekoliko mikrona), a upravo takve čestice su najopasnije za ljudsko zdravlje jer penetriraju najdublje u plućno tkivo, a osim toga zbog male brzine taloženja dopiru najdalje u okolinu.

Istraživanja su pokazala da koncentracija toksičnih elemenata što se nalaze u ugljenu, kao što su npr. olovo, mangan, krom, talij, kadmij, arsen, nikal i sumpor, raste sa smanjenjem čestice pepela. To je i shvatljivo jer kondenzacija hlapivih tvari ovisi o površini čestice, a ne o njezinoj masi. Isto tako, kad čestica pepela dospije u pluća, štetnost za ljudsko zdravlje je razmjerna njezinoj površini, a ne njezinoj masi.

Ako bi prosječna veličina čestica ispuštenih u okolinu bila  $1 \mu\text{m}$ , a onih zadržanih  $30 \mu\text{m}$ , tada 0,5 % ispuštenih čestica sudjeluje u površini s 15 %. Budući da se čestice veće od  $10 - 15 \mu\text{m}$  pri disanju gotovo u potpunosti zadržavaju u području glave i ne dospjevaju u pluća, a za čestice veličine  $0,1 - 5 \mu\text{m}$  taloženje u plućima pri disanju iznosi oko 20 %, te budući da se krupnije čestice znatno brže talože u okolini pa ne dospjevaju daleko od ispusta, lako je zaključiti da najkvalitetniji elektrostatički filtri ustvari pomažu mnogo manje negoli se to čini na prvi pogled, jer najefikasnije uklanjanje one čestice koje i nisu baš opasne za ljudsko zdravlje. Ipak, elektrostatički filtri su važno sredstvo za zaštitu kvalitete zraka naročito u neposrednoj okolini elektrane.

Nedostaci elektrostatičkih filtara mogu se eliminirati upotrebom tzv. vrećastih filtara čija efikasnost može biti gotovo 100 % za čestice veće od  $1 \mu\text{m}$ . Oni s lakoćom održavaju sadržaj krutih čestica u dimnim plinovima na  $50 \text{ mg/m}^3$ . Nažalost, takvi filtri se slabo probijaju na tržištu, posebno ako se radi o većim objektima. Razlog tome je njihova osjetljivost u radu, posebno osjetljivost na vlagu. Često se trgaju, a pad tlaka je vrlo visok, pa zahtijevaju snažne ventilatore, što opet zahtijeva posebnu izvedbu dimnjaka itd. Ipak, ako kriteriji ispuštanja krutih čestica postanu stroži od sadašnjih upotreba vrećastih filtara, postat će nužnost, posebno tamo gdje se veliki kapaciteti termoelektrana moraju locirati u gusto naseljenim područjima.

Znatno smanjenje krutih čestica u dimnim plinovima postiže se u sklopu vlažnog postupka odsumporavanja dimnih plinova. U prosjeku se na taj način uklanja oko 50 % krutih čestica što prođu kroz elektrostatičke filtre. Doduše, taj dio pepela tada onečišćuje nusproizvod odsumporavanja (najčešće gips,  $\text{CaSO}_4$ ), pa može doći do ograničenja u upotrebi toga nusproizvoda.

U ugljenu se nalaze i mnogi elementi, doduše u malim količinama, ali oni najopasniji su hlapivi na temperaturama u ložištu i većim dijelom bivaju ispušteni u okolinu. Tamo se vežu na čestice pepela i stvaraju opasne jezgre koje disanjem mogu biti unesene u organizam, a sitnije čestice stižu i u najdublje dijelove pluća. Procjenjuje se da je izgaranje fosilnih goriva uzrok za 50 % žive (Hg) u okolini. Prema podacima iz 1974. u SAD je 1973. g. emitirano u atmosferu oko 1 000 tona berilija, vrlo toksičnog elementa čiji efekti još nisu u potpunosti ni istraženi. Naravno, spektrokemijske ili slične analize ugljena i emitiranog pepela mogu dati odgovor o emisiji pojedinog elementa. Međutim opasnost i rizik od malih koncentracija tih tvari nisu dovoljno proučeni i nije moguće dati jednu kvantitativnu analizu opasnosti. Uostalom ni utjecaj  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , sulfata i sl. na ljudsko zdravlje nije detaljno proučen pa su zbog toga česta neargumentirana i proizvoljna precjenjivanja ili potcjenjivanja tog utjecaja.

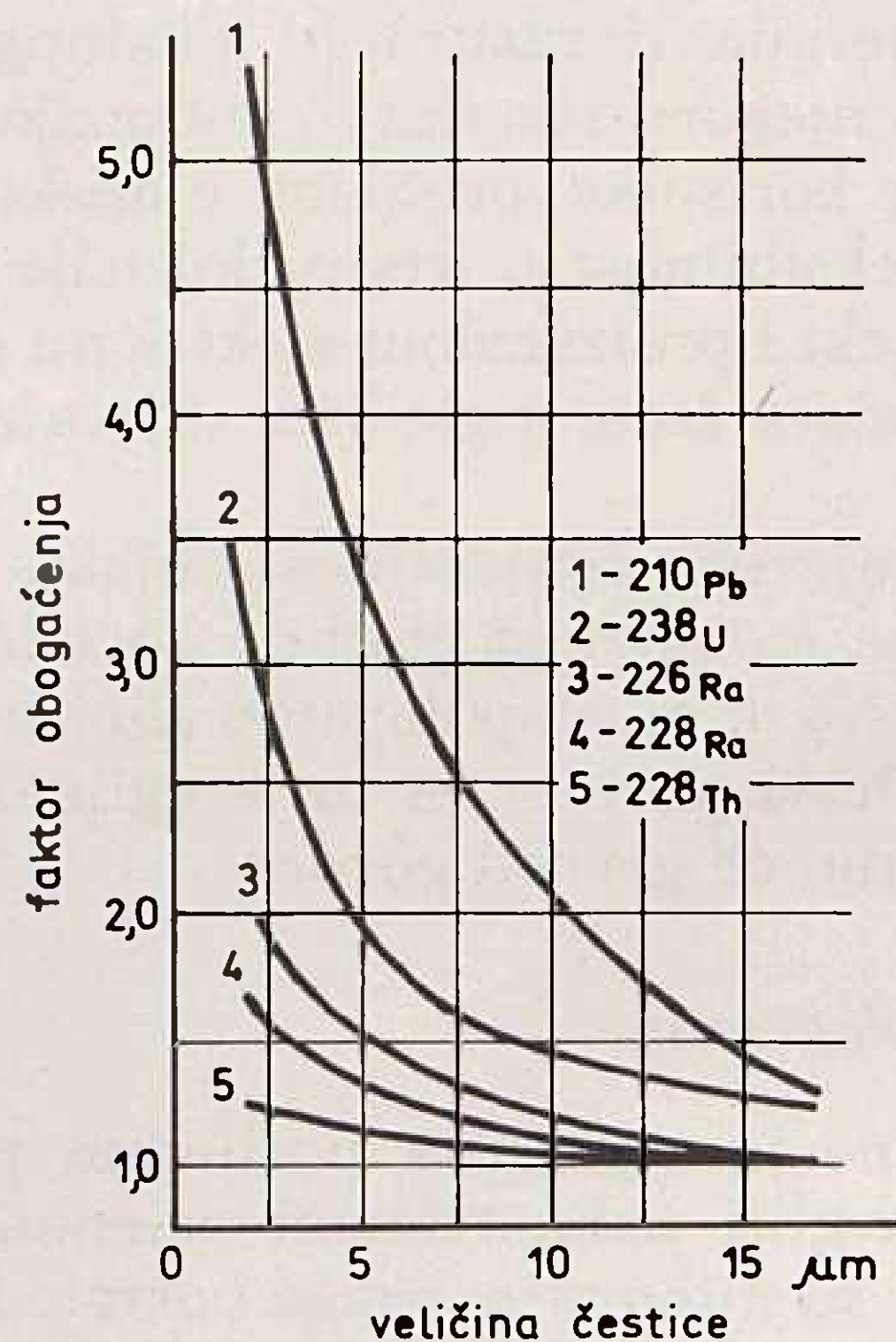
Ugljen sadrži između ostaloga i radioaktivne elemente iz uranova i torijeva niza. U prosjeku ugljeni sadrže 1 ppm (jedan dio od milijun dijelova) uranija i 3ppm torija. Kad bi se uranij i torij iz ugljena ili pepela mogli izdvojiti uz povoljne ekonomske uvjete i upotrijebiti u nuklearnom reaktoru proizvelo bi se desetak puta više energije nego što se dobije izgaranjem ugljena! Naročito su opasni izotopi Pb-220 i Po-210, te radij (Ra-226 i Ra-224). Opasan je i plin radon (Rn-220 i Rn-222), ne toliko onaj emitirani kroz dimnjak (zbog kratkog poluživota) već onaj koji je emitiran s deponije ugljena, te pepela i šljake.

Specifična radioaktivnost pepela je 5 – 200 puta veća nego ugljena od kojeg je nastao (tabl. 1). Pritom pepeo lignita ima nekoliko puta manju specifičnu aktivnost nego pepeo kamenog ugljena za izotope Th-232, U-238 i Ra-226, a 10 – 20 puta manju za Pb-210 i Po-210. Međutim, za istu snagu elektrane izgaranjem lignita se proizvede 3 – 4 puta više pepela, pa ukupna aktivnost za danu snagu nije pri upotrebi lignita bitno manja.

Tablica 1. Mjerene vrijednosti specifične aktivnosti u ugljenu i pepelu emitiranom u atmosferu za termoelektranu na lignit i na kameni ugljen (Bq/kg), Ref. 48.

Radionuklid	Kameni ugljen		Lignit	
	ugljen	pepeo	ugljen	pepeo
Th – 232	19	110	7,0	35
U – 238	23	280	14,0	105
Ra – 226	18	250	10,5	60
Pb – 210	21	2 200	11,5	170
Po – 210	21	5 000	11,0	220

Istraživanja su također pokazala da sitnije frakcije pepela imaju veću specifičnu aktivnost nego krupnije frakcije (usp. sl. 1), pa zbog toga pepeo emitiran iz elektrane ima nekoliko puta veću specifičnu aktivnost od onoga koji nije emitiran kroz dimnjak. Pritom su U-238 i Pb-210 osobito koncentrirani u manjim česticama.



Slika 1. Obogaćivanje pepela radionuklidima ovisno o veličini čestice

Ukupni utjecaj na zdravlje ipak je izuzetno malen, naročito u usporedbi s efektima ostalih štetnih elemenata u emisiji iz termoelektrane na ugljen, ali je i takav komparabilan, a za neke ugljene i veći od opasnosti nuklearnog gorivog ciklusa za istu električnu snagu. Posebno je opasan radij, koji se taloži u kostima i za istu snagu elektrane stvara desetak puta veću dozu zračenja ako se radi o termoelektrani na ugljen nego ako se radi o nuklearnoj elektrani PWR ili BWR tipa (usp. tab. 2, prema Ref. 48., za ugljen s 1 ppm urana i sa 2 ppm torija, te uz emisiju pepela od 1 %, lokacija srednji zapad SAD).

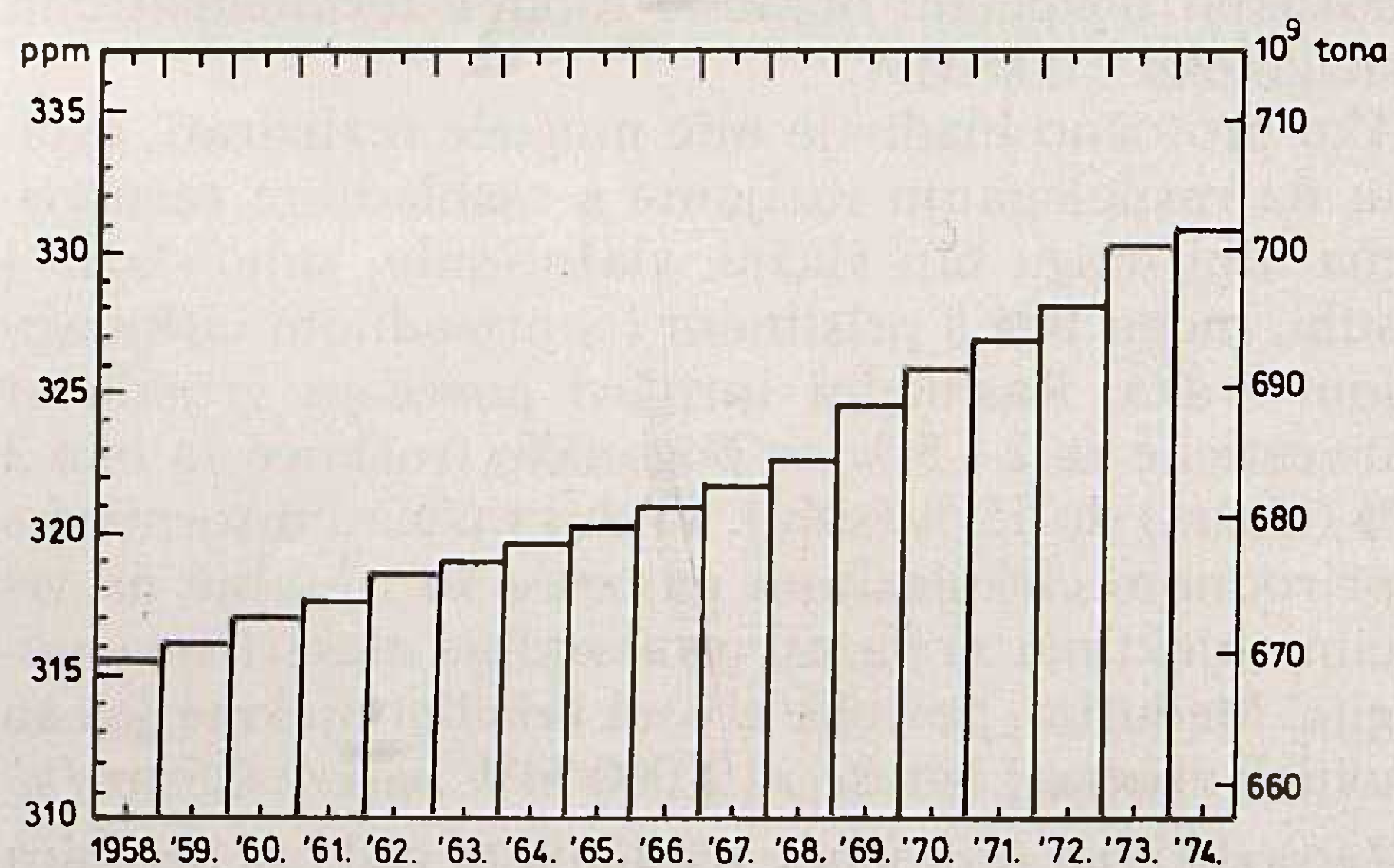
Tablica 2. Integrirana doza zračenja u 50 godina (čovjek-Sv./god.) za pojedine organe u području 80 km oko elektrane snage 1 000 MW

Organ	Visina dimnjaka (TE na ugljen)				Nuklearne elektrane	
	50	100	200	300	BWR	PWR
cijelo tijelo	0,23	0,21	0,19	0,18	0,13	0,13
kosti	2,49	2,25	1,92	1,80	0,21	0,20
pluća	0,34	0,29	0,23	0,21	0,08	0,09
štitnjača	0,23	0,21	0,19	0,18	0,37	0,12
bubrezi	0,55	0,50	0,43	0,41	0,08	0,09
jetra	0,32	0,29	0,26	0,25	0,09	0,10
slezena	0,37	0,34	0,31	0,29	0,08	0,08

U posljednje vrijeme posebna pažnja se poklanja polcikličnim aromatskim ugljikovodicima koji se pojavljuju kao čestice, a posljedica su nepotpunog izgaranja fosilnih goriva zbog dokazanih karcinogenih svojstava. U dimnim plinovima identificirani su neki od ovih spojeva, ali se ponegdje mjeri jedino benzo- $\alpha$ -piren, koji se obično smatra indikatorom i za osta-

le. Ipak, može se reći da su termoelektrane gotovo beznačajan proizvođač tih spojeva. Ručno ložena kućna ložišta na ugljen ili drvo te nekontrolirana izgaranja u prirodi proizvode po toni goriva nekoliko tisuća puta više benzo- $\alpha$ -pirena od termoelektrane na ugljen.

Termoelektrana na ugljen, kao uostalom i svi energetski objekti koji upotrebljavaju fosilno gorivo, proizvodi i velike količine ugljik-dioksida, CO<sub>2</sub>. S lokalnog i regionalnog aspekta problem nije značajan, jer CO<sub>2</sub> ne ugrožava ljudsko zdravlje ni okolinu. U globalnim razmjerima izgaranje fosilnih goriva dovodi do postepenog porasta sadržaja CO<sub>2</sub> u atmosferi. Razne analize su pokazale da sadržaj CO<sub>2</sub> u atmosferi raste po godišnjoj stopi od oko 1 ppm (sl. 2, prema Ref. 48). U dogledno vrijeme to može dovesti do globalnih promjena klime budući da je CO<sub>2</sub> važan regulator toplinske bilance Zemlje, jer propušta kratkovalno zračenje Sunca, a istovremeno zadržava dio zračenja Zemlje na dugovalnom (infracrvenom) području. Porast temperature zbog porasta sadržaja CO<sub>2</sub> u atmosferi može dovesti do opasnih promjena na Zemlji, pa se u budućnosti mogu očekivati ograničenja upotreba fosilnih goriva i zbog tih problema.



Slika 2. Porast količine CO<sub>2</sub> u atmosferi u periodu 1958/74.

Poseban problem vezan za termoelektrane na ugljen jesu deponiji šljake i pepela. Nakon izgaranja ugljena pepeo i šljaku je potrebno negdje odložiti i time se zauzimaju velike površine terena, moguće su emisije u zrak, te ispiranjem u površinske i podzemne vode. U pepelu se nalaze znatno koncentrirani svi nepoželjni sastojci ugljena često u obliku topljivih i kemijski aktivnih spojeva, pa su deponiji pepela uvijek znatno opasniji za okolinu od samog ugljena. Problemi se mogu smanjiti nizom postupaka, a nekad se pepeo može i dijelom upotrijebiti u proizvodnji cementa ili za slične namjene, ali je problem u potpunosti teško riješiti. Termoelektrana snage 1 000 MW koja upotrebljava lignit sa 7 MJ/kg i ima životni vijek od 120 000 sati proizvest će oko 30 milijuna tona pepela i šljake i tako zauzeti površinu od nekoliko stotina hektara.

Rad termoelektrane povezan je i s odvođenjem velike količine topline u okolinu. Oko 10 % odlazi s dimnim plinovima, nekoliko postotaka izravnim zračenjem, a preko 50 % putem rashladnog sistema. Ras-

hladni se sistem može realizirati kao protočni, te s rashladnim tornjevima.

Protočni sistem hlađenja zahtijeva velike količine vode koja na sebe prima otpadnu toplinu. Količina vode za protočno hlađenje može se izračunati prema približnoj formuli  $G = N/3 \cdot T_k$  gdje je  $N$  (MW) snaga elektrane na generatoru, a  $T_k$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) porast temperature rashladne vode u kondenzatoru turbine. Budući da je  $T_k$  obično 6 do 14  $^{\circ}\text{C}$ , količina rashladne vode za termoelektranu od 1 000 MW iznosi između 24 i 55  $\text{m}^3/\text{s}$ . Tu golemu količinu vode mogu osigurati samo velike rijeke i jezera ili more.

Pri prolasku rashladne vode kroz crpaljke i kondenzator dolazi do mehaničkih udara i toplinskih šokova, a ako se dodaju biocidi zbog sprečavanja obraštaja na cijevima kondenzatora, dolazi i do kemijskih šokova, što uništava 30–90 % organizama u rashladnoj vodi. Otpadna toplina može, osim toga, proizvesti nepoželjne efekte u vodotoku (povećavanje razgradnje organske mase s pomoću mikroorganizama i time snižavanje sadržaja otopljenog kisika, zagrijavanje podzemnih voda i sl.), zbog čega se zagrijavanje vodotoka ograničava na 2–3  $^{\circ}\text{C}$ . Uz takve pretpostavke potrebno je 10–15  $\text{km}^2$  vodene površine za efikasnu disipaciju otpadne topline termoelektrane snage oko 1 000 MW.

Ako protočno hlađenje nije moguće realizirati, ostaju na raspolaganju varijante s rashladnim tornjevima. Oni mogu biti vlažni, vlažno-suhi, suho-vlažni i suhi, mogu biti s prisilnom i s prirodnom cirkulacijom zraka. Rashladni tornjevi povećaju vrijednost investicije za 2–5 %, te pogonske troškove za oko 3 % (vlažni) do 15 % (suhi). Vlažni rashladni tornjevi s prirodnom cirkulacijom najčešće su rješenje na većim objektima za baznu proizvodnju električne energije. Međutim, potrebe u vodi takvih objekata još su uvijek znatne i iznose za 1 000 MW barem 0,5  $\text{m}^3/\text{s}$ .

Za razliku od protočnog hlađenja ta voda se ne vraća u vodotok, nego ishlapljivanjem odlazi u atmosferu. Elektranu od 1 000 MW tada djeluje kao potrošač oko 8–10 milijuna  $\text{m}^3$  vode godišnje. Ako ta voda nije raspoloživa, ostaju varijante s polusuhim ili suhim sistemima koje su, općenito gledajući, ekonomski neracionalne.

Rashladni tornjevi također utječu na okolinu, posebno ako se radi o termoelektrani velike snage (više tisuća megavata). Lokalna mikroklimatska slika pogoršava se, a i neki sinergistički efekti perjanice rashladnih tornjeva i emitiranih dimnih plinova mogu biti vrlo nepovoljni.

Postoje i sekundarni efekti što su bitni za opću ocjenu utjecaja elektroenergetskih objekata na okolinu. Jedan od osnovnih vezan je za fleksibilnost izbora lokacije termoelektrane i pripadne infrastrukture. Ako se radi o termoelektrani na lignit, fleksibilnost izbora lokacije vrlo je mala. Rudnik ugljena i svi pripadni sadržaji izravno su vezani za područje ugljenog bazena. Termoelektrana na lignit (ogrjevna vrijednost do oko 12 MJ/kg) također je nužno vezana za ležišta ugljena jer je transport lignita ekonomski neprihvatljiv. Čak je i transport ugljena nešto bolje kvalitete (12–15 MJ/kg) neprihvatljiv ako se radi o

većim udaljenostima. Jedino je transport kamenog ugljena ( $H_d > 20 \text{ MJ/kg}$ ) ekonomski opravdan za većinu potencijalnih lokacija.

Vežanost rudnika i termoelektrane s pripadnom infrastrukturom za usko područje ugljenog bazena do vodi do niza nepoželjnih efekata (koncentracija velikih snaga na malom području, problemi prijenosa električne energije, devastiranje lokalnog područja bez obzira na njegovu stvarnu ili potencijalnu vrijednost za druge korisnike, problemi u opskrbi vodom, itd.). Mala fleksibilnost u izboru lokacije uvijek skuplja objekt i proizvedenu električnu energiju, a također povećava štete s gledišta utjecaja na okolinu.

U nekim slučajevima rentabilnost objekta može toliko pasti da se mogućnost gradnje dovede u pitanje unatoč tome što je na raspolaganju adekvatna količina ugljena. Pravi primjer za to je ugljeni bazen na Kosovu, o čemu će još biti govora.

### 2.3.2. Hidroelektrane

Hidroelektrane je s gledišta posljedica po okolinu najteže obuhvatiti jedinstvenom ocjenom naročito zbog toga jer su njihov tip, snaga i ostale karakteristike bitno ovisni o značajkama vodotoka na kojem su izgrađene. Fleksibilnost u izboru lokacije je minimalna, a i snaga može varirati u sasvim uskim granicama. Zbog toga razlozi zaštite okoline mogu eliminirati jedan dio planiranih kapaciteta usprkos vrlo povoljnim hidrološkim karakteristikama vodotoka s gledišta proizvodnje električne energije.

Velika je prednost hidroelektrana što ne emitiraju pri radu nikakve štetne tvari ni otpadnu toplinu. Njihova emisije jednaka je nuli. Međutim, uzimajući energiju iz vodotoka one ne mogu a da ne uzrokuju energetske, a time i hidrauličke i hidrološke poremećaje u užoj ili široj okolini, koji pak lančano generiraju ekološke promjene manjih ili većih razmjera što se, s manjim ili većim posljedicama, ovisno o lokaciji i tipu elektrane očituju uglavnom u sljedećem:

- promjeni polja brzine strujanja
- promjeni erozijskih karakteristika, karakteristika prijenosa i količina vučenog i suspendiranog nana
- promjeni temperature vode zbog hidroloških promjena
- promjeni u sadržaju u vodi otopljenog kisika i općenito kvalitete vode
- promjeni režima podzemnih voda (povišenje ili sniženje razine), a s tim u vezi i promjene njihovih dinamičkih karakteristika
- utjecaju na ekosisteme u vodi i šire itd.

Posljedice za okolinu mogu nastupiti i pri izgradnji zbog radova na relativno velikom području (izgradnja odvodnih kanala, operacije čišćenja korita ili dijelova korita, uništavanje priobalne vegetacije, modifikacije korita itd.).

Poseban aspekt vezan za hidroelektrane, a odnosi se na sigurnost ljudi i dobara u nizvodnom dijelu, jest moguće pucanje brane. Pucanje visokih brana poznate su pojave u svijetu i redovito su povezana s ljud-



skim žrtvama i s velikom materijalnom štetom. U sistemu s više brana na jednoj rijeci pucanje jedne može lančano ugroziti ostale. Uz veće akumulacije povezuje se efekt tzv. induciranog potresa, pojave koja još nije dokraja objašnjena, ali može stvoriti vrlo opasne posljedice.

Pri koncipiranju hidroelektrane osobito je važno razmotriti i utjecaj na upotrebu terena. Hidroelektrane su gotovo uvijek povezane sa stvaranjem manje ili veće akumulacije vode, čime se bitno i dugoročno ograničava upotreba terena koji je potopljen. Uglavnom su ugrožene doline rijeka, većinom plodna tla nerijetko relativno gusto naseljena. Ugrožena je i sva postojeća privredna i prometna infrastruktura, prirodne ljepote, povijesno i arheološko blago, lovišta, šume, biljne i životinjske vrste. Ugrožena je ili barem znatno otežana buduća eksploatacija poznatih ili nepoznatih korisnih sadržaja Zemljine kore na poplavljenom području itd.

Svi navedeni utjecaji ne moraju nužno i u svakom slučaju biti negativni, a nekad su mogući i pozitivni efekti (regulacija vodotoka, povećanje plovnosti, natapanje, rekreacija i sl.). Pozitivni efekti se mogu najbolje realizirati ako se razredi koncepcija cijelog vodotoka. To, međutim, može zahtijevati i neke radove koji sami za sebe ne bi bili ekonomski ni ekološki opravdani. Naprimjer, velike varijacije protoka i vodostaja nizvodno od brane uzrokovat će povećanu eroziju korita i obale rijeke i smanjiti sigurnost opskrbe nizvodnih korisnika vode. To se može eliminirati izgradnjom nizvodne akumulacije (hidroelektrane) dovoljnog volumena da kompenzira varijabilnost protoka uzvodne hidroelektrane. Nova akumulacija nije zbog toga projektirana s optimalnim parametrima za energetska upotrebu, odakle slijedi određena ekonomska šteta.

S druge strane ako je vodotok idejno riješen, a dio radova izveden, odustajanje od bilo koje aktivnosti u budućnosti obezvređuje cijeli projekt.

### 2.3.3. Nuklearne elektrane

Nuklearne elektrane su od početka bile koncipirane da maksimalno zaštite okolinu i ljude od mogućih radioloških i drugih posljedica. Utjecaj zračenja na ljude i biosferu, kritični putovi širenja radionuklida, faktori koncentracije i bioakumulacije, te posebno odnos između primljene doze i posljedica istraženi su znatno bolje i potpunije od sličnih problema vezanih za kemijski i biološki aktivne tvari što se emitiraju u biosferu iz konvekcionalnih elektrana i sličnih industrijskih objekata.

To je omogućilo razvoj vrlo precizne i stroge regulative koja je bazirana na egzaktnim pokazateljima, a ne na spekulacijama. Regulativa iz područja zaštite od zračenja gotovo je od početka razvoja nuklearne energetike prihvatila hipotezu da su štete od zračenja za ljudski organizam proporcionalne primljenoj dozi bez postojanja »praga osjetljivosti« ispod koje ga opasnost ne postoji. Svaka, pa i najmanja doza zračenja opasna je i treba je izbjegavati ako je to moguće i racionalno sa socijalnog i ekonomskog staja-

lišta. Takav princip je dao jednostavnu mogućnost da se opasnost od posljedica zračenja procijeni na osnovi ukupne populacijske doze koja se dobiva zbrajanjem doza pojedinih članova populacije.

Pojednostavljeno, to implicira da su ukupne štetne posljedice jednake ako npr. 1 000 000 ljudi primi pojedinačnu dozu od  $10^{-5}$  Sv ili ako jedan čovjek primi dozu zračenja od 10 Sv. Doza od  $10^{-5}$  Sv ne proizvodi nikakve akutne efekte. To je doza 50 puta manja od dobivene prilikom fluorografskog snimanja pluća.

Nasuprot tome doza od 10 Sv dovodi uglavnom do smrti. S medicinskog stajališta i s gledišta javnosti štetne posljedice u navedenom primjeru nisu ni približno iste. Zbog toga nastaju problemi ako se populacijska doza pretvori u smrtne slučajeve iako nije bilo akutnih posljedica ni kod jednog pojedinca. Nepovoljne asocijacije u javnosti su tada neizbježne i rizik se ne prihvaća, iako je on s obzirom na ukupnu populaciju beznačajan. To je glavno ishodište antagonističkih raspoloženja javnosti prema nuklearnim elektranama.

Međutim, usporedba utjecaja na okolinu raznih objekata s pomoću analize rizika neizbježna je i prenosi se posljednjih godina i na konvencionalne objekte, što implicira uvođenje linearne hipoteze u odnos uzroka i posljedice i na područje konvencionalnih otpadnih tvari. Rezultati takvih analiza su katastrofalni za konvencionalne objekte. Emisije malih količina otrovnih tvari, teških metala, pesticida, detergenata, fotooksidanata i sl., dotada zanemarivane kao nebitne, postaju važni sudionici u ukupnom riziku.

Nova tehnološka rješenja postaju neizbježna, a zahtjevi regulative se bitno pooštravaju. Tako metode i principi usvojeni u razvoju nuklearne energetike postaju sve više univerzalni alat za sve probleme zaštite okoline i ljudskog zdravlja.

Nuklearne elektrane trenutno ipak izazivaju između svih elektroenergetskih i drugih privrednih objekata najveću pažnju javnosti, bez obzira na to što nema racionalnog razloga da se bojimo nuklearne nezgode više nego neke s drugim uzrokom i usprkos nepobitnim činjenicama da je rizik za pojedinca i za populaciju od nuklearnih elektrana znatno manji nego od mnogih drugih objekata u ljudskoj okolini i od najtežih prirodnih katastrofa.

Kao primjer dan je u tabl. 3. i u tabl. 4. prikaz rizika od raznih energetskih objekata prema jednoj kanadskoj analizi.

Tablica 3. Izgubljeni životi radnog osoblja na 1 000 MW godišnje

Energetski sistem	Izgubljeni životi
metanol	16 – 17
solarni (grijanje)	5 – 7
ugljen	2 – 7
vjetar	4 – 5
solarni (fotonaponski)	2 – 3
hidroelektrane	1,4 – 2,2
ulje (nafta)	0,3 – 1,8
nuklearni (CANDU)	0,4 – 1,3
prirodni plin (bez S)	0,15 – 0,45

**Tablica 4. Izgubljeni životi izvan radnog procesa na 1 000 MW godišnje**

Energetski sistem	Izgubljeni životi
ugljen	20–60
ulje (nafta)	6–20
solarni (fotonaponski)	1,2–4
solarni (grijenje)	0,6–1,3
vjetar	0,6–1,2
metanol	0,2–0,7
hidroelektrane	1–1,1
nuklearni (CANDU)	0,07–0,5
prirodni plin (bez S)	0,01–0,02

Značajna prednost nuklearnih elektrana jest u velikoj fleksibilnosti pri izboru lokacije. Ona može biti locirana tisuće kilometara daleko od rudnika urana ili od bilo kojeg drugoga objekta iz ciklusa nuklearnog goriva. Bez obzira na to što su kriteriji izbora lokacije sa sigurnosnog aspekta izuzetno rigorozni uglavnom se u svakom području može pronaći lokacija što zadovoljava sve sigurnosne zahtjeve.

Osim sigurnosnih zahtjeva koje mora ispuniti lokacija, egzistencijalne potrebe nuklearne elektrane od oko 1 000 MW su sljedeće:

- oko 25 tona nuklearnog goriva godišnje
- oko 18 000 000 m<sup>3</sup> vode godišnje, od čega se oko 13 000 000 m<sup>3</sup> troši nepovratno u rashladnim tornjevima ako se oni upotrebljavaju
- oko 40 m<sup>3</sup>/s rashladne vode što se vraća u recipient (ako se ne upotrebljavaju rashladni tornjevi nego protočni sistem hlađenja)
- oko 0,3 km<sup>2</sup> terena za objekte elektrane
- oko 600 kvalificiranih ljudi u pogonu, dio s posebnim licencama.

Elektrana emitira u okolinu oko 2 000 MJ/s otpadne topline uglavnom u vodotok (ako se koristi protočni sistem hlađenja ili u atmosferu ako se koriste rashladni tornjevi) i male količine radioaktivnih tvari, koje u prosjeku za PWR elektranu snage 1 000 MW uključujući i različite neregularnosti u radu iznose kako je dano u nastavku.

#### a) Plemeniti plinovi (generirani fisijom)

Analiza je napravljena za 54 PWR reaktora iz različitih zemalja za razdoblje 1975–1979, (Ref. 44). Dobiivena je prosječna emisija plemenitih plinova od 430 TBq/GW god. (oko 11 600 Ci/GW god.). Najveći dio aktivnosti, otprilike 85 %, otpada na ksenon — 133 (poluraspad 5,3 dana), a sa po oko 5 % zastupljeni su ksenon — 133 (T<sub>1/2</sub>=9,2 sati) i kripton — (T<sub>1/2</sub>=10,7) god.). Još 4 % otpada na druge izotope ksenona, a preostalih oko 1 % na izotope kriptonu i argona.

Kod tešk vodnih reaktora (9 jedinica, 8 kanadskih i jedna argentinska) ustanovljen je prosjek od 460 TBq/Gw god. (oko 12 400 Ci/GW god.), dakle slično kao kod PWR-reaktora.

#### b) Tricij

Veći dio tricija kod PWR reaktora proizvod je fisije, a samo manji dio je proizvod aktivacije, naročito izo-

topa litija i bora koji se nalaze u kontaktu s vodom primarnog kruga. U razdoblju 1975–1979. za 39 reaktora u Evropi i SAD ustanovljena je prosječna emisija tricija u plinovitim efluentima od 7,8 TBq/GW god. (oko 210 Ci/GW god.).

Tricij je zastupljen i u tekućim efluentima i registrirano je prosječno 38 TBq/GW god (1 030 Ci/GW god.) kod PWR-a, te 350 TBq/GW god. (9 500 Ci/GW god.) kod tešk vodnih reaktora.

#### c) Izotopi joda

Izotopi joda isključivo su proizvod fisije. U procjeni radioaktivne kontaminacije okoline od interesa su sljedeći izotopi: I–129 (T<sub>1/2</sub>=16·10<sup>6</sup> god.), I–131 (T<sub>1/2</sub>=8,04 dana), I–132 (T<sub>1/2</sub>=2,3 h), I–133 (T<sub>1/2</sub>=21 h), I–134 (T<sub>1/2</sub>=53 minute) i I–135 (T<sub>1/2</sub>=6,6 h). Naročita se pažnja posvećuje jodu–131 zbog njegove mobilnosti u okolišu i brze akumulacije u štitnjači. U novije vrijeme jod–129 se mnogo istraživao zbog njegova dugog života iako ga u efluentima iz nuklearnih elektrana gotovo i nema, za razliku od efluenta iz postrojenja za preradu istrošenog goriva.

Za razdoblje 1974–1979. ustanovljeno je u plinovitim efluentima PWR elektrana u prosjeku 5 GBq/GW god. (0,13 Ci/GW god.) izotopa joda, a kod HWR elektrana (podaci samo za elektranu Atucha) 3,1 GBq/GW god. (0,08 Ci/GW god.).

#### d) Ugljik–14

Ovaj izotop je u posljednje vrijeme izazvao veću pažnju zbog svojeg dugog života (5 730 godina) i velike mobilnosti u okolišu.

Zasada postoje vrlo oskudni podaci o emisiji C–14, i to uglavnom iz njemačkih izvora. Prosjeci iznose oko 200 GBq/GW god. (5,5 Ci/GW god.) za PWR. Za HWR reaktore emisija C–14 procjenjuje se na 10TBq/GW god. (270 Ci/GW god.).

#### e) Čestice u plinovitim efluentima

Budući da porijeklo čestica može biti raznoliko, uprosječivanje rezultata daje vrlo malo informacija. Čak nekoliko desetaka radionuklida može se disponirati u okolinu na ovaj način, pri čemu nijedan od njih obično ne dominira. Za PWR prosjek iznosi 2,2 GBq/god. (0,06 Ci/GW god.), a kod HWR-a oko GBq/GW (0,02 Ci/GW god.).

#### f) Aktivnost tekućih efluenta (isključujući tricij)

Izvori radionuklida u tekućim efluentima uglavnom su isti kao i za čestice u plinovitim efluentima. Količina i sastav radionuklida koji se ispuštaju u okolinu ovisi o tipu i izvedbi reaktora, čistoći rashladnog medija, te sastavu materijala košuljice goriva i drugih struktura reaktora.

Za razdoblje 1975–1979. konstatiran je prosjek od 180 GBq/GW god. (4,86 Ci/GW god.) za PWR i 470 GBq/GW god. (12,7 Ci/GW god.) za elektranu Atucha, a za kanadske elektrane desetak puta manje.

Izotopski sastav pokazuje da između tridesetak izotopa dominiraju izotopi cezija, kobalta, te joda, kroma i mangana.

Dakako, poznavanje emisije radionuklida samo je nužan, ali ne i dovoljan korak u procjeni utjecaja zračenja na ljude u okolini, odnosno u procjeni populacijske i individualne doze zračenja. Izlaskom iz elektrane radionuklidi predstavljaju potencijalnu opasnost, a stvarnu opasnost ako dođu u neposrednu blizinu čovjeka, odnosno ljudi u okolini. To se može dogoditi na razne načine, pa se govori o različitim putovima ozračenja. Neki od tih putova posebno su značajni jer putem njih radioaktivni izotopi vrlo brzo stižu do čovjeka. To su tzv. kritični putovi. Naravno, kritični putovi ovise o karakteristikama na svakoj pojedinoj lokaciji, naročito o karakteristikama naseljenosti i prehrane stanovništva, biološko-ekološkim karakteristikama, meteorološkim, hidrološkim, hidrografskim i topografskim značajkama itd. Neki od kritičnih putova značajni su, čini se, u svim slučajevima, a to su sljedeći:

a) Putovi kroz atmosferu:

1. uranjanje u radioaktivni oblak,
2. izlaganje kontaminiranoj površini tla,
3. udisanje radionuklida iz zraka,
4. konzumiranje namirnica s akumuliranim radionuklidima donesenim atmosferskim putem

b) Putovi kroz vodu:

1. aktivnosti u vodi i na vodi (plivanje, veslanje, itd.),
2. izlaganje kontaminiranoj površini obala vodotoka,
3. upotreba vode, kontaminirane radionuklidima, za piće,
4. konzumiranje vodnih organizama,
5. konzumiranje mesa i mlijeka ako je stoka pila vodu ili pasla travu koja je zalijevana kontaminiranom vodom, te konzumiranje voća i povrća zalijevanog kontaminiranom vodom.

Za procjenu doza zračenja, u vezi sa svakim od kritičnih putova, u upotrebi su razni modeli bazirani na pojedinim eksperimentalnim radovima ili na osnovi poznavanja mehanizama prijenosa radionuklida do čovjeka.

Procjena doza dana je u tabl. 2. Vidljivo je da su doze zračenja izuzetno niske iako je integriranje provedeno na razmjerno dugo razdoblje od 50 godina. Hipotetički, kad bi ukupnu dozu koju primi populacija u radiusu od 80 km, od jednogodišnjeg rada nuklearne elektrane, primio jedan čovjek, on bi jedva osjetio lakše kliničke simptome, bez akutne opasnosti za život.

### 2.3.3.1. Utjecaj na okolinu dijelova ciklusa nuklearnog goriva

S gledišta utjecaja na okolinu putem zračenja neki elementi ciklusa nuklearnog goriva mogu sudjelovati u ukupnoj populacijskoj dozi znatno više nego nuklearna elektrana. Sreća je ipak da je potrebno znatno manje objekata iz ciklusa nuklearnog goriva nego

nuklearnih elektrana jer npr. jedan uređaj za obogaćivanje nuklearnog goriva može poslužiti nekoliko desetaka nuklearnih elektrana.

U nastavku se ukratko daje procjena radioaktivnog utjecaja na okolinu objekata iz ciklusa nuklearnog goriva, te postrojenja za transport istrošenog goriva.

#### a) Eksploatacija i mljevenje uranove rude

Uranova ruda koja se smatra pogodnom za eksploataciju sadrži obično između 0,1 % i 3 %  $U_3O_8$  i redovito se nalazi u plićim slojevima. Ako se radi o jamskom kopu, najznačajniji radioaktivni produkt je radon-222, kod otvorenog rudnika s površinskim zahvatom emitira se i dosta radioaktivne prašine.

Mljevenje uranove rude je prvi korak u dobivanju djelomično rafiniranog urana, tzv. žutog kolača (čistoće 70 %). Budući da je potrebno obraditi veliku količinu uranove rude, mlinovi su obično vrlo blizu nalazišta urana. Proizvodnja žutog kolača sastoji se od sljedećih operacija: drobljenja, mljevenja, otapanja u kiselom ili lužnatom otapalu, separaciji urana iz otopine, taloženju, sušenju i pakiranju. Najviše radioaktivnih tvari emitira se u okolinu zbog drobljenja rude, te sušenja i pakiranja žutog kolača.

Plinoviti radioaktivni efluenti sastoje se gotovo isključivo od radona-222 koji se ispušta u okolinu u razmjerno velikim količinama.

Budući da, u krajnjoj liniji, radon nastaje iz urana-238, kojega praktički ima posvuda u zemaljskoj kori, u vodi, zraku, građevnom materijalu i u živim bićima, nalazi se radon praktički svuda s ukupnom aktivnosti na Zemlji od oko  $10^{18}$  Bq. U zraku ga ima obično 0,1 – 10 Bq/m<sup>3</sup>. Naravno, u zatvorenim ga prostorima ima znatno više (u prosjeku 20 Bq/m<sup>3</sup>). U pojedinim vodotocima izmjerena je aktivnost radona i do 100 MBq/m<sup>3</sup>. U rudnicima koncentracija je i do  $10^6$  Bq/m<sup>3</sup>. Veći dio od prirodnog fona zračenja u ljudskoj okolini dolazi od radona i njegovih produkata. Naravno, u blizini rudnika urana koncentracije radona su znatno veće, npr. u području našeg rudnika Žirovski vrh nađene su u kućama koncentracije oko 100 Bq/m<sup>3</sup>.

Ako se uzme da u prosjeku za elektranu snage 1 000 MW treba oko 200 tona neobogaćenog urana godišnje i da je postotak urana u rudi 0,2 %, te da se po toni rude oslobađa 0,1 – 0,2 GBq radona, slijedi ukupna proizvodnja radona od oko 20 TBq/GW god.

Primljena doza zračenja ovisi o karakteristikama okoline rudnika urana. Također, doza bitno ovisi i o vremenu promatranja. Uran-238 ima izuzetno dugo vrijeme poluraspada, pa će se i proizvodnja radona iz jalovine uranove rude nastaviti milijunima godina. Zbog toga se u ovom slučaju moraju razlikovati kratkoročne procjene od onih dugoročnih. Ove prve daju efektivnu dozu od oko 0,5 čovjek-Sv/GW god. (uz pretpostavku od 25 ljudi/km<sup>2</sup>, dok druge svedene na prvih 1 000 godina daju procjenu oko 25 čovjek-Sv/GW god.

Da bi se ova veličina lakše shvatila, daje se jedan primjer što nije u vezi s rudnicima urana ni s nuklearnom energetikom općenito, ali je vrlo indikativan.

Naime, prema istraživanjima u Švedskoj štednja energije za ventilaciju prostorija dovodi do znatnog porasta zračenja u kućama, i to ovisno o vrsti kuća. Porast doze zračenja iznosi 2200 do 8700 čovjek-Sv/god po 1 GW uštedene energije. Te povećane doze isključivo su posljedica povećane koncentracije radona u kućama zbog smanjene ventilacije.

#### b) Proizvodnja nuklearnog goriva

Žuti kolač proizveden u zoni rudnika šalje se u uređaj za konverziju. Tamo se  $U_3O_8$  najprije dodatno rafinira kako bi se uklonile nečistoće, što bi mogle smanjiti kvalitetu urana kao nuklearnog goriva. Bitno je da se uklone oni izotopi s velikom sposobnošću apsorpcije neutrona. Nakon pročišćavanja uran se nalazi u obliku  $UO_3$ , koji se daljnjim tretmanom s vodikom, fluorovodikom i fluorom prevodi u uranov heksafluorid ( $UF_6$ ) koji je pri običnoj temperaturi u krutom obliku i time pogodan za transport do uređaja za obogaćivanje, a pri povišenoj temperaturi prelazi u plinovito stanje i postaje vrlo pogodan za proces obogaćivanja sadržaja U-235.

Obogaćivanje izotopskog sastava U-235 nužno je za LWR i AGR reaktore dok se teškovični reaktori koriste prirodnim uranom i ne trebaju obogaćivanja, pa se na njih ovaj dio ne odnosi. Obogaćivanje se obično provodi u uređajima za plinsku difuziju, iako je u posljednje vrijeme sve veća upotreba tehnika na centrifugalnom principu, čija je prednost da troše desetak puta manje energije i jeftinije su od uređaja za difuziju, ali imaju i neke nedostatke.

Nakon obogaćivanja  $UF_6$  se prevodi u  $UO_2$  ili čisti uranom metal i takav se onda upotrebljava za proizvodnju elemenata goriva.

Emisija radionuklida iz uređaja za konverziju, obogaćivanje i proizvodnju goriva prilično je malena. Velik dio torija-230 i radija-226 koji dovode do stvaranja radona odstranjuje se u uređaju za konverziju, tako da u efluentima koji se ispuštaju u okolinu ima relativno mali dio tih izotopa.

Podaci normalizirani na 1 GW god. proizvedene električne energije pokazuju da se u jednom prosječnom uređaju za konverziju ispušta u atmosferu oko 8 000 MBq/GW god. radona-222 i oko 200 MBq/god. drugih izotopa (uglavnom U-238, U-234 i Th-234). Tekućih efluenata ispušta se oko 1 800 MBq/GW god. (90 % uranovih izotopa, 7 % Ra-226 i ostatak tvori Th-230).

Iz uređaja za obogaćivanje ispušta se u atmosferu oko 11 MGq/GW god. (oko 8,5 MBq/GW god. U-238 i U-234, ostatak čini Th-234), te u obliku tekućih efluenata oko 750 MBq/GW god. gotovo isključivo U-238 i U-234.

Iz uređaja za proizvodnju nuklearnog goriva u atmosferu se ispušta oko 9 MBq/GW god., u velikoj većini U-234, a u tekući recipient oko 1100 MBq/GW god., uglavnom podjednako U-238, U-234 i Th-234 te nešto malo U-235.

Uz pretpostavku prosječne naseljenosti u okolini od 25 st/km<sup>2</sup>, te uz ostale parametre koji u prosjeku vrijede za srednje geografske širine sjeverne hemisfere dobivena je ukupna populacijska efektivna doza zra-

čenja vezana za proizvodnju goriva od oko  $2 \cdot 10^3$  čovjek Sv/GW god., pri čemu radon sudjeluje sa samo oko 20 %, a ostala doza dolazi uglavnom od izotopa urana. U odnosu prema pokazateljima vezanim za rudnike urana ovo je sasvim neznatna doza.

#### c) Prerada istrošenog goriva (reprocessing)

Svrha prerade istrošenog goriva jest da se iz njega izvuče preostali uran i konverzijom stvoreni plutonij. Prethodno se istrošeno gorivo drži barem 4–5 mjeseci u posebnoj zgradi unutar elektrane, pod vodom, koja služi istovremeno za odvođenje stvorene topline i kao zaštita od zračenja. Za to vrijeme aktivnost znatno padne (za oko 50 puta), a zatim može uslijediti transport u uređaj za preradu. Tamo se ostatak goriva najprije odvaja od drugih struktura i zatim otapa u dušičnoj kiselini.

Uran i plutonij se posebnim postupkom odvajaju iz otopine i pretvaraju u okside pogodne za skladištenje. Plutonij odlazi direktno u postrojenje za proizvodnju goriva, a uran (uglavnom u obliku U-238) ide u postrojenje za obogaćivanje, nakon čega se ponovo koristi. Postoji i mogućnost stvaranja tzv. miješanog goriva sa oko 4 % plutonija i 96 % urana.

Nažalost, upravo je plutonij jedna od glavnih prepreka za brži razvoj uređaja za preradu. Dovoljno je, naime, svega oko 4–5 kg čistog plutonija za proizvodnju nuklearne bombe. (Uran-235 je za ovu svrhu nepraktičan jer je uvijek pod »zaštitom« urana-238 od kojeg se, kao što je već rečeno, vrlo teško separira.) Zbog toga uvijek prijete opasnost da tako dobiveni plutonij dođe u ruke onima koji bi ga koristili u nemirosljubive svrhe. Ipak, treba reći da nisu nužno potrebne nuklearne elektrane i reprocessing za proizvodnju plutonija. On se vrlo efikasno proizvodi i u manjim reaktorima čija osnovna namjena nije opskrba energijom.

Trenutno su u svijetu u pogonu tri veća komercijalna uređaja za preradu istrošenog goriva. To su Windscale u Velikoj Britaniji, te La Hague i Marcoule u Francuskoj. Postoji i nekoliko manjih eksperimentalnih uređaja. Bitno je uočiti da jedan uređaj za preradu istrošenog goriva poslužuje nekoliko desetaka ili čak stotinu nuklearnih reaktora. Zbog toga su ukupne doze zračenja od ovih uređaja svedene na GW god. proizvedene električne energije iz goriva dobivenog preradom relativno niske, dok je apsolutna aktivnost emitiranih radionuklida iz ovih uređaja prilično visoka.

Nužno je napomenuti da uređaji za preradu istrošenog goriva nisu trenutno neophodan element nuklearnog gorivog ciklusa.

#### d) Prijevoz nuklearnog goriva

Velika je prednost nuklearnih elektrana da zbog male količine goriva mogu biti udaljene od uređaja iz ciklusa nuklearnog goriva stotine i tisuće kilometara. Prijevoz goriva, svježeg i istrošenog, predstavlja ipak značajan problem, i to prvenstveno zbog opasnosti od zračenja. Najznačajniji su sljedeći putovi prijevoza:

- prijevoz svježeg goriva od uređaja za proizvodnju goriva od nuklearne elektrane
- prijevoz istrošenog goriva od elektrane do uređaja za preradu istrošenog goriva
- prijevoz istrošenog goriva od elektrane do objekta za privremeno ili trajno odlaganje (ako prerada istrošenog goriva nije planirana ili se planira nakon više godina)
- prijevoz visokoaktivnog otpada od uređaja za preradu istrošenog goriva do mjesta za trajno odlaganje radioaktivnog otpada.

Doza zračenja vezana za prijevoz svježeg i istrošenog goriva nije velika. Ocjenjuje se s maksimalno 0,01 čovjek-Sv/GW god. Naravno, nisu uključene posljedice mogućih nezgoda u prometu koje su iz više razloga mnogo vjerojatnije od nezgoda u nuklearnim elektranama i drugim dijelovima ciklusa nuklearnog goriva. Takve posljedice je teško ocijeniti jer ovise o mnogim faktorima. Osim toga, prijevozna sredstva za ovu svrhu te kontejner s gorivom uvijek su tako izvedeni da mogu bez posljedica podnijeti i najteže nezgode.

Ipak, bez obzira na tu činjenicu, smatra se da će u budućnosti, kad broj objekata iz ciklusa nuklearnog goriva znatno poraste, porasti i vjerojatnost od udesa u prijevozu s fatalnim posljedicama. Zbog toga je dužnost svake zemlje preko koje se obavlja prijevoz nuklearnog goriva da pripremi posebne propise za tu svrhu.

### 3. EKOLOŠKA OGRANIČENJA U PLANIRANJU ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA JUGOSLAVIJE

S obzirom na izneseno u prethodnom poglavlju može se pretpostaviti da zbog problema vezanih za utjecaj na okolinu elektroenergetskih objekata, te zbog neispunjavanja nekih osnovnih ekoloških pretpostavki za njihovu izgradnju i rad, može doći do eliminacije nekih planiranih objekata ili do znatnog smanjenja njihove snage, a to će onda dovesti u pitanje realizaciju dijelova programa izgradnje elektroenergetskih kapaciteta u SFRJ. Takva ograničenja će se najviše odraziti na SR Hrvatsku koja je najsiromašnija vlastitim energetske resursima, pa iznenađuje vrlo pasivna uloga SR Hrvatske i ZEOH-a u rješavanju nepoznanica na tom planu, jer će SR Hrvatska vjerojatno ponajviše platiti posljedice lošeg sagledavanja mogućnosti realizacije elektroenergetskog sistema SFRJ u sljedećem razdoblju.

To se naročito odnosi na planirane hidroelektrane i termoelektrane na domaći ugljen jer su lokacije tih objekata praktično zadane, pa ekološki, a kao posljedica toga i ekonomski razlozi mogu znatno umanjiti njihovu rentabilnost, odgoditi im izgradnju, a neke od njih i definitivno eliminirati.

Trenutno se može govoriti samo o pretpostavkama jer ne postoje ni osnovna ni specifična istraživanja ekoloških problema na područjima planiranih objekata. Međutim, sve stroži kriteriji zaštite okoline, sve veći otpor javnosti, te postojeća, manje-više katastro-

falna i ekološki neprihvatljiva situacija na područjima već eksploatiranih ugljenih bazena, kao i činjenica da su najbolje lokacije, posebno hidroelektrana već iskorištene, a ekonomski, pa i ekološki najkvalitetniji objekti već izgrađeni daju dovoljno indikacija da pesimizam nije neopravdan. Štoviše, detaljna i potpuna istraživanja će vjerojatno dati još goru perspektivnu mogućnost izgradnje pojedinih objekata, posebno ako je riječ o bliskoj budućnosti.

U nastavku se daje trenutni status glavnih potencijalnih objekata iz domene termoelektrana i hidroelektrana s osvrtom na probleme koji se mogu javiti.

#### 3.1. Termoelektrane na domaćim ugljenim bazenima

Kameni ugljen se eksploatira u SFRJ na dva mjesta (Ibarski i Raški bazen), a perspektiva za elektroenergetske potrebe je malena. Glavna značajka domaćih kamenih ugljena je visok sadržaj sumpora (7–10 %).

Najveća ležišta mrkog ugljena su u Bosni i Hercegovini (Banovići, Ugljevik, Zenica, Kakanj) te u Sloveniji (Trbovlje). Ogrjevna vrijednost mrkih ugljena je 12–20 MJ/kg, sadrže relativno mnogo pepela i sumpora, pa su ekološki manje podobni nego kvalitetniji ligniti. Eksploatacija mrkog ugljena je komplicirana (80 % jamski kop), jer su slojevi poremećeni tektonskim pokretima. Zbog toga je i kapacitet rudnika ograničen na maksimalno oko  $2 \cdot 10^6$  t/god. i teško ga je povećati, pa se ne očekuje veći razvoj termoelektrana na tim područjima, to više što je taj ugljen uglavnom podoban i za transport, te široku potrošnju.

Oko 85 % ugljena u Jugoslaviji je u formi lignita. U području lignitnih bazena leži najveća perspektiva u SFRJ-u za gradnju termoelektrana na ugljen. Nalazišta s najvećim eksploatacijskim rezervama su redom: Kosovo, Metohija, Kolubara, Kreka, Kostolac, Gacko, Dobrnja-Lukavac, Kovin, Velenje, Suhodol, Duvno, Čeverić-Futog, Tušnica i Pljevlja. Na svim tim ležištima je s gledišta rezervi ugljena moguće izgraditi termoelektranu snage barem 500 MW. Na većini tih lokacija su već izgrađeni kapaciteti, ukupno više od 8 000 MW, dakle velik dio jugoslavenskih termoelektrana na ugljen.

Ipak, s gledišta izgradnje velikih snaga termoelektrana, prvih 6 ležišta pruža najveće šanse (preko 90 % ekspl. rezervi). Najveće eksploatacijske rezerve su u bazenu Kosovo (70 % ukupnih eksploatacijskih rezervi nabrojanih bazena), Metohija i Kolubara donose još po 6 %.

Većina lignitnih bazena je slabo istražena (praktički to se jedino ne odnosi na bazene Kosovo i Metohiju), pa se može u budućnosti očekivati znatan porast eksploatacijskih rezervi. Zbog toga na navedenim bazenima količina ugljena nije limitirajući faktor za izgradnju većih termoelektrana. Glavna su ograničenja razvoja izgradnje termoelektrana na velikim bazenima lignita vezana uz troškove eksploatacije i uz ekološka ograničenja.

Ako se razmatra samo period neposredne budućnosti (15–20 godina), onda je i vrijeme bitan ograničavajući faktor. Otvaranje i privođenje eksploataciji rudnika, te izgradnja termoelektrane, uključujući

sve prethodne radove i istraživanja za potrebe izrade konačnih studija o utjecaju na okolinu i tehničke dokumentacije, traje 12–15 godina. To znači da do kraja stoljeća nije moguće pustiti u rad nijedan objekt na kojemu radovi već nisu počeli. Perspektiva tempa izgradnje novih jedinica može biti ugrožena i postojećim stanjem, odnosno potrebom unapređenja kvalitete okoline u postojećim uvjetima. Naime, na većini bazena su već izgrađeni ili se grade termoenergetski blokovi razne snage pri čijoj se izgradnji i eksploataciji uglavnom malo vodilo brige o mogućim ekološkim posljedicama. Budući da je trenutno prisutan trend zaoštavanja kriterija zaštite okoline, sanacija postojećeg stanja predstavljat će u većini slučajeva nužan korak u izgradnji novih kapaciteta.

Ekonomska ograničenja izgradnje termoelektrana na ležištima lignita nisu predmet ovoga rada. Međutim, budući da se sva ekološka ograničenja redovito reflektiraju na troškove izgradnje i eksploatacije nije ni moguće procijeniti ekonomska ograničenja prije nego se ekološki aspekti detaljno istraže i analiziraju. Investicijski program može postati osnova za analizu rentabilnosti objekta tek ako u sebi uključuje i sve troškove i štete vezane uz zaštitu okoline i ekološke aspekte općenito.

Ekološka je ograničenja izgradnje termoelektrana na lignitnim ležištima moguće samo približno ocijeniti, jer nisu realizirani na tim područjima adekvatni programi ekoloških istraživanja, a uglavnom ne postoje ni kvalitetno napravljene studije utjecaja na okolinu. Pojedine analize koje postoje bazirane su na neadekvatnim podacima ili na nerealnim vrijednostima performansi opreme. Naprimjer, pretpostavlja se u takvim analizama da elektrostatički filtri rade s nominalnom efikasnošću, što je u praksi neizvedivo. U najboljem slučaju oni u prosječnom radu propuštaju u okolinu nekoliko puta više pepela nego bi trebali po svojim nominalnim karakteristikama. Razlozi za to su brojni, a neki su i dotaknuti u ovom radu. Moglo bi se navesti mnoštvo takvih primjera, rezultat čega je loša ekološka slika u području gotovo svih naših termoelektrana na ugljen.

U nastavku se daje kraći opis glavnih lignitnih bazena, te ocjena mogućih ekoloških ograničenja za izgradnju termoelektrana.

#### a) Bazen »Kosovo«

Nalazi se u neposrednoj blizini Prištine, a obuhvaća i dijelove općina Vučitrn i Lipljan, tj. dolinu rijeke Sitnice, odnosno dijelove njezinih pritoka Drenice i Gračanke. Pruža se u smjeru sjever-jug na duljini od 32 km, a najveća mu je širina 15 km. Ukupna površina bazena je 354 km<sup>2</sup> s kontinuiranim slojem ugljena prosječne debljine oko 50 metara (5–110 m).

Ugljen je uglavnom mlađi lignit pliocenog porijekla, a kvaliteta mu varira (29 % s preko 8,4 MJ/kg, 43 % sa 7,7–8,4 MJ/kg, te 23 % sa 5,8 do 7,7 MJ/kg) Prosječna donja ogrjevna vrijednost je 6,95 MJ/kg, sadržaj pepela varira od 12–21 %, a vlaga od 35–50 %. Sadržaj sumpora je oko 1 %.

Odnos debljine jalovine i ugljena (koeficijent otkrivenke) varira i iznosi manje od 1 u sjevernom području do 3,2 u južnom dijelu, prosječno 1,60. Hidrogeološki uvjeti su vrlo povoljni jer se u podlozi i u krovini ugljenog sloja nalaze slabo propusni slojevi gline. S rudarskog aspekta optimalni kapacitet je ocijenjen na 75–100 Mt/god. Sav ugljen je moguće eksploatirati površinskim kopom.

Optimalni kapacitet nije moguće postići u kratkom vremenu zbog neophodne postupnosti u razvoju eksploatacije lignita zbog potreba unapređenja organizacije rada, obrade i usavršavanja kadrova i promjena u tehnologiji što su vezane uz povećanu eksploataciju. Smatra se realnim (Ref. 18) da porast eksploatacije iznosi oko 10 % god., tj. proizvodnja se udvostručava svakih 7 godina. Takvim tempom eksploatacija lignita na Kosovu ne bi mogla doseći rudarski optimum za manje od 15 do 20 godina.

Iznad ležišta ugljena nalazi se najplodnije poljoprivredno zemljište, a naseljenost u području ugljenog ležišta vrlo je visoka. Na području bazena Kosovo i Metohija nalazi se 117 naselja sa 134 175 st. (1981), prosječna gustoća naseljenosti iznosi 298,17 st/km<sup>2</sup>. Od 1971. do 1981. broj stanovnika nad ugljenim bazenom povećao se za oko 30 000 (gustoća sa 230 na 300 st./km<sup>2</sup>), odnosno po godišnjoj stopi od 2,5 %, što govori o nepostojanju bilo kakve kontrole naseljavanja ovog prostora. Preko ležišta prolaze željezničke pruge i ceste za Beograd, Skopje, Prizren i Peć, te lokalni prometni putovi. Do sada su izgrađeni sljedeći elektroenergetski objekti:

TE Kosovo »A« — 790 MW (5 blokova)

TE Kosovo »B« — 678 MW (2 × 339)

Toplana — 440 t/h pare

Osim toga u radu je sušionica ugljena kapaciteta 1,2 Mt/god. i pogon isplinjavanja ugljena kapaciteta 432 · 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/god.

Ugljen se eksploatira na dva mjesta (Dobro selo i Belečevac). Dosada je iskopano oko 150 Mt. Kosovki ugljen sadrži malo sumpora, a relativno mnogo kalcija (odnos Ca/S iznosi preko 6), pa je samoodsumporavanje pri izgaranju dosta efikasno. S gledišta SO<sub>2</sub> moguće je, dakle, zadovoljiti i najstrože norme.

Vrlo teško je, međutim, zadovoljiti norme s gledišta emisije krutih čestica. Trenutno je situacija vrlo loša. TE Kosovo »A« ima velikih problema s filtrima koji gotovo da i ne rade, a slični problemi će se vjerojatno javiti i na termoelektrani »B«. S porastom kapaciteta aktualnost ovoga problema postat će sve veća, usprkos upotrebi elektrostatičkih otprašivača bolje kvalitete. Ako bi snaga termoelektrana porasla na 5 000 MW te ako bi se samo 1 % stvorenog pepela emitirao u atmosferu, to bi godišnje iznosilo oko 100 000 tona, odnosno oko 20 t/h. Ako se pretpostavi da 50 % tog pepela ostane u atmosferi barem 24 sata, te da se ispušteni pepeo zadrži u području radiusa 60 km i uz visinu miješanja od 1 500 metara slijedi prosječna koncentracija pepela u zraku od oko 30 μg/m<sup>3</sup>. Pri nepovoljnim atmosferskim uvjetima, koji su vrlo česti na kosovskoj visoravni (tišine bez vjetera, inverzije, smanjenje visine miješanja itd.) koncentracija po iskustvu može porasti i za 10 i više puta, što

bi već bilo na granici prihvatljivosti ili čak neprihvatljivo.

Drugi veliki problem izgradnje termoelektrana na Kosovu jest problem nedostatka vode za hlađenje. Za 5 000 MW gubi se ishlapljivanjem oko  $40 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>/god., a tu količinu je teško odvojiti za potrebe termoelektrana s obzirom na znatne potrebe ostalih korisnika vode.

Osim vode za hlađenje potrebne su znatne količine vode za druge svrhe (tehnološka voda, odmuljivanje rashladnih tornjeva, kemijska priprema vode, transport pepela i sl.). Količina raspoložive vode ovisi i o izgradnji planiranih akumulacija na Kosovu jer je to jedini način da se voda zadrži na ovoj visoravni. Danas se uspijeva zadržati oko 14 % vode (oko  $400 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>), a planira se trostruko veća efikasnost izgradnjom čak 25 novih akumulacija.

Treći veliki problem Kosova je uništavanje terena otkopavanjem ugljena, deponiranjem jalovine i odlaganjem pepela. Iako je do danas iskopano svega oko  $150 \cdot 10^6$  tona ugljena, uništeno je već oko 2700 ha terena. Planira se do 2000. god. rekultivirati oko 500 ha.

Trenutno je ekološka situacija dodatno opterećena i kemijskim onečišćenjem rijetkih vodenih tokova, posebno Sitnice, osobito fenolom, ali i drugim onečišćenjima iz postojećih objekata za isplinjavanje ugljena. S kemijskog aspekta fenol je najveći ekološki problem Kosova.

Pravo stanje kvalitete okoline Kosova u kvantitativnom smislu još nije poznato. Opsežni ekološki program je u toku, nakon čega će se moći odabrati moguće lokacije za nove kapacitete termoelektrane i početi s otvaranjem novih kopova ugljena. Saniranje postojećeg stanja nametnut će se sigurno kao osnovni uvjet za dalji razvoj. Zbog svega toga je teško povjerovati u mogućnost puštanja u rad novih blokova termoelektrana prije 2000. godine.

Osim toga, teško je i zamisliti mogućnost da na području bazena »Kosovo« bude u radu više od 5 000 MW u termoelektranama. Vrlo je vjerojatno da će već pri snazi od 3 000 MW nastupiti neka ograničenja, što će zahtijevati mnogo skuplju i kvalitetniju opremu za smanjenje utjecaja na okolinu (vrecasti filtri, polusuhi rashladni tornjevi, maksimalna rekultivacija terena, komplicirani uređaji za obradu otpadnih voda itd.).

Realizacija velikih snaga na Kosovu postaviti će i posebne zahtjeve na visokonaponsku prijenosnu mrežu jer će se veći dio proizvedene električne energije trošiti u područjima 100 i više kilometara daleko.

Usprkos svemu bazen »Kosovo« ostaje najveće i najperspektivnije jugoslavensko ležište lignita. Činjenica da nije potrebno odsumporavanje dimnih plinova, da su geomehaničke i hidrogeološke karakteristike ugljenog bazena vrlo povoljne i da je eksploatacija ugljena razmjerno jednostavna čini ovaj bazen ekonomski vrlo prihvatljivim.

#### b) Bazen »Metohija«

Nalazi se u zapadnom dijelu SAP Kosova u području općina Klina, Peć i Istok. Površina bazena je 65 km<sup>2</sup>.

Ležište je smješteno ispod veoma plodnog poljoprivrednog zemljišta uz dolinu Bijelog Drima, a tuda prolazi i željeznička pruga Kosovo Polje-Peć i nekoliko lokalnih cesta. Naseljenost iznosi oko 200 st/km<sup>2</sup>. Karakteristike ovog bazena i ugljena slične su bazenu i ugljenu »Kosova«. Količina ugljena je oko 4 puta manja, istraženost kao i za bazen »Kosovo« dosta visoka. Ugljen je nešto bolje kvalitete (prosječno H<sub>d</sub> iznosi 8,6 MJ/kg, pepeo prosječno 18 %, vlaga 42 %, sadržaj sumpora oko 1 %). Produktivnost ležišta iznosi oko 35 t/m<sup>2</sup>, a odnos jalovine i ugljena je veći nego na Kosovu (2–2,8).

Na ovom ležištu eksploatacija nije još započela. Veći dio ugljena je rentabilno eksploatirati površinskim kopom. U ekološkom smislu sve što vrijedi za bazen »Kosovo« vrijedi i za bazen »Metohija«. U nekim aspektima je ovo ležište nepovoljnije (veća količina jalovine, vjerojatno nepovoljnije hidrogeološke značajke), pa se eksploatacija ugljena i izgradnja termoelektrana ne očekuje u bliskoj budućnosti (ne prije 2005. god.).

#### c) Bazen »Kolubara«

Nalazi se oko 50 km jugozapadno od Beograda u porječju Kolubare i zauzima oko 600 km<sup>2</sup>. Kolubara dijeli bazen na istočni i zapadni dio.

Ovo je po geološkim rezervama drugi, a po eksploataciji (30 Mt/god.) i tradiciji (preko 100 godina) bitno nadmašuje ostale. Ugljen sadrži prosječno 48 % vlage, 16 % pepela i do 1 % sumpora, a ogrjevna vrijednost mu je 6,9 MJ/kg. Prosječna produktivnost ležišta iznosi 25 t/m<sup>2</sup>, a koeficijent otkrivanja u prosjeku 2,14. Planira se do 2000. god. ostvarivanje proizvodnje od 40 Mt/god. Na području ovog bazena izgrađeno je oko 3 150 MW u termoelektranama, a planira se još oko 700 MW u neposrednoj budućnosti.

Iznad ležišta je izuzetno plodno poljoprivredno zemljište, 58 naselja sa oko 85 000 stanovnika, magistralne prometnice (željeznička pruga Beograd–Bar i Beograd–Skopje, magistralne ceste od Beograda na jug), vodotokovi, mnogi privredni objekti (npr. REIK Kolubara u Vreocima). Do danas je uništeno oko 3 100 ha terena, a još toliko se planira do 2000. god. Trenutno je oko 20 % terena rekultivirano, u budućnosti se planira znatno veći opseg rekultivacije. Usprkos velikim problemima u eksploataciji (hidrogeološka kompleksnost, problemi odvodnjavanja, zaštita površinskih voda) na ovom ležištu postiže se visoka produktivnost, visoka iskorištenost kapacitete, visok stupanj mehanizacije, što je dobrim dijelom i rezultat postepenog, dobro planiranog razvoja, duge tradicije i kvalitetnih kadrova.

Termoelektrana »Nikola Tesla« u Obrenovcu potrošač je većeg dijela ugljena. Njezina je snaga 2900 MW. U radu je i TE Kolubara (270 MW), a u planu su još dva bloka od po 350 MW. Time će izgradnja ovog bazena biti zaokružena na oko 4 000 MW. To je vjerojatno i gornja granica. Iako su u najnovijim blokovima ugrađeni najmoderniji elektrostatički filtri (98,5 do 99,4 % u TE Nikola Tesla »A«, do 99,8 % u TE Nikola Tesla »B«), emisija pepela je vrlo visoka. Prema

Ref. 26 te elektrane povećaju sadržaj krutih čestica u Beogradu za 4 puta. Mora se uzeti u obzir da se radi o novim objektima, pa će se utjecaj na okolinu povećavati starenjem objekata.

Toplinsko opterećenje Save već je danas na granici dozvoljenoga, a pri nižim protocima vjerojatno i prelazi obično dozvoljena  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  (ne računajući utjecaj uzvodnog toplinskog opterećenja). Daljnji će se razvoj zbog toga morati bazirati na rashladnim tornjevima. Sve u svemu teško je vjerovati da bi se postojeći kapaciteti (uključujući i one u izgradnji) mogli povećati iznad 4 000 MW bez većih ekoloških problema.

#### d) Kostolac

Ovaj se bazen nalazi uz desnu obalu Dunava oko 80 km nizvodno od Beograda, u porječju Mlave i obuhvaća površinu od oko 100 km<sup>2</sup>. Ležište se nalazi na području visoke poljoprivredne vrijednosti.

Ugljen je lignit, nešto bolje kvalitete nego kolubarski (45 % vlage, 17 % pepela, oko 1 % sumpora, donja ogrjevna vrijednost  $H_d = 8,2\text{ MJ/kg}$ ). Prosječna debljina glavnog ugljenog sloja je oko 15 metara, a koeficijent otkrivanja iznosi u prosjeku 3,7. Odnos Ca/S u ugljenu iznosi 1,17.

Trenutno eksploatacija iznosi oko 10 Mt/god., što je dovoljno za rad postojećih objekata (TE Kostolac  $2 \times 300\text{ MW}$  i TE Drmno, 350 MW). Ležište ugljena je slabo istraženo pa geološke rezerve znatno premašuju eksploatacijske.

Uvjeti eksploatacije su vrlo nepovoljni zbog složene geološke građe i složenih hidrogeoloških uvjeta, pa postoje veliki problemi zaštite kopova od podzemnih i površinskih voda. Istovremeno realizacijom odvodnjavanja remete se hidrološki odnosi i uvjeti upotrebe vode u području i desetak puta veće površine od površine eksploatiranog bazena. Rekultivacija terena je imperativ zbog njegove visoke kvalitete.

Svi ovi problemi bitno rastu s porastom kapaciteta kopova. Osim toga optimalni godišnji porast kapaciteta je u takvim uvjetima znatno manji od prosjeka (vjerojatno ne veći od 5 % godišnje), pa se ne očekuje znatnije povećanje kapaciteta u bliskoj budućnosti. Prije 2000. god. očekuje se još oko 700 MW, a ukupna optimalna snaga nakon 2010. god. moglo bi da bude oko 2 000 MW.

#### e) Lignitni bazeni u SR Bosni i Hercegovini

U SR BiH postoji nekoliko značajnih bazena lignita. Najveći su u tuzlanskom području (Kreka, Dobrnja-Lukavac), a značajni su i Gacko, Duvno i Livno (Tušnica). Ostala nalazišta lignita u Jugoslaviji i pored znatnih eksploatacijskih rezervi ne pružaju u bliskoj budućnosti mogućnosti za izgradnju termoelektrana većih snaga.

Kvaliteta ugljena ovih bazena dana je u tabl. 5.

Zapaža se visoka kvaliteta iz tuzlanskog područja, te visok sadržaj pepela i izgorivog sumpora ostalih bazena. Za ugljen iz Gackog bazena karakterističan je visoki odnos Ca/S, što može znatno smanjiti potreb-

no odsumporavanje dimnih plinova iako istovremeno komplicira probleme s odlaganjem pepela.

Osnovne karakteristike ležišta ugljena u SR BiH su vrlo složeni rudarsko-geološki uvjeti eksploatacije te nepovoljna rudarsko-tehnološka svojstva stijena i s tim u vezi mogućnost realizacije površinskih kopova srednjeg i manjeg kapaciteta (do maksimalno 5 Mt/god. ako se radi o sinklinalnim ležištima, npr. Kreka-Dubrave, odnosno najviše do 2 Mt/god. ako se radi o kosim ležištima, npr. Gacko).

Tablica 5.

Bazen ugljena	Vlaga (%)	Pepeo (%)	$S_{izg}$ (%)	$H_d$ (MJ/kg)	Ca/S	KO
Kreka	42,8	8,4	0,40	11,5	1,3	
Dobrnja-Lukavac	44,0	10,0	0,42		11,2	1,3
Gacko	35,7	21,8	1,04	8,7	3,5	2–4
Duvno	35,2	25,5	1,28	8,0	—	2
Tušnica	32,9	19,4	3,25	11,7	—	4

S gledišta utjecaja na okolinu termoelektrana na ovim bazenima dominiraju problemi ispiranja depozicija pepela (Gacko) ili njegova raznošenja vjetrom (Tuzla), te problemi vezani za  $\text{SO}_2$  i čestice u zraku. Postojeći kapaciteti u području Tuzle (780 MW) već su značajni onečišćivači okoline i buduća izgradnja će sigurno biti vezana uz rigoroznije uvjete izgradnje i eksploatacije.

Za doglednu budućnost može se ocijeniti da maksimalni kapaciteti termoelektrana u području Tuzle neće prijeći 2 000 MW, a isto toliko bi se vjerojatno moglo realizirati na ostalim bazenima lignita u SR BiH.

### 3.2. Mogućnost izgradnje novih termoelektrana na ugljen

Imajući na umu trenutnu situaciju na analiziranim ugljenim bazenima, probleme u eksploataciji ugljena (hidrogeološke, geomehaničke, tehničko-tehnološke), te probleme vezane uz utjecaj na okolinu objekata rudnika i termoelektrana (uništavanje terena, utjecaj na površinske i podzemne vode, utjecaj na kvalitetu zraka itd.) može se ocijeniti da je osim termoelektrana u pogonu moguće još planirati do 10 000 MW u termoelektranama na lignit. Time bi se postigle i optimalne snage za pojedine bazene lignita. Gornja snaga bi se realizirala na sljedećim područjima:

Kosovo + Metohija	3 600 MW
Kolubara	900 MW
Kostolac	1 000 MW
Tuzla	1 200 MW
Ostala ležišta u BiH	1 800 MW
Ostala ležišta u SFRJ	1 500 MW

Od ove snage do 2000. god. može se eventualno realizirati oko 1 700 MW, a do 2010. god. još oko 5 300 MW, te ostatak od 3 000 MW nakon 2010. plus zamjenske jedinice koje nisu uključene u ove snage.

Da bi se ove procjene mogle potvrditi, nužno je najhitnije provesti istraživanja iz tehničko-tehnološke i ekonomske sfere, te posebno s gledišta problema ut-



jecaja termoenergetskih kapaciteta i pripadne infrastrukture na okolinu. Situacija je trenutno takva da bi se na svim spomenutim ležištima ugljena morao hitno realizirati barem dvogodišnji kompletni program ekoloških istraživanja prije bilo kakvih daljnjih investiranja na tim područjima. Rezultati tih istraživanja trebalo bi da upozore ne samo na ekološka ograničenja u budućoj izgradnji već također i na sve tehničko-tehnološke pretpostavke daljnjeg razvoja. Nakon toga bi se mogla ocijeniti i rentabilnost ulaganja i svrhovitost eksploatacije.

### 3.3. Hidroelektrane

Hidroelektrane je najteže obuhvatiti općom ocjenom, posebno u nas gdje im snaga varira od nekoliko do nekoliko stotina megavata, nalaze se na područjima s vrlo različitim geološkim, hidrološkim, geotehničkim i općenito ekološkim karakteristikama, na rijekama s velikim razlikama u hidrauličkim i hidrološkim značajkama, te s namjenom koja varira od objektata pretežno zanimljivih za elektroprivredne organizacije do višenamjenskih rješenja što su s gledišta elektroenergetike gotovo neinteresantna. Zbog toga je teško standardizirati pristup u rješavanju problematike njihove izgradnje, financiranja i eksploatacije, a još teže standardizirati njihov tip i snagu.

Zajedničko im je ipak da je njihova izgradnja redovito povezana s velikim zahvatima u prostoru, da je fleksibilnost izbora lokacije neznatna, pa je potrebno na vrijeme rezervirati prostor za njihovu izgradnju, što znači eliminirati ostale korisnike prostora s danog područja. To često ne ide bez problema, redovito poskupljuje objekt preko očekivanih granica, pa je zbog toga realizacija svakog objekta krajnje neizvjesna unatoč činjenici da javnost redovito prihvaća hidroelektrane s mnogo manje otpora nego ako se radi o drugim elektroenergetskim objektima.

Hidroelektrane su objekti niskog tehnološkog nivoa i investicijski razmjerno skupe. Prednosti su im što se dobrim dijelom mogu realizirati s domaćim znanjem, radom i materijalima (ako je to uopće prednost na tom tehnološkom nivou), te da se radi o obnovljivim izvorima energije što sili korisnike na što bržu eksploataciju. Između tih značajki hidroelektrana nužno je naći optimum. Nije moguće odmah sve izgraditi, a nije racionalno ni predugo čekati.

Dobar dio (oko 45 %) od iskoristivog potencijala već je iskorišten u postojećim objektima ili je u gradnji. Preostali dio potencijala (oko 36 TWh/god.) ekonomski je pa i ekološki manje prihvatljiv i moguće ga je racionalno realizirati jedino u višenamjenskim rješenjima gdje je hidroenergetika tek jedan od korisnika.

Višenamjenska su rješenja, međutim, karakteristična po tomu što nijedna od zainteresiranih strana ne želi snositi odgovornost za cijeli projekt, a budući da se u jednom dijelu radi i o međurepubličkim i međudržavnim poslovima, proces dogovaranja može biti dugotrajan i neproduktivan. Veći dio tih objekata su od lokalne (općinske) važnosti, pa općine redovito

vrše veliki pritisak u smislu izgradnje niza dodatnih objekata na svom području koji možda i nemaju pravo društveno ni ekonomsko opravdanje. Financiranje je posebni problem i posebna tema.

Za potrebe izrade prostornih planova u SR Hrvatskoj nominiran je 51 objekt, od čega je 19 rješenja nužno realizirati sporazumno s drugim republikama, a 3 sa susjednom Mađarskom. Njihova moguća proizvodnja je 5 711 GWh/god.

U SR Srbiji (bez pokrajina) također su nominirana 52 objekta veća od 10 MW sa 4271 GWh/god., te još 10 objekata na pritocima sa 1 506 GWh.

Slično je i u drugim republikama i pokrajinama, tako da je ukupno u planu više od 150 objekata.

Na većini tih objekata ekološki aspekti nisu analizirani. Naprimjer, u SRH je studija utjecaja na okolinu gotova tek za 7 objekata, a uvjeti uređenja prostora izdani su na svega 4 objekta. Time, naravno, nisu riješeni svi problemi vezani za te objekte. Što reći za ostale gdje postoji u najboljem slučaju tek neka studija ili osnovno rješenje?

Teško je zbog toga vjerovati da je energetska politika temeljena na iskorištenju preostalog hidropotencijala do kraja stoljeća realna. Štoviše, budući da su lokacije objekata određivane gotovo isključivo na temelju energetske i vodoprivredne zahtjeva, mogu se kod većeg dijela planiranih hidroelektrana očekivati problemi vezani za utjecaj na okolinu. Na temelju trenutne situacije može se pretpostaviti da će najmanje 20 – 30 % objekata otpasti iz ekoloških razloga ili zbog protivljenja lokalne sredine, da će se jedan dio (10 – 20 %) pokazati ekonomski nerentabilan, te da će se gradnja jednog dijela preostalih objekata morati odgoditi zbog razloga koji danas ili nisu poznati ili se ignoriraju, a doći će do izražaja kasnije. Zbog toga bi izgradnja i 50 % od planiranih objekata u razdoblju od sljedećih 10 – 15 godina predstavljala veliki uspjeh.

### 3.4. Ostali elektroenergetski objekti

Elektroenergetske bilance i predviđanja pokazuju da usprkos očekivanim sniženim stopama porasta potrošnje električne energije u budućnosti nije moguće na bazi domaćeg ugljena i hidropotencijala osigurati poželjnu sigurnost opskrbe potrošačima električne energije.

Kraća analiza u ovom članku pokazuje (iako ne dokazuje, za što bi trebao nešto veći prostor) da će jedan dio objekata na koje se računa u bliskoj budućnosti morati otpasti ili će se njihova gradnja morati odgoditi zbog razloga ekološke prirode. Pod ekološkim razlozima, da ponovim, razumijevaju se ovdje ne samo razlozi vezani za utjecaj na okolinu nego i razlozi koji uključuju društveno-ekonomske, financijske, socijalne i političke argumente. Ne treba zanemariti ni utjecaj javnosti na donošenje odluke o gradnji pojedinih objekata. Zbog toga će raspoložive električne energije potkraj stoljeća, a vjerojatno i u prvom desetljeću XXI. stoljeća biti manje nego što je planirano čak u pesimističnim analizama.

Problem nije samo kratkoročan nego s vremenom očito postaje sve teži i teži, usprkos tome što će u budućnosti mjere štednje i racionalizacije, te postupna promjena tehnoloških rješenja i promjene strukture u privredi sigurno dati određene efekte.

Rješenje je očito u uvozu energetske oblika. Kratkoročno, to je uvozni ugljen, dugoročno nuklearna energija. Velika prednost s ekološkog aspekta termoelektrana na uvozni ugljen i nuklearnih elektrana jest u fleksibilnosti izbora lokacije. Zbog toga se ti objekti mogu napraviti kao standardni objekti na razini suvremene svjetske prakse, što znači da je u organizacijskom, inženjerskom i tehničko-tehnološkom smislu, pa time i u ekološkom smislu moguće primjeniti najnovija rješenja.

Domaćoj strojogradnji i elektrostrojogradnji, projektantima, stručnim i znanstvenim istraživačkim organizacijama i privredi u cjelini to omogućuje postizanja svjetskih kriterija kvalitete i uspješnosti.

Upotreba uvoznog ugljena za razvoj elektroenergetskog sistema Jugoslavije nije analizirana detaljnije u službenim dokumentima. Štoviše, to je svojevrsna tabu-tema o kojoj se »smije« razgovarati samo na nižim razinama odlučivanja, te eventualno na razini pojedinih stručnih organizacija ili pojedinaca. Bez obzira na to što Jugoslavija uvozi oko 5 Mt/god. ugljena za industrijske potrebe, uvoz ugljena za potrebe termoelektrana nije još prihvaćen kao valjana alternativa. Razloge tomu nije moguće racionalno spoznati.

Promet ugljena za potrebe termoelektrana iznosi u svijetu više od 200 Mt/god. Samo mediteranske zemlje uvoze trenutno oko 20 Mt/god. s planom povećanja od 300 % u sljedećih 7–8 godina. Mnoge zemlje s velikim rezervama vlastitog ugljena planiraju znatan uvoz (npr. Grčka planira u 1995. god. uvoz od 2,7 Mt/god., a Turska oko 5 Mt/god.). Susjedna Italija trenutno uvozi oko 11 Mt/god., a planira 1995. oko 26 Mt/god.

Tržište ugljena je stabilno i nije monopolizirano. Ugljen u većim količinama izvoze ove zemlje: SAD, Australija, SSSR, Poljska, Kina, Južnoafrička Republika i još neke.

Osim toga što pruža veliku fleksibilnost u izboru lokacije (što je velika ekološka i ekonomska prednost), termoelektrana na uvozni ugljen ima niz prednosti pred termoelektranom na domaći ugljen, a najbitnije su sljedeće:

- a) Ugljen je visoke kvalitete ( $H_d = 22-28$  MJ/kg, sadržaj pepela 6–20 %, vlage 5–12 %, sumpor često ispod 1 %). Zbog toga je elektrana investicijski jeftinija, vlastita potrošnja joj je niža, a ukupna efikasnost viša (oko 35–37 % u odnosu na termoelektranu na lignit čija efikasnost malokad prelazi 33 %). Raspoloživost i trajnost objekta je također veća. Utjecaj na okolinu je manji.
- b) Izostaju problemi zaštite okoline vezani za rudnik ugljena.

Razumljivo, svi ostali aspekti utjecaja na okolinu su prisutni i treba da budu detaljno analizirani.

Utjecaj nuklearnih elektrana na okolinu najdetaljnije je istražen. O razlozima se već raspravljalo. U nor-

malnom radu, koji uključuje sva pogonska stanja (normal operation) i predviđena odstupanja od normalnog rada (anticipated operational occurrences), radiološki utjecaj je gotovo zanemariv i nije veći od utjecaja termoelektrana na ugljen. Toplinski utjecaj na vodotok nešto je veći ili jednak termoelektrani na lignit. Ostali efekti su lokalnog karaktera i gotovo su zanemarivi. Nema problema sa  $SO_2$  i njegovim derivatima, s  $NO_x$ , ne proizvodi  $CO_2$ , prašinu ni dim, nema šljake ni pepela, a zauzeće terena je izuzetno malo (30 hektara za 1000 MW).

Rizici za okolinu i ljude su kudikamo ispod alternativnih rješenja ako se uzmu u obzir i najteže moguće nezgode u radu.

Rizici za okolinu i čovjeka od elemenata gorivog ciklusa također su maleni, s izuzetkom rudnika urana i uređaja za preradu istrošenog goriva koji i nije nužan na sadašnjem stupnju razvoja nuklearne energije.

Radiološki otpad je maloga volumena i može se zbrinuti na lokaciji po želji i uza sve potrebne mjere sigurnosti.

Uza sve te pogodnosti postoje znatne mogućnosti razvoja i usavršavanja. K tome radi se o vrhunskoj tehnologiji koja sili na organizacijska, systemska, tehnološka i ekološka unapređenja na mnogim drugim područjima. Tu su i najveći problemi vezani za nuklearnu tehnologiju. Tehničko i tehnološko savršenstvo dovelo je čovjeka i njegove sposobnosti u podređeni položaj.

Otuda dijelom i strah od nuklearnih elektrana, doduše iracionalan, ali s psihološkog stajališta razumljiv. Tako generiran strah lako postaje objektom manipulacije. Spretni političari često ga iskorištavaju kao jedno od sredstava za dolazak na vlast, pa je nuklearna opcija često bila predmetom političkih rasprava s velikim odjekom u javnosti. Ipak, nuklearne elektrane se i dalje grade, a udio električne energije proizveden u njima raste iz godine u godinu.

#### 4. ZAKLJUČAK

U zaključku može se konstatirati sljedeće:

1. Potcjenjivanje ekoloških principa i kriterija zaštite okoline pri planiranju, izgradnji i eksploataciji elektroenergetskih objekata u Jugoslaviji rezultiralo je preoptimističkim planovima izgradnje koji se, sasvim sigurno, neće moći realizirati u predviđenom roku.

Ekološki razlozi ograničavaju snagu termoelektrana na pojedinim bazenima lignita, a vrlo vjerojatno će eliminirati i dio planiranih hidroelektrana. Izgradnja nekih objekata zbog ekoloških razloga morat će se odgoditi na kraće ili dulje razdoblje.

2. Naročito će ekološki razlozi pogoditi planirane hidroelektrane i termoelektrana na domaći ugljen, čije su lokacije praktično zadane, pa se eventualnom promjenom lokacije ekološke štete ne mogu umanjiti kao što je to moguće za termoelektrane na kamenu ugljen ili za nuklearne elektrane.

Ako se sagleda trenutno stanje u domaćim rudnicima ugljena, ekološki problemi vezani za otvaranje novih kopova i uz izgradnju termoelektrana, te sagleda u svojoj kompletnosti problematika izgradnje preostalih hidroelektrana, može se optimistički ocijeniti moguća dodatna izgradnja (bez zamjenskih objekata) termoelektrana na domaći ugljen i hidroelektrana u SFRJ do 2000. odnosno do 2010. god.:

do 2000. 2000 – 2010. 2010 – 2020.

— Termoelektrane na ugljen (MW)	1 300	5 300	3 000
— Hidroelektrane (GWh)	4 500	7 000	7 000

Ako se do 2010. pretpostavi supstitucija ugljenom svih termoelektrana na druga goriva uključujući i NE Krško, tada bi moguća snaga termoelektrana na ugljen sa sadašnjih 8 820 MW na generatoru porasla u 2000. god. na 11 820 MW, u 2010. na 17 100 MW, a u 2020. god. na 20 100 MW, što bi bio i maksimalni kapacitet termoelektrana na bazi domaćeg ugljena u Jugoslaviji.

Radi se o optimističkoj procjeni, jer će detaljna istraživanja vjerojatno dodatno eliminirati ili odgoditi još neki objekt. Osim toga, ograničenja vezana za raspoloživost ugljena i ekonomsku rentabilnost objekata nisu uzeta u obzir.

3. Zbog toga se može tvrditi da je plan razvoja elektroenergetike Jugoslavije preoptimističan u pogledu domaćeg ugljena i da ga treba revidirati, uključujući i ekološke razloge u analizu. Da bi se to moglo ostvariti, potrebno je provesti prijeko potrebna ekološka istraživanja na potencijalnim područjima jer su dosadašnja istraživanja, ako i postoje, često neadekvatna i nepotpuna.

Pritom je nužno eliminirati mnoge probleme koji su obezvređivali dosadašnja istraživanja i njihov domet. U tom smislu su najznačajnije sljedeće aktivnosti:

- a) Debirokratiziranje postupka na svim razinama tretiranja problematike utjecaja na okolinu, što bi trebalo da se svodi na sljedeće aktivnosti:
  - poticanje suštinskih umjesto formalnih analiza
  - osiguranje kvalitete
  - osiguranje neophodne stručnosti na svim nivoima
  - bavljenje ključnim a ne sporednim problemima
  - izbjegavanje arbitraže društveno-političkih organizacija i politiziranja problema
  - ispravno informiranje javnosti o ključnim temama i putem kvalificiranih ljudi
  - eliminiranje voluntarizma, subjektivizma i neodgovornosti u postupku javne rasprave
  - osiguranje striktnog poštivanja i provođenja zakonskih normi i regulative.
- b) Eliminiranje uočenih nedostataka i problema upravnih organa, te kompletiranje regulative na ključnim područjima.
- c) Postizanje adekvatne veze između studije o utjecaju na okolinu i druge dokumentacije investitora, posebno idejnog projekta i investicijskog pro-

grama. Rezultati i zaključci iz studije o utjecaju na okolinu moraju u potpunosti biti respektirani u idejnom projektu (rješenju) i u investicijskom programu.

- d) Potrebno je uspostaviti adekvatnu vezu između raznih upravnih organa, koja trenutno ne zadovoljava.
- e) Dodatnim istraživanjima, mjerenjem i monitoringom potrebno je kompletirati i ažurirati postojeće podatke nužne za ekološke analize.
- f) Nužno je kritički razmotriti, odobriti ili odbaciti, te po mogućnosti verificirati ključne metode što se primjenjuju u obradi pojedinih aspekata utjecaja na okolinu.
- g) Razmotriti i verificirati računске modele što se primjenjuju u analizama utjecaja na okolinu.
- h) Uskladiti obradu pojedinog objekta s regionalnim planovima razvoja.
- i) Forsiranje multimedijalnih umjesto sektorskih analiza, stvaranje uvjeta za neophodne sinteze u prostoru.
- j) Detaljno analizirati sve moguće komercijalno raspoložive, tehničko-tehnološki provjerene i ekonomski konkurentne alternative predloženim rješenjima.

## LITERATURA

- [1] BAUMOL, V., J., »Economics, Environmental Policy and the Quality of Life,« Prentice Hall, Inc., 1979.
- [2] BILČAR, N., BRADARIĆ, M., STANIČIĆ, L., ALERIĆ, S., KOMERIČKI, N., BUNJEVČEVIĆ, J., POSAVEC, I., »Analiza mogućnosti razvoja elektroprivrede SRH do 2000. godine s osvrtom na 2010. godinu, Institut za elektroprivrdu Zagreb, 1987.
- [3] BOŽOVIĆ, A., »Iskorišćenje vodnog potencijala reke Drine i njenih pritoka,« Energija i razvoj, Jugoslavenska naučna tribina, Beograd, 1986.
- [4] CoalTrans, Steam coal demand in the Med: growth engine for the 1990s? BNR Publishing Ltd, Vol. 3, 6/7, 1988.
- [5] ČIČIĆ, S., »Geološko-ekonomske odlike ležišta uglja Jugoslavije,« Energija i razvoj, Jugoslavenska naučna tribina, Beograd, 1986.
- [6] ČEMALOVIĆ, S., »Izgradnja hidroelektrana i uticaj na prirodnu sredinu,« Jugoslavenska naučna tribina Beograd, 1986.
- [7] ĐŽAVIT, M., Razvoj energetike i zaštita životne sredine,« Savjetovanje o energiji, Opatija, 1987.
- [8] ĐEKIĆ, S., »Neki osnovni aspekti razvoja elektroprivrede Kosova,« Savjetovanje »Proizvodnja električne energije iz konvencionalnih i alternativnih izvora i strategija razvoja energetike, Beograd 1987.
- [9] ĐORĐEVIĆ, B., »Hidroenergetski potencijali Jugoslavije i njihovo adekvatno vrednovanje i zaštita,« Jugoslavenska naučna tribina, Beograd, 1986.
- [10] Earth, Energy and Environment, Editorial Research Reports, Dec. 1979.
- [11] Environmental Effects of Cooling Systems at Nuclear Power Plants, Proc. of a Symp., Oslo, 26–30. VIII 1974., IAEA, Vienna, 1975.

- [12] HATIĆ, Đ., RUSSO, A., »Raspoloživost i način pripreme iskorištenja preostalog hidroenergetskog potencijala u SR Hrvatskoj«, Opatija 1988.
- [13] IVANOVIĆ, M., A., »Kako energija postaje roba i kako upravljati energetske resursima u Jugoslaviji, Savjetovanje o energiji, Opatija, 1987.
- [14] Izvještaj o radu, razvoju i funkcioniranju jugoslavenskog elektroenergetskog sistema kao tehnološki jedinstvenog sistema u 1987. godini, JUGEL, Beograd, 1988.
- [15] JONČIĆ, S., »Neka otvorena pitanja, problemi i perspektive dugoročnog razvoja elektroenergetike Jugoslavije«, Savjetovanje »Proizvodnja električne energije iz konvencionalnih i alternativnih izvora i strategija razvoja energetike, Beograd 1987.
- [16] KISIĆ, Z., MUŽEK, Z., »Uvozni energetske ugljen — stanje i značajke međunarodnog tržišta«, Savjetovanje o energiji, Opatija, 1987.
- [17] KNEŽEVIĆ, A., »Upravljanje čistoćom vazduha kod razvoja energetike Jugoslavije«, Jugoslavenska naučna tribina, Beograd, 1986.
- [18] KUN, J., »Učinci i razvoj velikih površinskih otkopa lignita«, Jugoslavenska naučna tribina, Beograd, 1986.
- [19] KUNAJ, H., »Opravdanost primjene suhih rashladnih tornjeva na termoenergetskim objektima u SAP Kosovo«, Institut za elektroprivredu, 1983.
- [20] LIMARI, S., M., »Razvoj sistema proizvodnje gasa i električne energije iz kosovskih lignita«, Energija i razvoj, Jugoslavenska naučna tribina, Beograd, 1986.
- [21] MALBAŠA, N., »Kritički osvrt na ulogu studije o utjecaju na okolinu u rješavanju ekoloških problema«, Institut za elektroprivredu Zagreb, 1953–1988., Zagreb, 1988.
- [22] MALBAŠA, N., »Utjecaj nuklearnih elektrana na okolinu«, Institut za elektroprivredu Zagreb 1953–1983., Zagreb, 1983.
- [23] MATANIĆ, D., KREJČI, M., »Mogućnosti domaće industrije kod građenja velikih termoenergetskih postrojenja«, Savjetovanje o energiji, Opatija, 1987.
- [24] MESAROVIĆ, M., »Proizvodnja električne energije i zaštita životne sredine«, Savjetovanje »Proizvodnja električne energije iz konvencionalnih i alternativnih izvora i strategija razvoja energetike, Beograd 1987.
- [25] MILANOVIĆ, Đ., BOŽIDAREVIĆ, M., »Strategija zaštite životne sredine na primjeru termoelektrana u Kolubarskom ugljenom bazenu«, Energija i ekologija, Beograd, 1986.
- [26] MITROVIĆ, S., »Energija, ekonomija i čovekova sredina«, Energija i ekologija, Beograd, 1986.
- [27] MOČNIK, V., »Termoelektrane 'Nikola Tesla' Obrenovac, razvoj i izgradnja najvećih termoenergetskih kapaciteta za lignit u Jugoslaviji«, Energija i razvoj, Jugoslavenska naučna tribina, Beograd, 1986.
- [28] NADINIĆ, M., »Domaća strojogradnja i elektrostrojogradnja u razvoju elektroprivrede«, Razvoj elektrifikacije Hrvatske (II dio), Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1987.
- [29] PAVLOVIĆ, R., »Energetika SFRJ — stanje i perspektiva razvoja do 2000. god.«, Energija i razvoj, Beograd, 1986.
- [30] PAVLJANIĆ, B., ANUŠIĆ, F., MIMICA, B., ZAMBELI, M., »Naftopetrokemijska postrojenja kao izvori zagađivanja okoliša i mjere zaštite«, Energija i ekologija, Beograd, 1986.
- [31] POPOVIĆ, N., ČEKIĆ, Lj., MADŽIĆ, E., »Projektovanje i razvoj srednjih površinskih kopova mrkog uglja i lignita u složenim rudarskogeološkim uslovima«, Energija i razvoj, Jugoslavenska naučna tribina, Beograd, 1986.
- [32] POŽAR, H., »O energetici Jugoslavije početkom osamdesetih godina«, Energija i razvoj, Jugoslavenska naučna tribina, Beograd, 1986.
- [33] RASULIĆ, V., KOVAČEVIĆ, S., STOJANOVIĆ, D., »Razvoj i izgradnja najvećih površinskih kopova uglja u SRFJ«, Energija i razvoj, Jugoslavenska naučna tribina, Beograd, 1986.
- [34] RUCKELSHAUS, W., D., »Uravnotežavanje rizika«, Pregled, 234/1986, Ambasada SAD-a, Beograd, 1988.
- [35] Rudarski institut Beograd, Racionalno korišćenje rezervi uglja za transformaciju u sekundarne energetske vrste (sa posebnim osvrtom na korišćenje uglja za proizvodnju električne energije), hemiju i druge namene s obzirom na monton-geološke i druge uslove eksploatacije i kvalitete, JUGEL, 1984.
- [36] RUPČIĆ, J., »Analiza mogućih utjecaja VES Lučica na okolinu«, Energija i ekologija, Beograd, 1986.
- [37] SIMIĆ, R., ČUK, Lj., »Negativan utjecaj rudarske eksploatacije uglja na životnu sredinu i smjernice za njihovo ublažavanje«, Energija i ekologija, Beograd, 1986.
- [38] SIMIĆ, R., »Hidroelektrane na Savi kroz Zagreb«, Energija i ekologija, Beograd, 1986.
- [39] SINDIĆ, M., »Energetika i društveno-ekonomska politika«, Energija i razvoj, Jugoslavenska naučna tribina, Beograd, 1986.
- [40] SPASIĆ, N., »Problemi planiranja dugoročnog razvoja, uređivanja i rehabilitacije prostora u velikim lignitskim bazenima«, Energija i ekologija, Beograd, 1986.
- [41] Statistički godišnjak elektroprivrede SFRJ za 1986. god., Beograd 1987.
- [42] Strategija dugoročnog razvoja energetike Jugoslavije, Informator Zagreb, 1983.
- [43] Tehničko-energetski podaci o termoelektranama u Jugoslaviji za 1986. god., JUGEL, Beograd, 1987.
- [44] UNSCEAR, Report, Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects, New York, 1982.
- [45] USAEC, WASH-1224, Comparative Risk-cost-benefit Study of Alternative Sources of Electrical Energy, 1974.
- [46] VONČINA, Z., ČIRJAKOVIĆ, M., TRAJKOVIĆ, D., OMERČEHAJIĆ, H., »Rekultivacija zemljišta narušenog površinskim otkopavanjem uglja«, Energija i razvoj, Jugoslavenska naučna tribina, Beograd, 1986.
- [47] VUK, B., BILČAR, N., »Analiza specifične potrošnje energije u industriji SR Hrvatske«, Savjetovanje o energiji, Opatija, 1987.
- [48] WILSON, R., COLOME, S., D., SPENGLER, J., D., WILSON, D., G., »Health Effects of Fossil Fuel Burning — Assessment and Mitigation«, Ballinger Pub. Co., Cambridge, Mass., 1980.
- [49] ŽIVANOVIĆ, V., STOJKOVIĆ, D., CVETKOVIĆ, M., SIMANOVIĆ, M., »Procena perspektivnosti izabranih ugljenih bazena za izgradnju termoenergetskih kapaciteta za potrebe SR Hrvatske«, Rudarski institut, Beograd, 1986.

**INFLUENCE OF ECOLOGICAL PARAMETERS ON THE PLANNING OF ELECTRIC POWER SYSTEM**

In the article is described the influence of environmental, economic and ecological parameters on possible restrictions in the long term planning and development of electric power system in SFRJ and SR Croatia (electric power system production + fuel cycle), as well as review of up-to-date conditions.

**ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ПЛАНИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

В работе описывается соотношение пространственно-плановых экономических и экологических параметров с особым ударением на возможные ограничения, учитывая экологию при долгосрочном планировании и развитии ЭЭС в СФРЮ и СР Хорватии (ЭЭС выработка + сопровождающие циклы тепловыделения), а также обзор существующего состояния.

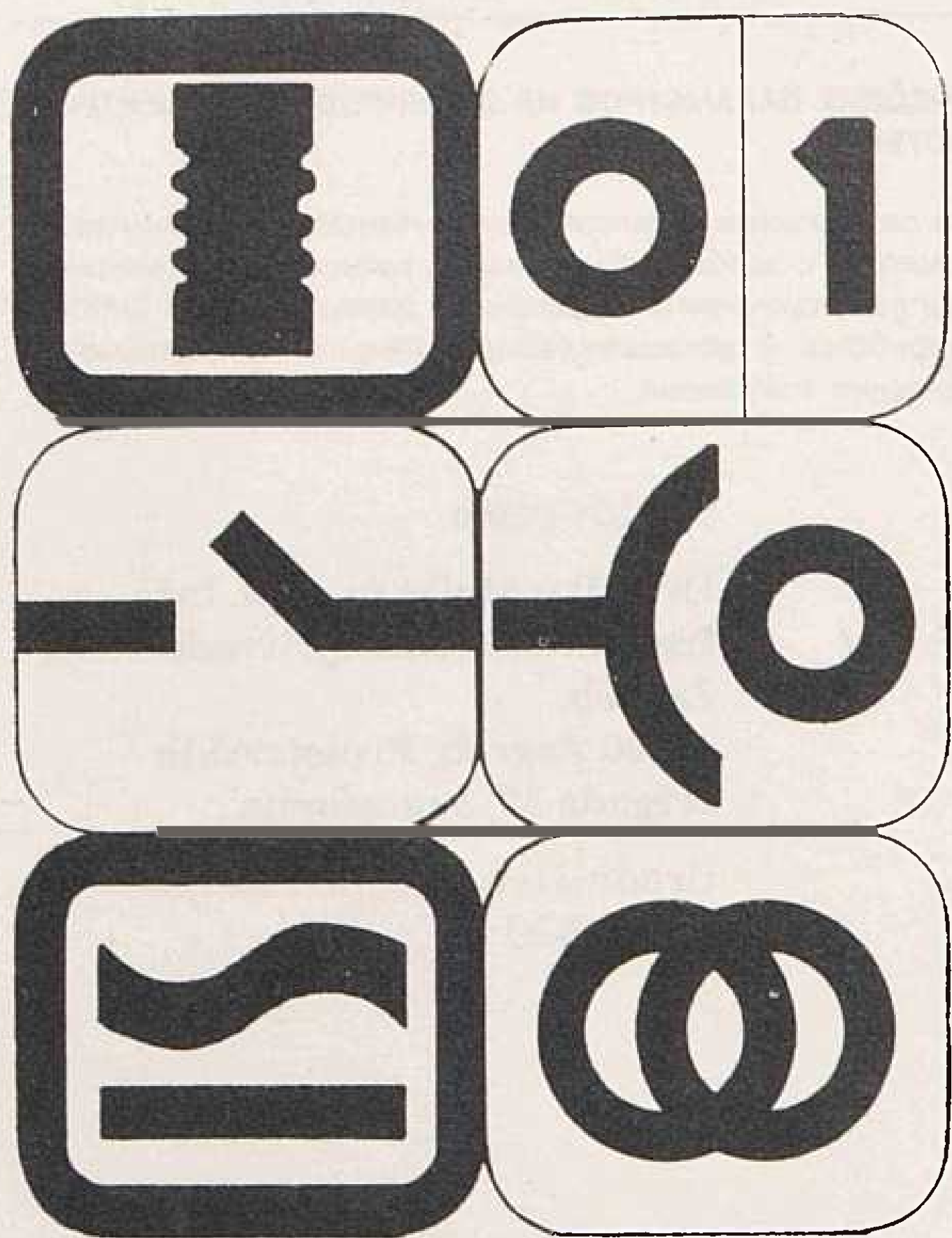
**EINFLUSS DER ÖKOLOGISCHEN PARAMETER AUF DIE PLANUNG DER**

In der Arbeit wird das Verhältnis der räumlich ökonomischen und ökologischen Parameter mit besonderer Betonung auf mögliche Einschränkungen bezüglich des Umweltschutzes und des langfristigen Planens sowie der Entwicklung des EES in der SFRJ und SRH (EES Erzeugung + begleitende brennbare Zyklen), sowie ein Rückblick auf die gegenwärtige Situation beschrieben.

Naslov pisca:

**Dr. Niko Malbaša, dipl. inž.  
Institut za elektroprivredu  
Zagreb,  
41000 Zagreb, Proleterskih  
brigada 37, Jugoslavija**

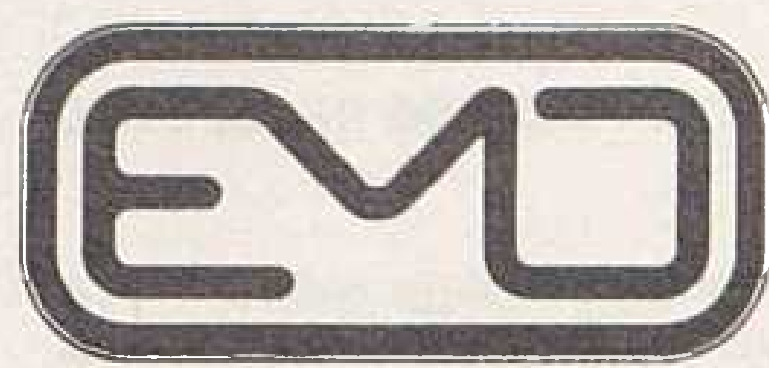
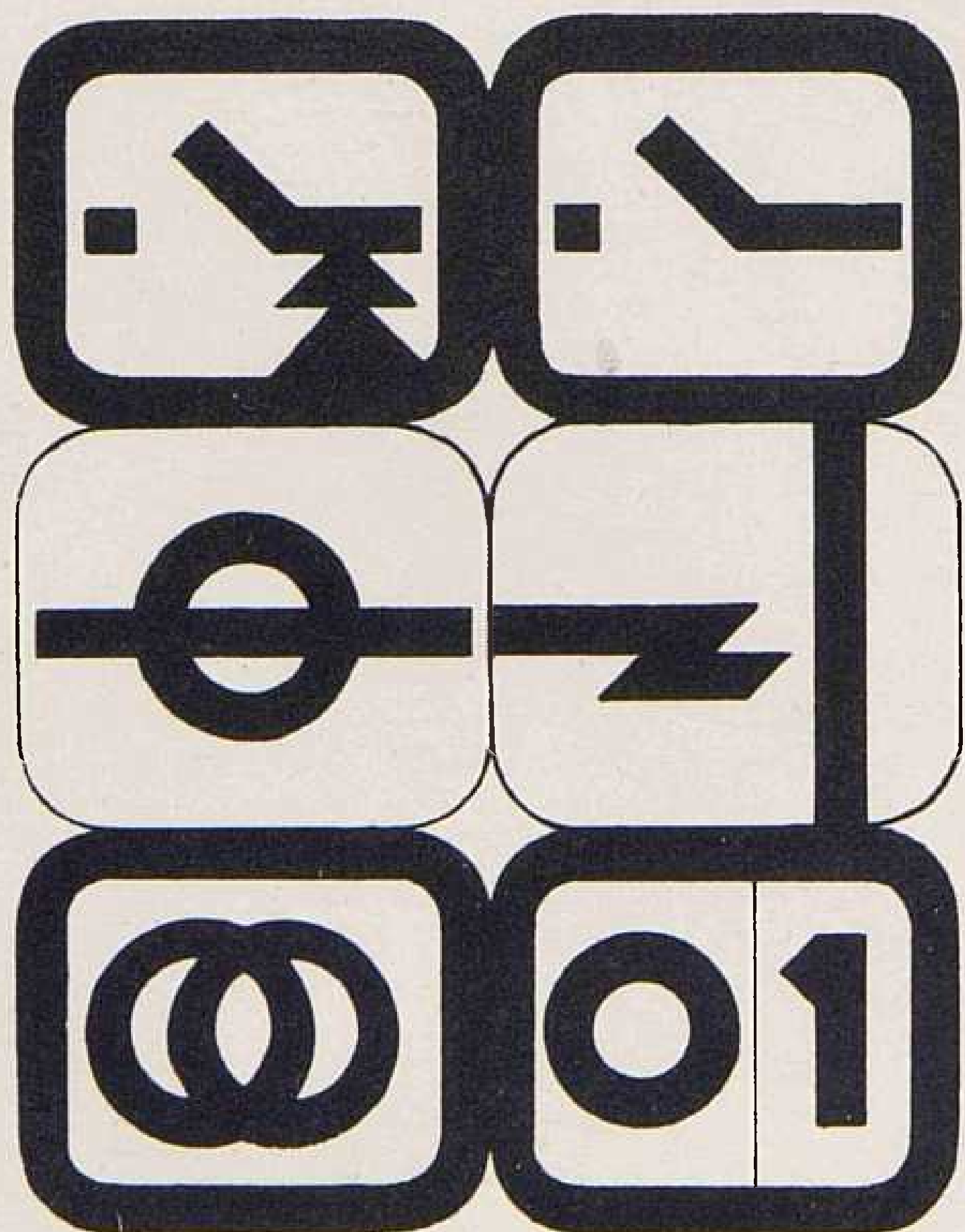
Uredništvo primilo rukopis  
1989-02-20



EMO OHRID projektira, proizvodi i montira elektroopremu i izvodi elektroenergetske i industrijske objekte po sistemu „ključ u ruku”.

Svoje aktivnosti EMO OHRID ostvaruje preko 15 različitih programa koji uključuju elektroopremu za niski, srednji i visoki napon, elektroaparature, kompjuterske sisteme, površinsku zaštitu materijala i inženjering. Gotovo četvrt veka prisutan je na jugoslovenskom i stranom tržištu.

Pretstavljjanje na ovaj način trebalo bi doprineti da se zajednički interesi sa dosadašnjim i budućim partnerima lakše identificiraju, u cilju uspješnije saradnje.

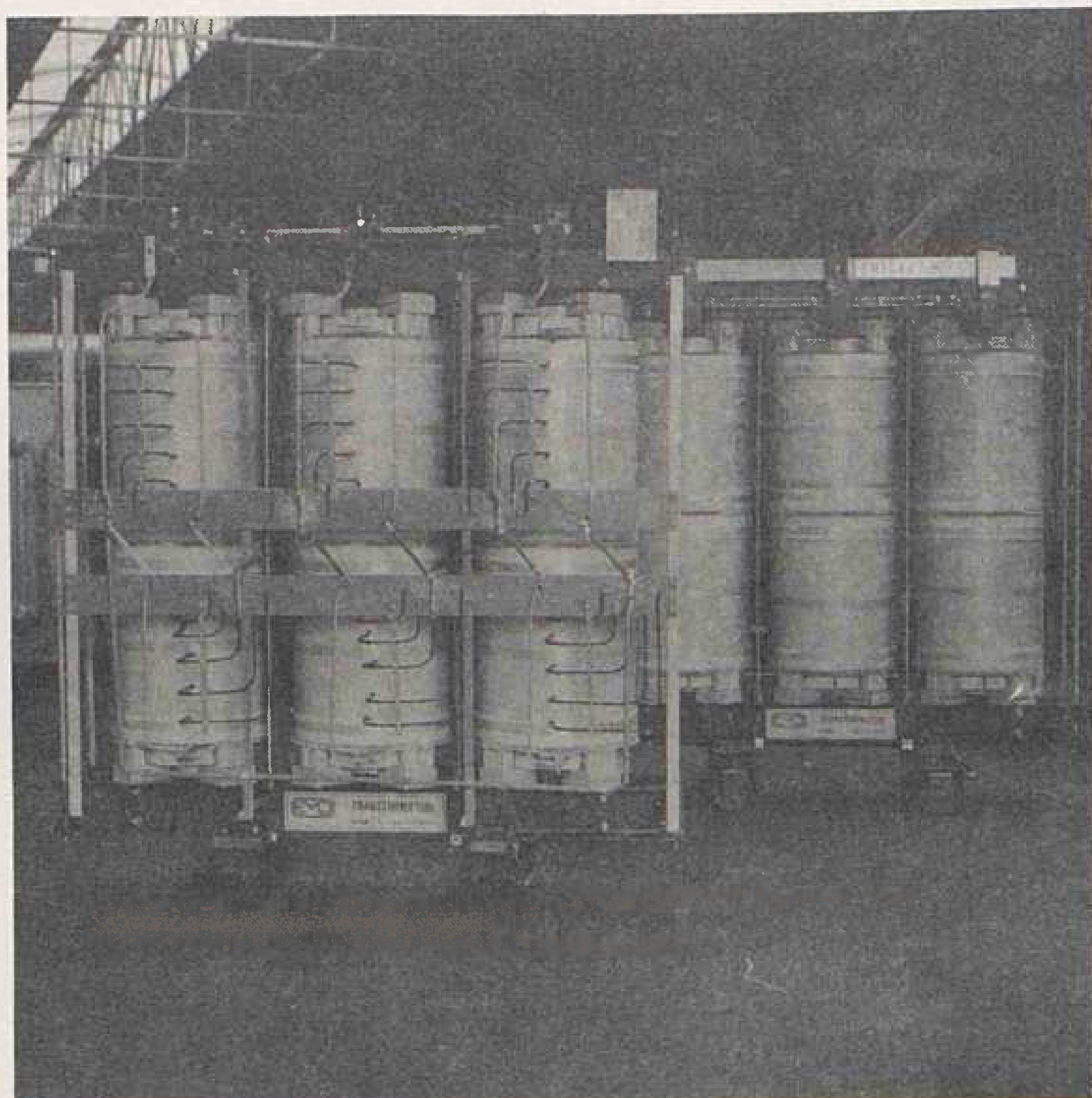


**EMO OHRID**  
Elektroindustrija i inženjering

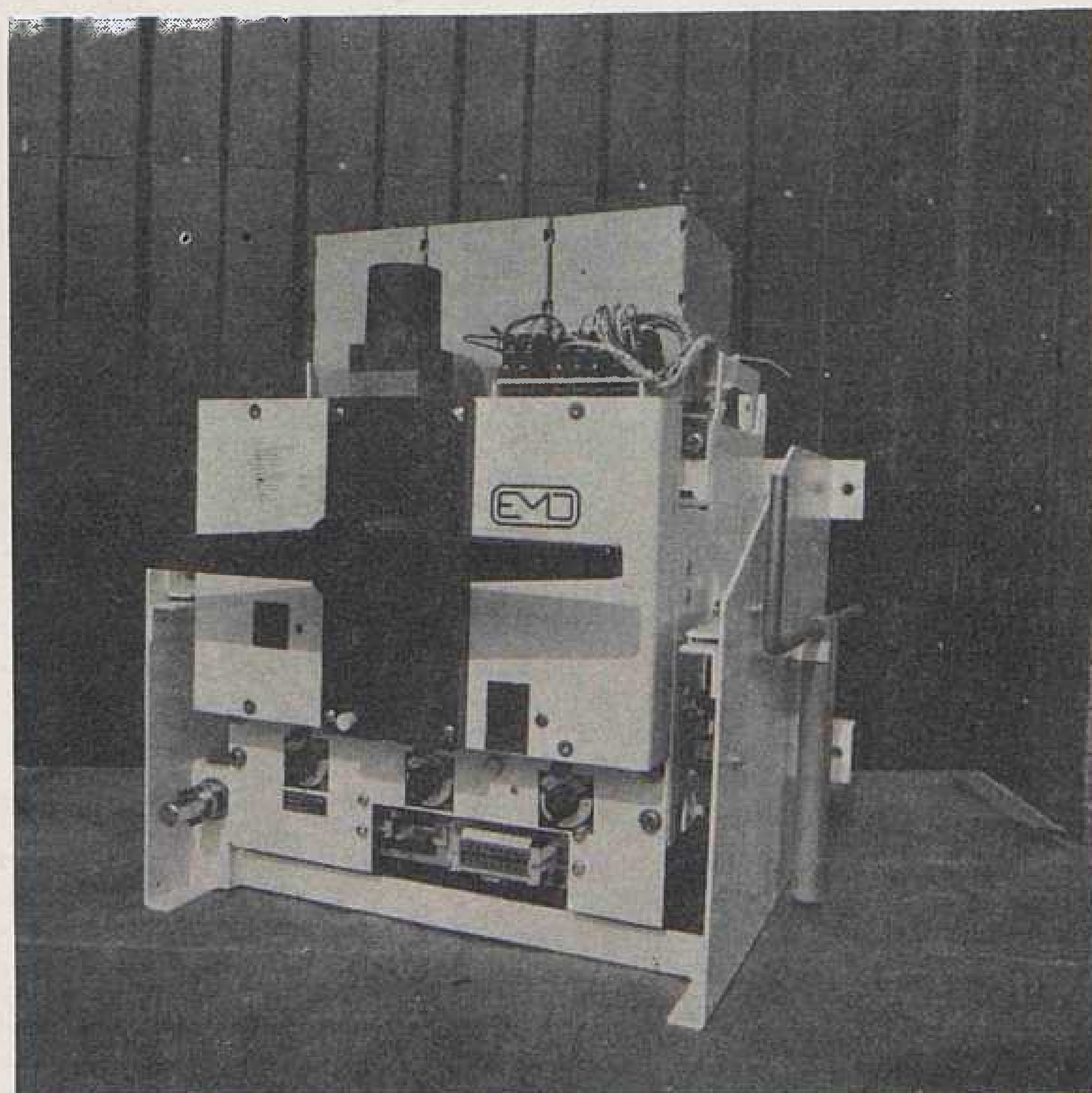
**PROJEKTIRANJE**  
**INŽENJERING**  
**KONSALTING**  
.....

96000 OHRID, P. Fah 118  
JUGOSLAVIJA

Tel. (096) 34-944  
Telex: 53829 YU EMOOH  
Telefax: 33690



Niskonaponski prekidač, 2000 A



Suhi transformator, 630 kVA  
Termička klasa izolacije H

# OTOK TRI MILJE I ČERNOBIL

## Kratkoročne posljedice akcidenata

Vladimir Vuković, Zagreb

UDK 621.039.58:094.7/8

PREGLEDNI RAD

Sličnost dramatične obustave rada ovih dviju velikih nuklearnih energetske jedinica, a različitost s obzirom na posljedice i projekt reaktora i njegovih sigurnosnih i zaštitnih sistema bila je poticaj za ovaj članak koji, napisan u četiri dijela, obuhvaća:

- projekt reaktora i reaktorskih sistema s komparacijom funkcija
- analizu okolnosti koje su dovele do akcidenta s kronologijom razvoja događaja
- kratkoročne i dugoročne posljedice izazvane akcidentima
- praksu koja se može korisno primijeniti u postojećoj i budućoj nuklearnoj tehnologiji.

**Ključne riječi:** nuklearna elektrana, reaktor, nuklearna sigurnost, kvarovi.

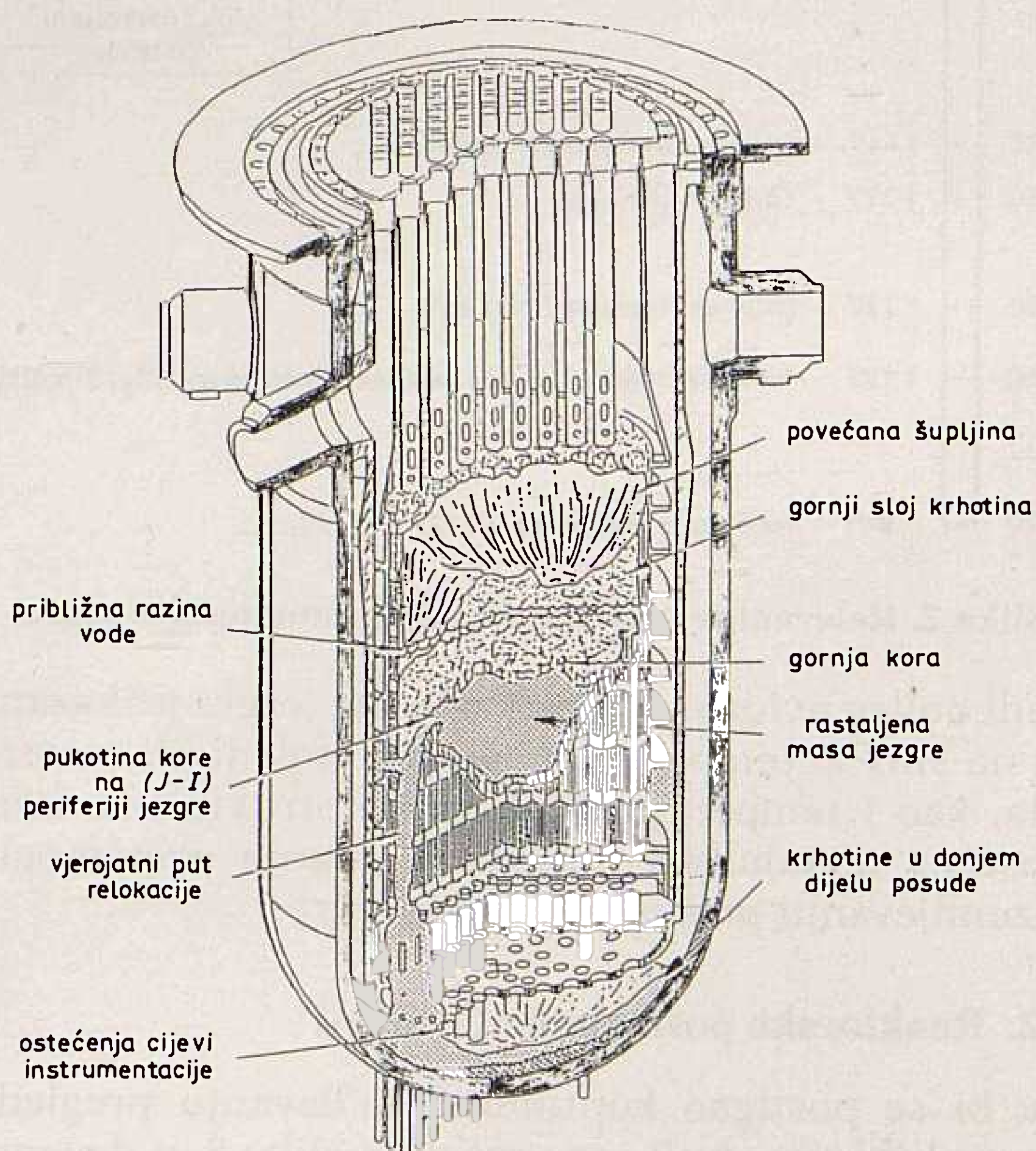
### 1. STANJE POSTROJENJA NAKON AKCIDENTA

#### 1.1. Reaktorsko postrojenje TMI-2

Interesantno je primijetiti da slika stanja postrojenja nakon akcidenta zavisi od vremenske udaljenosti od događaja i da je tek sada, gotovo deset godina kasnije, ova slika prilično jasna. Na slici 1. prikazana je konfiguracija jezgre zbog veće relokacije mase jezgre negdje od 224. do 226. minute akcidenta. Slika je nastala na rezultatima istraživanja i analiza organizacije GEND. Naime, pospremanje postrojenja TMI-2 i izvlačenje dragocjenih pouka koordinira se istraživačkim programom koji vodi Idaho National Engineering Laboratory, EG & G Idaho, Inc., a zbog tehničke i financijske podrške osnovana je GEND, što su inicijali od GPUN kao vlasnika elektrane, EPRI, NRC i DOE. Iako je reaktor stavljen pod nužnu kontrolu hlađenja degradirane reaktorske jezgre pri kraju četvrtog sata akcidenta, preliminarni rezultati istraživanja, odnosno analize scenarija taljenja jezgre i relokacije rastaljene mase sugeriraju da je značajno hlađenje ove mase trajalo više dana.

Pri operaciji vađenja goriva, tek 1985. analize uzorka pokazale su da je oštećenje jezgre mnogo veće nego se dotada moglo pretpostaviti. Srećom, relokacija rastaljenog materijala jezgre ipak je rezultirala geometrijom jezgre koja omogućava hlađenje tako da je posuda reaktora ostala čitava. Pretpostavlja se da nije došlo ni do oštećenja eventualnim lokalnim taljenjem obloge dna posude zbog naleta mlaza rastaljenog materijala jezgre. Krš u gornjem dijelu jezgre i onaj u donjem dijelu posude vjerojatno se skrutio desetak minuta nakon relokacije. Dakle, fizičko oštećenje može se uglavnom svesti na unutrašnju strukturu reaktorske posude. Fizijski produkti su transportirani optokom reaktorskog hladila i kroz nezatvoreni rasteretni ventil tlačnika u ispusnu posudu

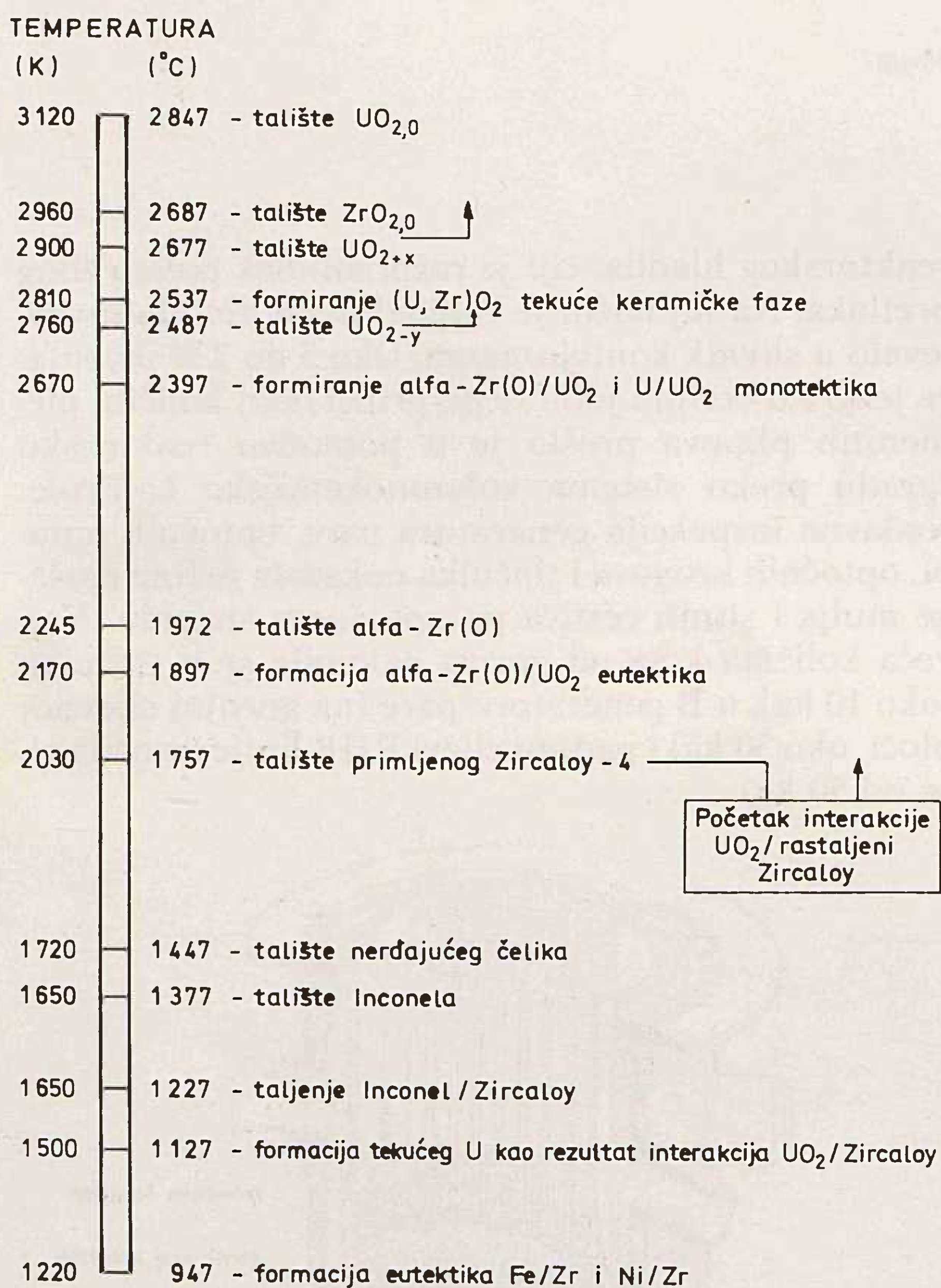
reaktorskog hladila, čiji je rasprski disk pukao zbog pretlaka. Na taj način je radioaktivno hladilo dospjevalo u slivnik kontejnmenta. Oko 5 do 7 % inventara jezgre u ceziju i jodu te po prilici istoj količini plemenitih plinova prešlo je u pomoćnu reaktorsku zgradu preko sistema volumnokemijske kontrole. Nedavna inspekcija generatora pare, optočnih pumpi, optočnih krugova i tlačnika pokazala je fine naslage mulja i sitnih čestica po optočnom sistemu. Najveća količina krša od goriva nakupila se u tlačniku (oko 10 kg), u B generatoru pare (na gornjoj cijevnoj ploči, oko 50 kg) i padnoj cijevi RHR linije (možda više od 50 kg).



Slika 1.

Maksimalne temperature u akcidentu kretale su se od oko 3 100 K u centru jezgre (rastaljen  $UO_2$ ) do oko 1 255 K neposredno iznad jezgre i do 723 K na visini priključka cijevi za izlaz hladila iz posude. Za vrijeme akcidenta rastaljeno je više od 40 % materijala jezgre. Odnosene su dvije zone gornje razdjelne rešetke za gorivne elemente. Donji dijelovi triju ploča ometača jezgre na istočnoj strani rastaljene jezgre i jedan dio rastaljenog materijala razlilo su se u prostor bypassa jezgre. Oko 10 do 20 tona rastaljenog materijala razlilo se iz jezgre i prostora bypassa jezgre kroz donju nosivu konstrukciju jezgre, u donji dio posude reaktora.

Originalna jezgra sadrži oko 94 000 kg  $UO_2$  i oko 35 500 kg ostalog materijala (nosive konstrukcije, apsorbera itd.). Radi oksidacije materijala jezgre u akcidentu, ali i odnošenja dijela rastaljenog materijala, procjenjuje se težina materijala jezgre na 133 200 kg.



Slika 2. Relevantne metalurške referentne temperature

Radi boljeg uvida u scenarij taljenja jezgre prikazane su na slici 2. temperature taljenja pojedinih materijala, kao i temperature promjena strukturnih faza. Opsežna metalurška ispitivanja znatnu pripomogla razumijevanju procesa taljenja jezgre.

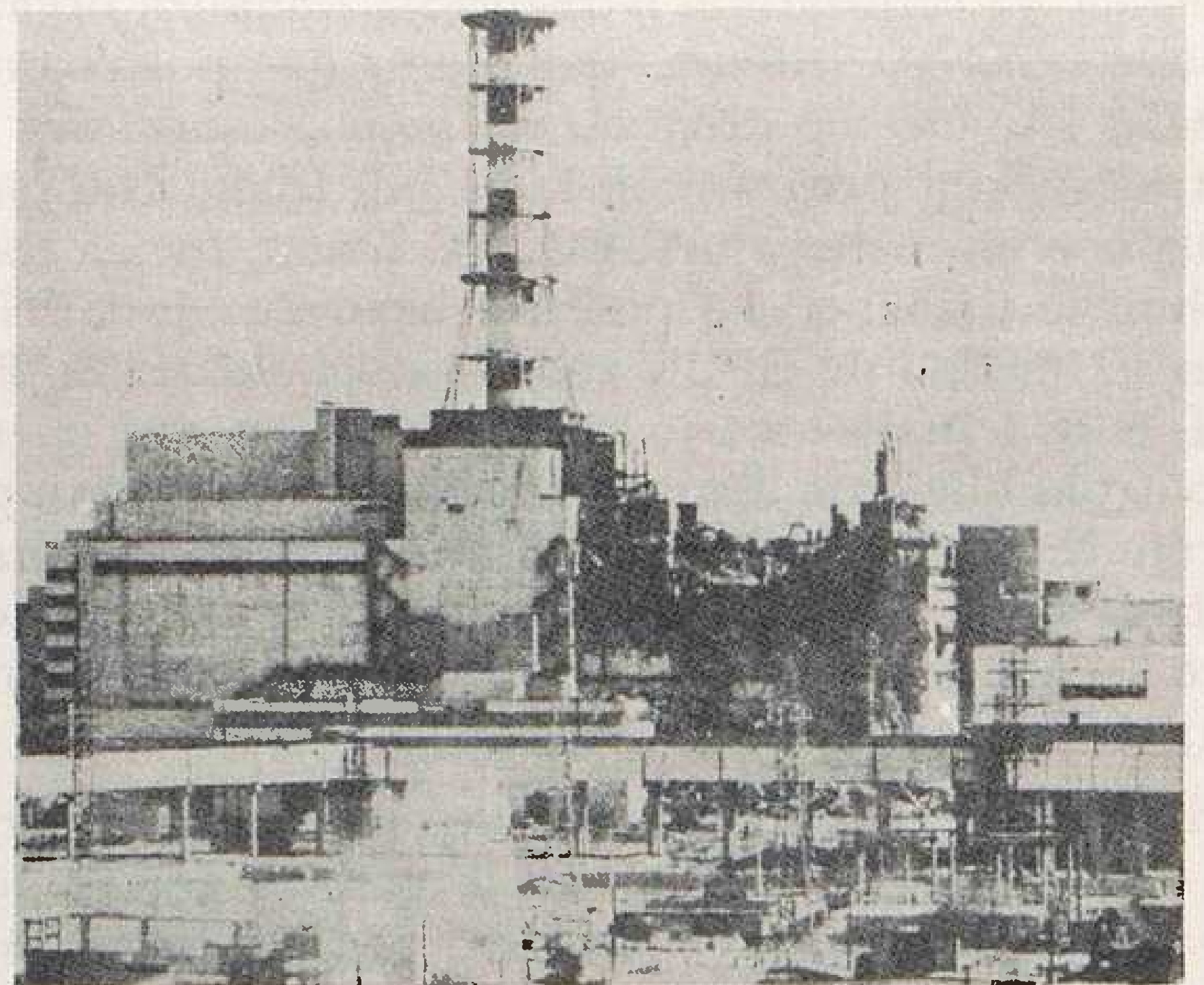
## 1.2. Reaktorsko postrojenje Černobil

Da bi se postigao kontinuitet u davanju pregleda ovog akcidenta, treba se vratiti na sliku 5. u drugom dijelu ovog prikaza («Energija» br 4/88, str. 323) i ponovo podsjetiti na trenutke »bijega reaktora«. Izme-

đu 01:23:42 i 01:23:43, u prikazu neutronske snage, prelazi se sa krivulje A na krivulju D, zbog nužnosti promjene vertikalne skale. Nakon 01:23:40 promptno kritična ekskurzija čini nagli porast snage koju samo Dopplerov efekt, zbog zagrijavanja goriva, za kratko vrijeme vraća (krivulja D), da bi za nekoliko trenutaka stalna redukcija protoka vode kroz kanale goriva dovela do intenzivne produkcije pare, razbijanja goriva, udarnog vala isparenja hladila (s česticima raspršenog goriva koje se injektira u vrelu vodu). To rezultira u naglom i razornom porastu tlaka u kanalima s gorivom i, konačno, u eksploziji koja razara tlačne granice optoćnog sistema reaktora. Druga ekskurzija (u 1:23:45) predstavljena je u kompjutorskom modelu s redistribucijom dezintegriranog goriva u kipućoj vodi i vrućem grafitnom moderatoru. Trenutak razaranja goriva koji je u modelu simuliran uzet je pri prelazu gustoće snage u gorivu od 300 cal/g, kada je registriran i nagli pad protoka hladila (krivulja K) zbog zatvaranja protupovratnih ventila na glavnim optoćnim pumpama (odziv na porast tlaka u jezgri). Protok se zatim djelomično pojavio (nakon pucanja gorivnih kanala), ali je tada voda usmjerena u masu rasprskanog cirkonija i vrućeg grafita. Reakcija koja iz toga slijedi producira velike količine vodika i ugljik-monoksida, koji u kontaktu sa zrakom iznad reaktora vjerojatno iniciraju drugu eksploziju.

Tako je reaktor broj 4 u Černobilu potpuno razoren. To je bio užareni vulkan koji prijeti i susjednim postrojenjima, a izbacuje i smrtonosnu radioaktivnost u okolinu.

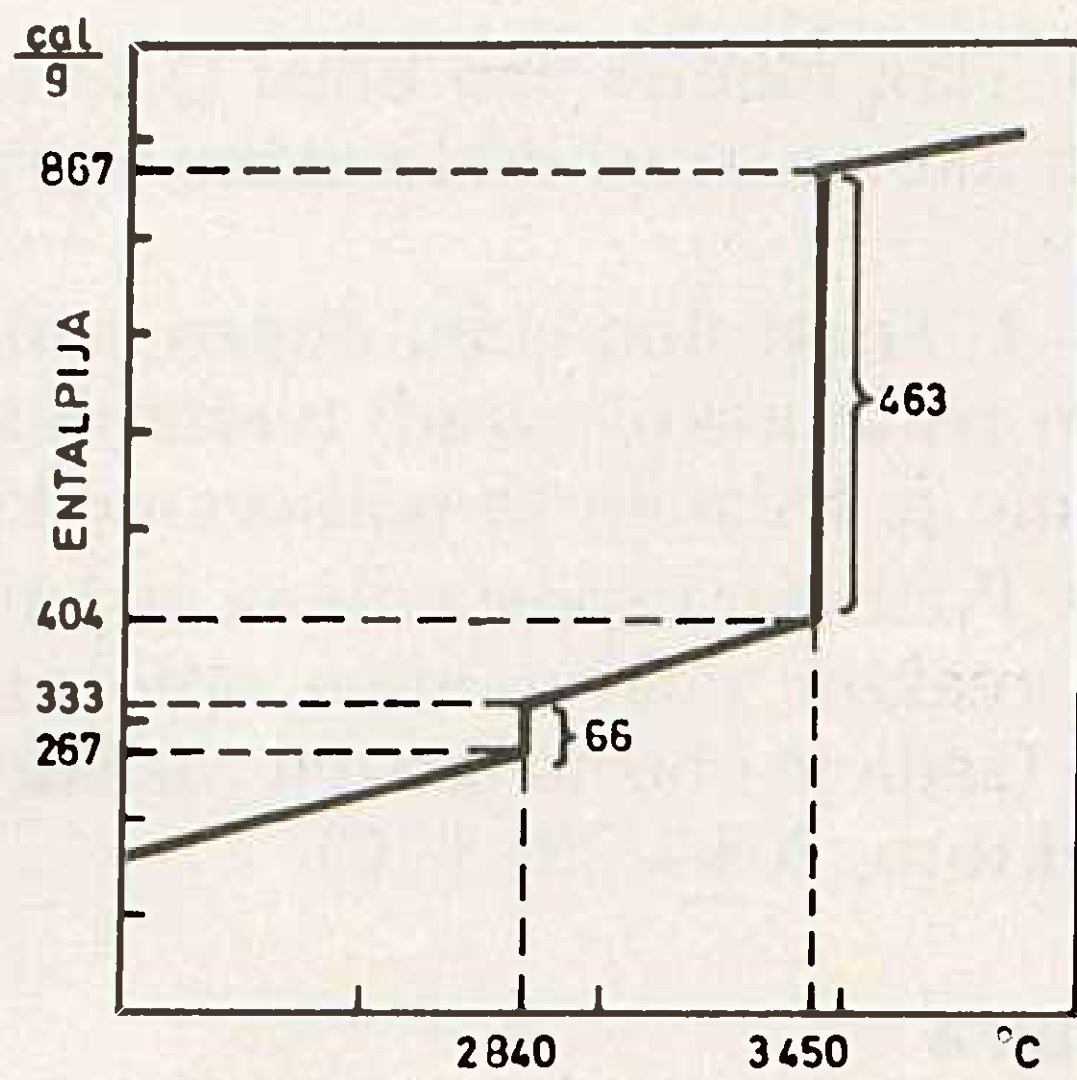
Razoreni reaktor prikazuje slika 3.



Slika 3. Razoreni reaktor br. 4 uz susjedni reaktor br 3 u Černobilu

Radi ilustracije povezivanja skoka radioaktivnosti i dezintegracije goriva, na slici 4. prikazana je ovisnost entalpije uran-dioksida od njegove temperature. S pretpostavljenim prosječno ubačenim viškom energije od 300 cal/g nastaje veoma nepovoljna distribucija snage u jezgri, koja može dovesti lokalno i do mnogo većih viškova energije u gorivu (čak i 400 do 600 cal/g  $UO_2$ , odnosno 1674 do 2511 J/g).



Slika 4. Entalpija u funkciji temperatura  $UO_2$ 

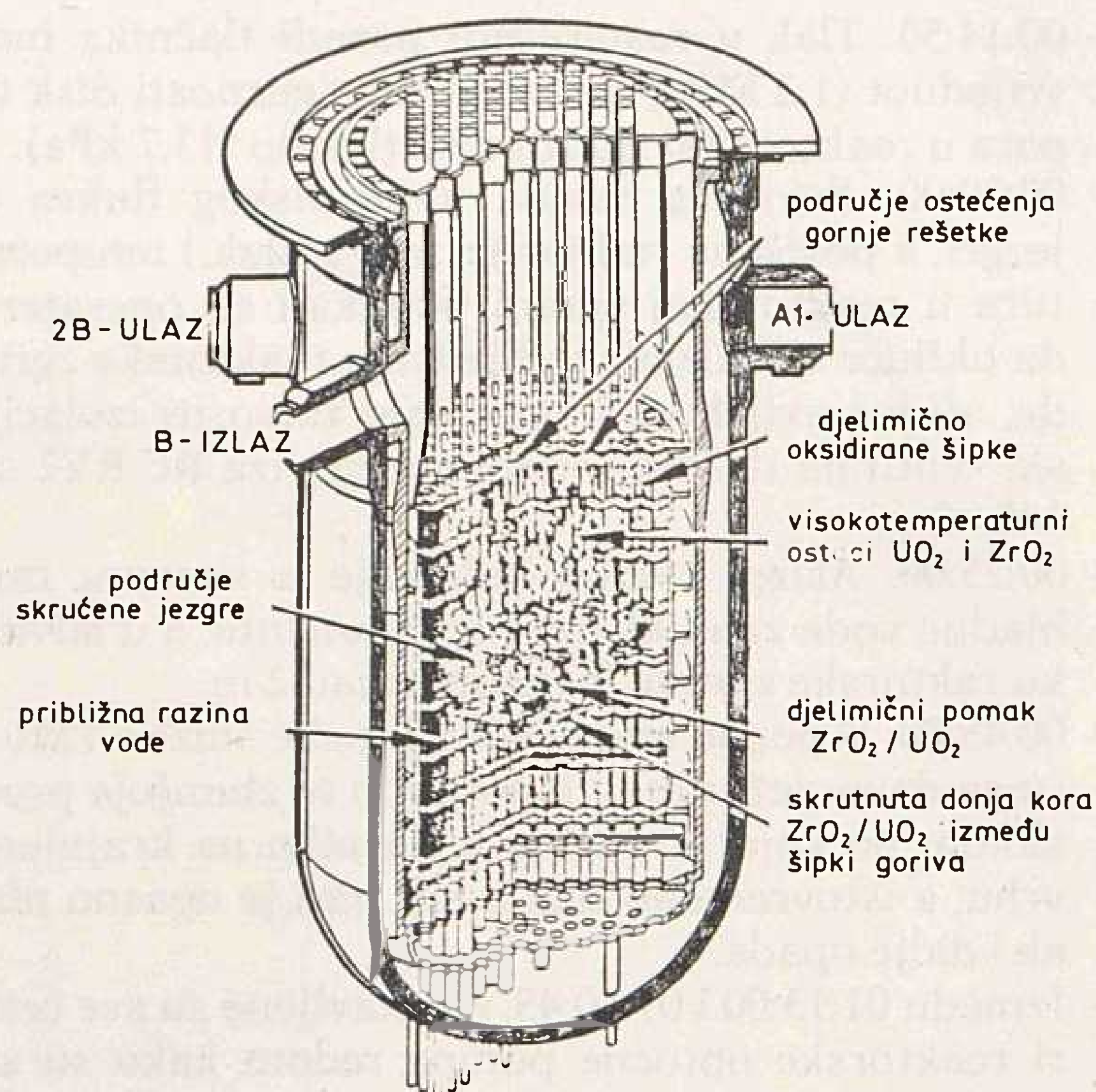
Prema dosadašnjim spoznajama (MacDonald, 1980) razbijanje jezgre do kojeg je došlo u Černobilu sasvim je očekivano. Slika pokazuje da bi  $UO_2$  gorivo, s deponiranjem 1674 do 2511 J/g energije, bilo potpuno rastaljeno i barem dijelom ispareno, jer su to fundamentalne karakteristike materijala (toplinski kapacitet).

## 2. STANJE OKOLINE NAKON AKCIDENTA I NEPOSREDNE AKCIJE U ELEKTRANI I OKOLINI

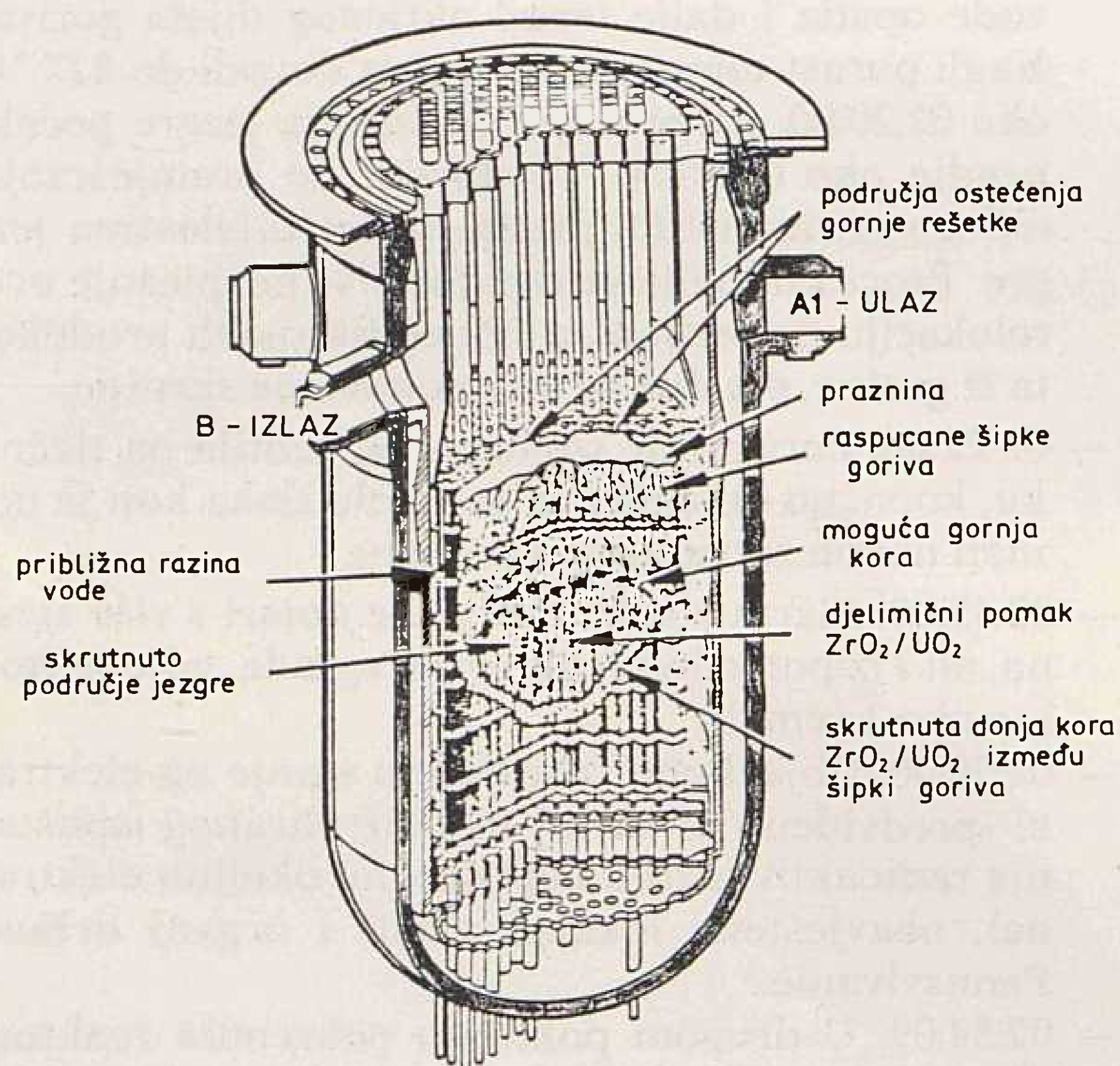
### 2.1. TMI-2

Za stanje okoline po scenariju akcidenta odlučujući su bili događaji:

- 00:00:03. Otvaranje rasteretnog ventila tlačnika (RC-RV2) pri (15,48 MPa), zbog prekida oduzimanja energije (ispad turbine).
- 00:00:13. Tlak u reaktoru pada na (15,14 MPa), ali ventil (RC-RV2) ne zatvara (kao što treba u tom trenutku) jer je zapeo u otvorenom položaju i ispušta kontaminiranu vodu iz reaktora u rasteretnu posudu tlačnika (u reaktorskoj zgradi).
- 00:03:12. Operateri još nisu svjesni otvorenosti ventila RC-RV2 i ne zatvaraju ispred njega izolacijski ventil, dopuštaju da se tlak u reaktoru približi na (9,81 MPa), pothlađenje se smanjuje, a u rasteretnoj posudi tlačnika (dotokom hladila iz reaktora) tlak raste na (0,82 MPa) te otvara njezin sigurnosni ventil, preko njega voda iz reaktora dospijeva u slivnik reaktorske zgrade.
- 00:06:00. Tlak hladila pada ispod tlaka zasićenja (9,27 MPa), temperatura hladila raste jer još uvijek nije otvoreno sigurnosno napajanje generatora pare (a još prije je reducirano sigurnosno injektiranje), instrument razine neadekvatno pokazuje da je tlačnik pun tekuće faze.
- 00:07:00. Pokrenuto prepumpavanje vode iz slivnika reaktorske zgrade u pomoćnu zgradu.
- 00:08:00. Otvaranje izolacijskih ventila za napajanje generatora pare u nuždi, te ponovno padanje tlaka (i temperature) u reaktoru.
- 00:10:40. Alarm visoke razine vode (1,4 m) u slivniku reaktorske zgrade.
- 00:14:50. Tlak u rasteretnoj posudi tlačnika ima vrijednost (1,3 MPa), puca njezin sigurnosni disk te para u reaktorskoj zgradi diže tlak do (13,7 kPa).
- 00:20:00. Povišena razina neutronskog fluksa u jezgri, a povišena radijacija, vlaga, tlak i temperatura u reaktorskoj zgradi ponukali su operatere da uključe ventilacijsko hlađenje reaktorske zgrade, ali još uvijek ne pokušavaju zatvoriti izolacijski ventil na tlačniku (temperatura iza RC-RV2 > 140 °C).
- 00:25:00. Alarm visoke radijacije u sistemu rashladne vode za nuklearne komponente, a u slivniku reaktorske zgrade je razina iznad 2 m.
- 00:45:00. U pogon stigao šef tehničke službe TMI-2 (toga dana dežuran), ali potpuno se zbunjuje pred slikom po kojoj je razina u tlačniku na krajnjem vrhu, a istovremeno tlak u sistemu je opasno nizak i dalje opada.
- Između 01:13:00 i 01:40:45, zaustavljene su sve četiri reaktorske optočne pumpe redom kako su se javljale opasne vibracije zbog kavitacije (niski protok, opasnost za brtvenice). Prestanak cirkulacije omogućava separaciju vode i pare, te razina vode opada i dalje ispod aktivnog dijela goriva. Nagli porast temperature jezgre dovodi do 827 °C oko 02:20:00, da bi nagla oksidacija jezgre počela negdje oko 02:30:00. To dovodi do premještanja obloge goriva i  $UO_2$  prema nižim dijelovima jezgre. Proces taljenja goriva još više pospješuje ovu relokaciju materijala, a i bijeg fisionih produkata iz goriva, sve dok se ono ponovo ne skrutne.
- 02:22:00. Zatvaranje izolacijskog ventila na tlačniku, konačno omogućava kontrolu tlaka koji je odmah nakon zatvaranja u porastu.
- 02:45:00. Alarm visoke radijacije dolazi s više strana, ali i iz pomoćne reaktorske zgrade, gdje je razina oko 1 rem/h.
- 02:50:00. Objavljeno izvanredno stanje na elektrani (predviđeno za slučaj nekontroliranog ispuštanja radioaktivnosti u neposrednu okolinu elektrane), obavještene lokalne vlasti i organi države Pennsylvaniae.
- 02:54:09. U drugom pokušaju pokrenuta reaktorska optočna pumpa (RC-P-2B) pa dolazi do tranzijenta u trajanju < jedne minute zbog injektiranja hladila u reaktor (na slici 5 prikazano je hipotetičko stanje jezgre neposredno prije ovog tranzijenta, a na slici 6 neposredno nakon toga).
- 02:56:19. Izoliran generator pare SG-B zbog propuštanja cijevi (zatvoreni MS ventili).
- 03:00:00. Na elektranu stigao rukovoditelj TMI i nakon upoznavanja sa situacijom, preuzeo ulogu direktora izvanrednog stanja.
- 03:23:23. Proglašeno opće stanje opasnosti, angažirane okružne vlasti, stručne organizacije i policija u Middletownu.
- 03:48:00. Porast tlaka u kontejmentu sa 6,87 na (20,59 kPa); o akcidentu obavještena NRC Region I (ranije nije bilo moguće jer je ured bio zatvoren).
- 03:55:39. Pokrenut izolacijski signal kontejnmenta (postavna vrijednost (27,46 kPa), pa je za prvo vri-



Slika 5. Jezgra neposredno prije pumpnog tranzijenta



Slika 6. Jezgra neposredno poslije pumpnog tranzijenta

jeme reaktorska zgrada bila izolirana, ali su nešto kasnije operateri otvorili one izolacijske ventile koji dovode vodu u reaktorski sistem ili iz slivnika reaktorske zgrade u pomoćnu zgradu.

- 04:12:00. Aktiviran NRC Region I Centar, odgovoran za TMI-2 akcident.
- 05:00:00. U kontejnmentu porast tlaka na (30,89 kPa).
- 05:10:00. NRC Region I obavještava Bijelu kuću.
- 06:00:00. U elektranu stiglo pet inspektora NRC radi kontrole situacije, a u to vrijeme je u kontrolnoj sobi radijacija iznad dozvoljene, pa se osoblje koristi zaštitnim maskama, što otežava međusobnu komunikaciju.
- 07:00:00. Osoblje nebitno za elektranu mora je napustiti.

- 08:50:00. Tlak hladila pao blizu (3,43 MPa), pa su se tlačni akumulatori djelomično ispraznili u jezgri.
- 09:49:44. U kontrolnu sobu dopro zvuk eksplozije vodika u reaktorskoj zgradi (vršni tlak (192 kPa), a proradio je i sistem za polijevanje kontejnmen-
- 16:04:00. Ponovno uspostavljena cirkulacija hladila kroz reaktor pokretanjem optočnih pumpi u krugu A (sada je ulazno-izlazna razlika temperature u reaktoru, 204,4/293,3 °C).

## 2.2. Černobil-4

Nagla razaranja u prvim sekundama akcidenta, visoka razina radijacije, te visoke temperature koje slijede, ne dopuštaju direktna mjerenja, a i izvanredni efekti iznenađenja uvjetuju opis događaja prema vizualnim zapažanjima, mjerenjima radijacijskih razina kasnije, saznanjima iz eksperimenta prije akcidenta i proračunima nakon akcidenta. Bolji uvid u slijed događaja dobit će se detaljnim analitičkim i eksperimentalnim studijama, a uskoro nakon akcidenta bile su poznate činjenice:

- Eksplozije su rezultirale u izbacivanju materijala.
- Druga eksplozija je izbacila gorivo i grafit.
- Grafitni blokovi nalazili su se i izvan reaktorske zgrade.
- Zgrade su veoma stradale.
- Kran i stroj za izmjenu goriva su se urušili.
- Gornja reaktorska ploča se okrenula u vertikalni položaj unutar zida reaktora.
- Svi su kanali goriva rasprsnuti.
- Lančana reakcija je bila zaustavljena.

U nedostatku preciznije kronologije može se dati samo slijed događaja koji su tekli ovako:

Unošenje velike reaktivnosti rezultira ekstremnim porastom snage i rasprskavanjem goriva. Interakcija vrućeg goriva i ostalih fragmenata (moguća i proizvodnja vodika) rezultira u eksplozivnoj proizvodnji pare i adekvatnom udaru tlaka koji razara brojne gorivne kanale i gornji dio cijevi tih kanala. Zbog te prve eksplozije rasprsnuti materijal izbačen je i ruši krov reaktorske zgrade. Reaktorski prostor projektiran za pucanje jednog kanala ne odolijeva udarnom valu predtlaka koji podiže gornju ploču reaktora težine oko 1 000 tona. U ovom momentu gorivni kanali su popucani, kontrolne šipke podignute i horizontalne cijevi porezane. Nakon dvije do tri sekunde javlja se i druga eksplozija (rezultat produkcije vodika ili druga eskurzija snage) koja izbacuje oko 25 % grafitnih blokova i drugog materijala iz gorivnih kanala. Inventar sistema našao se u reaktorskoj jezgri, reaktorskoj zgradi i u prostoru ispod jezgre. Popucali su i tankovi zaštitne vode (oko reaktora). Vodu operateri pokušavaju nadoknaditi pumpama za napajanje u nuždi (u separature pare i vodene komore između pumpi i separatora) u količini 200 — 300 m<sup>3</sup>/h. Dio vode je ispario, a ostatak prijeti da poplavi jedinice 1 i 2, pa su pumpe još prvog dana zaustavljene.

Rušenje zgrade omogućilo je prolaz zraka kroz vrlo zagrijanu jezgri. Temperature u jezgri nije bilo mo-

guće mjeriti, pa se gorenje grafita teško može opisati. Prvog dana je zapaženo istjecanje pare iz reaktora, a drugog dana manja količina crnog dima, što bi moglo značiti reakciju grafita sa zrakom i parom. Računa se da je više od 10 % grafita izgorjelo.

Nakon nekoliko dana, kada je upravljanje akcidentom dobro uznapredovalo, u reaktorski prostor helikopterima je ubačeno:

- oko 40 t  $B_4C$ , protiv ponovne kritičnosti
- oko 800 t dolomita ( $(MgCa)(CO_3)_2$ ), da bi se stvarao ugljik-dioksid za gašenje gorenja i apsorpciju topline
- oko 1 800 t ilovače i pijeska, za filtraciju radionuklida i gušenje vatre, te
- oko 2400 t olova, za apsorpciju topline (topljenje) i stvaranje tekućeg pokrivača koji se s vremenom skrutne pa štiti i brtvi prema gornjem prostoru jezgre.

Te su mjere bitno smanjile strujanje zraka i bijeg fisionih produkata, ali i smanjile ispuštanje topline u okolinu.

Mjerenjem gama-zračenja izvan betonskog biološkog štita je ustanovljeno da se najveći dio goriva našao ispod jezgre, a u prostoru donjih dovodnih cijevi, jedan dio je ostao u jezgri (uglavnom po obodu). Oko 3 % do 4 % goriva izbačeno je u obliku fragmenata (po elektrani), a čestice manje od 1 mikrometar, pa i one do desetak mikrometara, odnesene su i na veće udaljenosti.

Donja betonska ploča nije se protalila. Ovaj akcident komplicira i požar uzročen vrućim grafitom i nuklearnim gorivom koje je letjelo po krovovima obližnjih zgrada. Dežurnoj vatrogasnoj jedinici u elektrani gotovo odmah su se pridružile vatrogasne jedinice iz obližnjih Pripjata i Černobila, koje su se i po cijenu života borile s vatrom koja je prijetila i reaktorskom postrojenju broj 3. Požar je ugušen za manje od 4 sata pošto je počeo.

### 3. POSLJEDICE AKCIDENTA NA SUSJEDNE ENERGETSKE JEDINICE

#### 3.1. TMI

Kako se na jednoj lokaciji nuklearne elektrane grade s većim brojem energetske jedinice, važno je s toga aspekta imati uvid u eventualne probleme koji nastaju kao rezultat međuzavisnosti više jedinica. U vrijeme TMI-2 akcidenta na reaktorskom postrojenju TMI-1 završena je izmjena goriva (ovaj reaktor je bio prije toga u pogonu oko 4,5 godine). Zbog akcidenta na TMI-2 moralo se produžiti i sa zaustavom postrojenja TMI-1, kako bi se detaljno analizirala situacija i spriječilo bilo što slično na ovom postrojenju.

Reaktorsko postrojenje TMI-1 vraćeno je u pogon 3.10.1985, no s vrlo opreznim dizanjem snage i tromjesečnim opsežnim testiranjima. Iako je US NRC izglasala odobrenje za nastavak rada još 29. 5. 1985, Vrhovni sud SAD izglasao je dozvolu tek sada. Za više od 6 godina stajanja izvršeno je preko 100 različitih izmjena u kontrolnoj sobi, na opremi, u treningu

i poboljšanju raznih postupaka (s troškovima oko 95 milijuna USA \$). Pogonsko ljudstvo je gotovo potrostručeno, u kontrolnoj sobi je rad organiziran sa 6 smjena, što u svakih 6 tjedana omogućava 1 tjedan treninga.

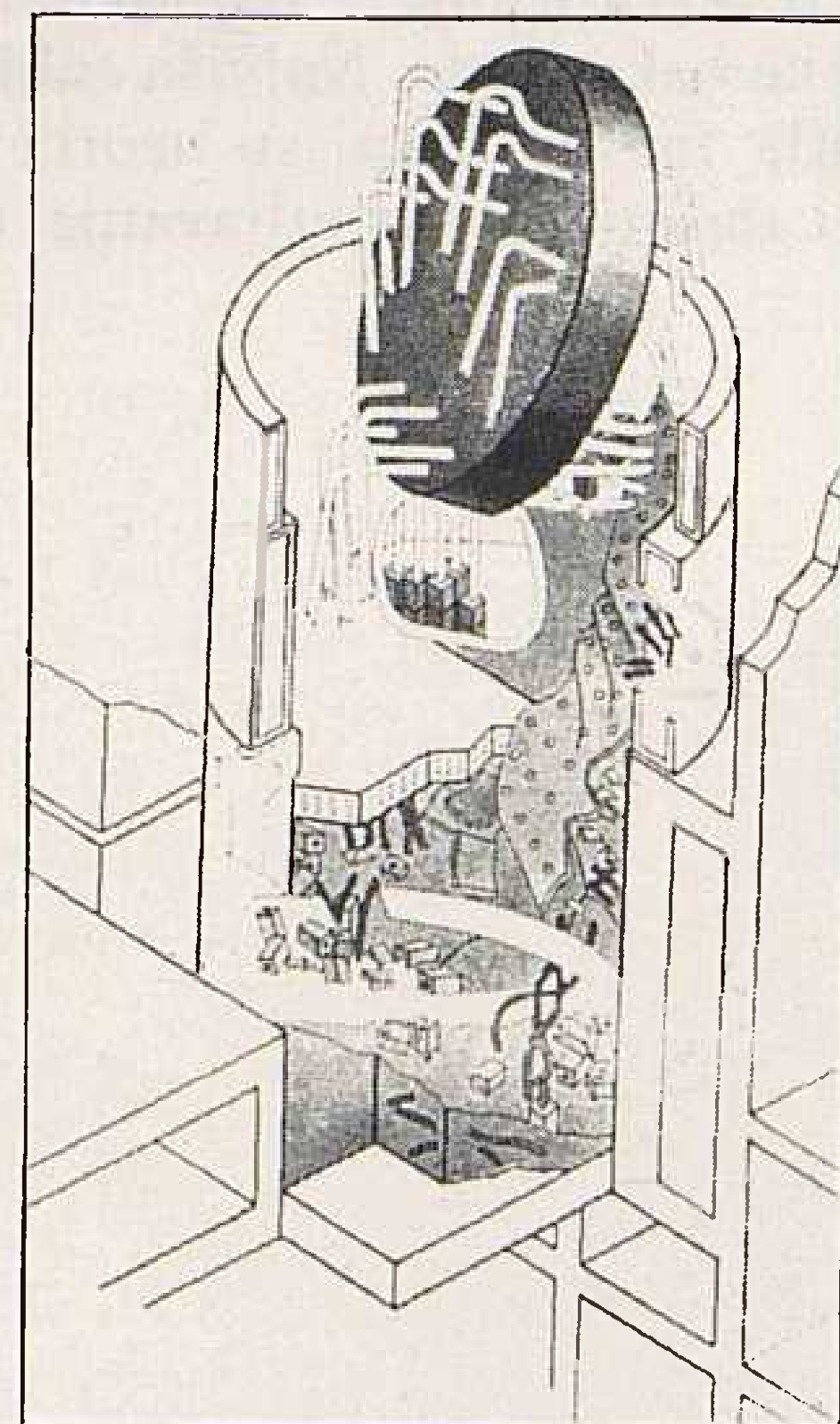
Puna snaga TMI.1, postignuta je 6. 1. 1986.

#### 3.2. Černobil

U černobilskoj elektrani uz 4 reaktora u pogonu, na samo 1 km udaljenosti, u podmakloj gradnji nalaze se još energetske jedinice 5 i 6. Nasuprot situaciji u Three Mile Island, černobilsko postrojenje br. 1, nakon nužne dekontaminacije (sve su tri jedinice kontaminirane i radioaktivnim materijalom usisanim uređajima za hlađenje i klimatizaciju) i radova održavanja, startano je već 1. 10. 1986, a ubrzo zatim i jedinica br. 2 (2. 11. 1986).

Najviše problema bilo je s jedinicom br. 3 jer se nalazi pored razornog reaktora, najjače je kontaminirana i kao »blizanac« jedinice 4, ima veći broj sistema koji su međusobno vezani i koje je trebalo na siguran način razdvojiti. No i dekontaminacija i modifikacija ove treće jedinice je relativno brzo obavljena te je startala 4. 12. 1987. Budućnost jedinica 5 i 6 u gradnji još uvijek se ne može precizno utvrditi. Na njihovoj dekontaminaciji radi oko 500 ljudi u vrlo teškim uvjetima i pod strogom radiološkom kontrolom.

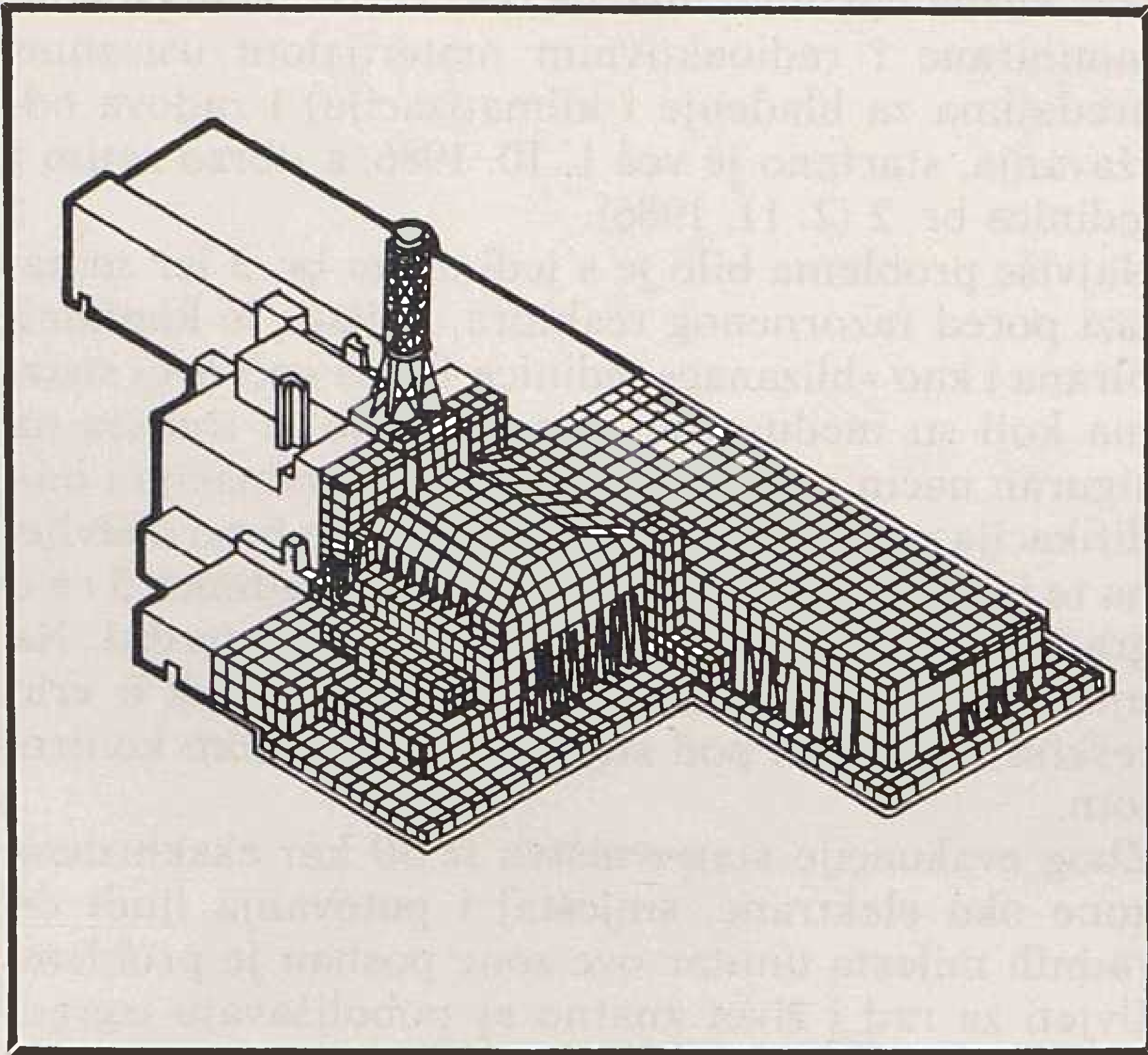
Zbog evakuacije stanovništva iz 30 km ekskluzivne zone oko elektrane, smještaj i putovanja ljudi do radnih mjesta unutar ove zone posban je problem. Uvjeti za rad i život znatno se poboljšavaju izgradnjom novog grada Slavotiča (radi se o domovima za tisuće radnika elektrane i njihovih obitelji). Inače je nakon katastrofe najveći broj radnika smješten u na brzinu izgrađenim naseljima u područjima na samoj vanjskoj strani zone 30 km oko elektrane. Za radnike elektrane rad je bio organiziran u ciklusu od 12 sati na dužnosti u toku 5 dana i 7 dana odmora. Ostalo



Slika 7. Umjetnički crtež reaktora nakon eksplozije u Černobilu

ljudstvo (dekontaminacija, usluge) radilo je po 10 sati dnevno u ciklusu od 15 dana rada i 15 dana odmora. Budući da je u toku 1987. u ekskluzivnoj zoni bilo zaposleno oko 10 000 ljudi (od čega oko 4 000 u pogonu elektrane), problem organizacije nije nimalo jednostavan.

Da bi se omogućio rad neoštećenih jedinica, a »oštećeni« reaktor (slika 7) održao pod dugoročnom kontrolom, cijela energetska jedinica br. 4 zabetonirana je u posebni sarkofag (slika 8). U sarkofag je ugrađeno oko 300 instrumenata da bi se kontrolirala temperaturna i radijacijska polja.



Slika 8. Armiranobetonski sarkofag Černobil-4

Na ANS/ENS sastanku u studenom 1988. u Washingtonu, predstavnik Kurčatov Instituta, A.Y. Gagarinski je izvijestio da je oko reaktorskog prostora izbušeno 30 inspeksijskih otvora. Izvršena je vizualna inspekcija (TV, fotografiranje) i napravljene su temperaturne i radijacijske karte. Najviša zabilježena temperatura je bila 150 °C. Uzeti su uzorci mase jezgre radi analize i daljnjeg rasvjetljavanja uzorka akcidenta.

#### NPP THREE MILE ISLAND AND NPP CHERNOBYL

In the article are described dramatical accidents of two great NPP-s with review of consequences as well as specific design and protection system characteristics. The article consists of:

- reactor designs with comparison of reactor systems and functions
- analysis of circumstances and accident chronology
- short and long term consequences
- practice for up-to-date and future nuclear technology

#### DREIMEILENINSEL UND TSCHERNOBYL

Die Ähnlichkeit des dramatischen Arbeitsausfalls dieser großen kernenergetischen Einheiten und die Unterschiedlichkeit mit bezug auf die Folgen und das Projekt des Reaktors und dessen Sicherheits und Schutzsysteme war der Anlaß für den Artikel der in vier Teilen verfasst, folgendes umfaßt:

- Projekt des Reaktors und der Reaktorsysteme mit der Komparation der Funktionen.
- Analyse der Umstände die zum Unglück führten mit der Chronologie der Ereignisse.
- Kurzfristige und langfristige Folgen die durch den Unfall hervorgerufen wurden.
- Praxis die nützlich in der jetzigen und zukünftigen Kernkrafttechnologie angewendet werden kann.

#### ОСТРОВ ТРИ МИЛИ И ЧЕРНОБЫЛЬ

Сходство прекращения работы этих двух крупных атомных энергетических единиц и различие по последствиям и проектов реакторов и их систем безопасности и охраны явились побуждением данной статьи, излагаемой в четырех частях и охватывающей:

- проект реакторов и реакторных систем с сравнением функций;
- анализ обстоятельств, вызвавших случайности в хронологии хода событий;
- кратко срочные и долгосрочные последствия, вызванные случайностями;
- практику, которая сможет полезно примениться в существующей и будущей атомной технологии.

Naslov pisca:

**Vladimir Vuković, dipl. inž.**  
**Nuklearna elektrana Krško,**  
**68270 Krško, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1988-12-27

# RACIONALNA UPOTREBA ENERGIJE — TENDENCIJE I PORUKE PRAKSE ZEMALJA OECD-a

Mr. Zdravko Mužek, Zagreb

UDK 620.92.005  
PREGLEDNI RAD

Definira se pojam racionalna upotreba energije. Analiziraju se tendencije promjena u upotrebi energije u zemljama OECD-a u sektoru industrije, prijevoza i opće potrošnje. Na osnovi iskustva tih zemalja u racionalizaciji upotrebe energije iznose se osnovne poruke o pretpostavkama i ciljevima racionalne upotrebe energije.

**Ključne riječi:** energija, racionalizacija, OECD

## 1. UVOD

Bitan porast troškova energije u društvenom proizvodstvu zemlje u toku sedamdesetih godina posebno je utjecao na svijest o potrebi racionalizacije u domaćoj energetici. S tom svrhom poduzet je otada niz akcija i mjera na republičkoj i saveznoj razini, najčešće u sklopu tzv. programa racionalnog korištenja energijom. Ti programi uglavnom se svode na:

- mjere ekonomske politike
- tehničke propise i regulative u području izgradnje i eksploatacije energetske sistema i postrojenja
- edukativne, savjetodavne i propagandne aktivnosti.

Zajednička karakteristika tih programa je nedjelotvornost, dijelom i zbog nerazmjera ambiciozno postavljenih ciljeva i ograničenja koje moment našeg razvoja nameće. Realnu ocjenu naših mogućnosti na ovom planu u sklopu cjelokupnosti postojećih društveno-ekonomskih uvjeta dala je dakle praksa. Tehničke mogućnosti nude optimističniju sliku, pa je ključno pitanje koje su pretpostavke nužne da bi se željeni ciljevi postizali. Sagledavanje iskustava u metodama i dosezima očuvanja energije u svijetu nužan je preduvjet za spoznaju tih pretpostavki i ocjenu vlastitih mogućnosti.

S obzirom na taj cilj dovoljno je orijentirati se na analizu uspješnih privreda u tom pogledu, dakle industrijski razvijenih zemalja OECD-a (zbog specifičnosti, posebno evropskih članica te organizacije). No ne treba pritom smetati s uma da izravna »preslikavanje« tih iskustava na našu budućnost nisu moguća zbog znatne determiniranosti zbivanja u našoj neposrednoj budućnosti postojećim stanjem i problemima. Sve usporedbe valja stoga uzeti s dužnim oprezom, imajući pred očima naglašenu ovisnost efikasnosti upotrebe energije o faktorima privrednog rasta od kojih posebno valja istaći ove:

- karakter i uspješnost cjelokupnog društvenog upravljanja

- klimatski uvjeti
- tehnički i tehnološki progres
- kulturnopovijesno nasljeđe
- stručna znanja i vještina radnika
- struktura zaposlenosti stanovništva, demografska kretanja i tokovi urbanizacije
- znanstvenoistraživačka djelatnost
- veličina zemlje.

## 2. DEFINICIJA I OPSEG POJMA RACIONALNA UPOTREBA ENERGIJE

Racionalna upotreba energije, očuvanje energije, štednja energije — pojmovi su kojima se i u stručnim krugovima daju veoma različita značenja. Uputno je stoga odmah na početku definirati te pojmove. Osim određenja njihova sadržaja za potrebe ovog izlaganja, namjera je da se prigoda iskoristi i za unifikaciju definicija tih pojmova u domaćoj stručnoj terminologiji. S obzirom na ugled i domete Svjetske konferencije za energiju, osnovano je usvojiti definicije koje se navedenim pojmovima pridaju u Višejezičnom rječniku energetske terminologije njezina Komiteta za terminologiju u energetici [1]:

**Racionalna upotreba energije** (rational use of energy, utilisation rationnelle de l'énergie, rationelle Energieanwendung) — korištenje korisnika energijom na način najprimjereniji postizanju ekonomskih ciljeva uvažavajući pritom društvena, politička, financijska, ekološka i druga ograničenja.

**Štednja energije** (energy saving, économies d'énergie, Energieeinsparung) — mjere (ili posljedica mjera) koje poduzimaju isporučio i korisnici energije radi smanjenja gubitaka energije. Te mjere mogu biti pasivne (naprimjer izolacija), aktivne (naprimjer iskorištavanje otpadne topline ili plina koji bi se inače spalio na baklji) ili organizacijske (naprimjer promjene u vrsti transporta).

**Očuvanje energije** (energy conservation, conservation de l'énergie Energiehaushalten) — politika koja obuhvaća akcije poduzimane radi najefikasnije upotrebe ukupnih energetske rezerve. Primjeri takvih akcija jesu racionalna upotreba energije, štednja energije, supstitucija jednog oblika energije drugim (na primjer fosilnih goriva sunčanom toplinom, energijom vjetra itd.). Poduzete mjere mogu biti propisi, poticajne, političke i ekonomske mjere itd. Termin se najčešće — ali ne isključivo — koristi za nacionalni nivo, dok se za mikroekonomsku razinu preferira termin upravljanje energijom (energy management).

Kao što je vidljivo, pojam racionalna upotreba energije istovjetan je zapravo s pojmom ekonomske racionalnosti. Implicitno, definicija upućuje na neosnovanost tretiranja energije izvan općih zakona racionalnog ponašanja u privredi, društvenim djelatnostima i osobnoj potrošnji. S tim u vezi valja odmah na početku ovog izlaganja naglasiti da se prema energiji i energetskim procesima ne treba u osnovi odnositi drugačije nego prema ostalim elementima društvene reprodukcije i potrošnje. Drugim riječima, energetika je samo jedna od privrednih djelatnosti, njezini problemi nisu neki posebni problemi koje bi u osnovi trebalo tretirati drugačije nego ostale segmente društveno-ekonomskog razvoja ili pri rješavanju kojih bi se primjenjivali neki posebni kriteriji privredne uspješnosti.

Racionalna upotreba energije odnosi se na racionalizaciju u domeni energetske potrebe, dobivanja primarnih oblika energije, energetske transformacije, prijenosa, distribucije i upotrebe energije, a u širem smislu obuhvaća:

- razvoj racionalne društveno — ekonomske strukture, posebno strukture privrede (sve do izbora proizvodnih tehnologija)
- istraživanje i razvoj energetske sistema (različitim nivoa), postrojenja i opreme (posebno novih tehnologija suvremenih svjetskom razvoju)
- projektiranje, proizvodnju i izgradnju racionalnih energetske sistema, postrojenja i opreme
- racionalnu eksploataciju i održavanje privrednih, komunalnih i osobnih uređaja i postrojenja za dobivanje, transformaciju, prijenos, distribuciju i upotrebu energije.

### 3. OPĆE NAZNAKE O RACIONALIZACIJI UPOTREBE ENERGIJE U ZEMLJAMA OECD-a

U dvjestogodišnjem razdoblju od početka industrijske revolucije do danas osamdesete godine ovog stoljeća mogu se označiti kao prijelazno razdoblje prema novoj razvojnoj epohi čovječanstva. Dinamični poslijeratni razvoj svijeta osnovan na snažnoj industrijalizaciji i naglašenom povećanju razvoja prometa roba, usluga i faktora proizvodnje (praćen visokim stopama rasta potrošnje energije i sirovina te narušavanjem stanja okoline) smjenilo je sredinom sedamdesetih krizno razdoblje usporenih ili nultih stopa rasta društvenog proizvoda (DP), relativno visokih stopa inflacije, dužničkom krizom zemalja u raz-

voju, rastućom nezaposlenošću, suvišnim kapacitetima u mnogim privrednim granama, posebno u baznoj industriji, niskim nivoom investicija u industriju itd. Energetska kriza sedamdesetih samo je jedan pojavni oblik u toj u biti strukturnoj krizi svjetske privrede.

U tim okolnostima od sredine osamdesetih godina industrijski razvijene zemlje svijeta provode suštinsku strukturno-tehnološku transformaciju svojih privreda. U procesima reprodukcije tendencija je smanjivanje potrebne energije i sirovina po jedinici proizvoda i rast značenja znanja, inovacija, novih tehnologija i organizacije. U strukturi privrede potiskuje se značenje baznih industrijskih grana, a povećava dominacija tercijarnog sektora. Treća tehnološka revolucija karakterizirana informatizacijom, robotizacijom, automatizacijom, industrijom sintetskih materijala, mikroelektronikom, telekomunikacijom, svemirskom tehnologijom, biotehnologijom, genetičkim inženjeringom i sličnim visokim tehnologijama na putu je da transformira globalnu sliku suvremene civilizacije. Realna je opasnost da industrijski razvijene zemlje svijeta ostanu centri znanja i tehnološkog progresa, a ostali dio svijeta bude rezervoar jeftine radne snage, energije, sirovina i proizvoda »prljavih i zastarjelih« industrija. Pri analizi promjena koje se u pogledu potrošnje energije događaju u zemljama OECD-a nužno je imati pred očima navedene strukturno-tehnološke, dakle suštinske kvalitativne transformacije. Zbog tog prijelaza s jednog kvalitativnog nivoa na drugi ovo razdoblje promjena nije najpogodnije za zaključivanja o dugoročnim tendencijama. Stara pravila, koja su vrijedila u klasičnoj industrijskoj eri, više ne vrijede, a novi trendovi tek se rađaju. Statističku analizu dugoročnih serija podataka koji bi obuhvatili oba ta perioda, tretirajući ih kao kontinuirani, kvalitativno jedinstveni proces, treba stoga zamijeniti posebnim razmatranjem razdoblja do sredine sedamdesetih i posebnim razmatranjem idućeg razdoblja svjetske energetike (koje je samo započelo kao neposredni odziv na skokovit rast cijena nafte i energije, dakle pod utjecajem jedne ekscitabilne situacije, a u suštini je nova faza u povijesnom tehnološkom razvoju civilizacije).

U razdoblju do sredine sedamdesetih godina agregatna potrošnja energije u određenoj zemlji odnosila se prema rastu društvenog proizvoda prema linearnoj korelaciji tipa [2]:

$$E = a \cdot DP + b$$

gdje su:

$E$  — potrošnja energije po stanovniku, J p.c.

$DP$  — društveni proizvod po stanovniku, USD p.c.

$a, b$  — konstante.

Slično ukupnoj potrošnji energije, linearna ovisnost potrošnje o rastu društvenog proizvoda je u razdoblju 1950 – 1975. zabilježena i kod električne energije.

Od sredine sedamdesetih godina do danas tendencije potrošnje ukupne energije su se iz temelja izmijenile. Suprotno tome, pri agregatnoj potrošnji elek-

trične energije i dalje vrijedi zakonitost linearnog rasta s rastom društvenog proizvoda u svim industrijski razvijenim zemljama.

Na promjene u trendovima potrošnje energije utjecao je ponajprije skokovit rast cijena energije. Politike očuvanja energije provedene od vlada zemalja članica OECD-a bile su usmjerene dugoročnim efektima i stimulaciji privrednih subjekata i ostalih korisnika energijom u njihovim naporima da odgovore na narasle cijene energije. Naime, u racionalnim, tržišnim privredama preraspodjela u značenju pojedinih faktora proizvodnje za proizvodne troškove dovodi automatski do aktiviranja svih snaga radi uspostavljanja trenutno optimalnog odnosa tih faktora. Promjene u potrošnji energije moguće je stoga pratiti u odnosu na promjene realtivnih troškova između radne snage, kapitala i energije u tim zemljama. Prema [3], u razdoblju do 1975. godine cijene energije rasle su s istim indeksom kao nadnice i cijena kapitala, od 1975. godine nadnice rastu sporije, a nakon 1978. godine indeksi cijena energije rastu bitno brže nego ostalih faktora proizvodnje: u razdoblju 1978–1983. godina cijene energije su se gotovo udvostručile dok je cijena kapitala porasla za samo 41 %. To je potaklo

tehnološka unapređenja i promjenu privredne strukture, pa su najveći efekti u očuvanju energije postignuti nakon 1978. godine.

Dugoročni ciljevi politika očuvanja energije bili su uglavnom povećanje energetske neovisnosti zemlje od zemalja izvoznica nafte, osiguranje uvjeta za dugoročnu stabilnu opskrbu energijom svojih privreda i stanovništva, odnosno smanjivanje potrošnje energije po jedinici društvenog proizvoda.

Rezultat tih nastojanja bilo je zadržavanje potrošnje energije u razdoblju od 1973. godine do danas na nivou 1973. godine uz istovremeno povećanje društvenog proizvoda po stanovniku. Od 1973. do 1984. godine iznosila je prosječna godišnja stopa rasta potrošnje finalne energije u OECD-u – 0,07 %, a potrošnja primarne energije 0,39 % uz povećanje društvenog proizvoda za 28 % /4/. Važno je, međutim, naglasiti da su ti uspjesi u očuvanju energije postignuti isključivo zbog smanjenja korištenja toplinom i da je usprkos svim mjerama i akcijama potrošnja električne energije povećana za 37 % [4]. Potrebna električna energija za ostvarenje jedinice društvenog proizvoda povećana je za oko 7 %. Navedeni pokazatelj je posebno značajan jer upućuje da i dalje vrijedi zakoni-

Tablica 1. Tendencije potrošnje energije u EEZ-u (prema/4/)

			1960.	1965.	1970.	1973.	1975.	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.	1984.	Stopa rasta %			
															1973/60.	1979/73.	1984/73.	1984/79.
Broj stanovnika	milijuna		285*	294*	303	309	312	316	317	318	319	320	321	321	0,62	0,51	0,35	0,25
Društveni proizvod (cijene iz 1980)	10 <sup>9</sup> \$ \$ p. c.				2 285	2 617	2 719	2 926	2 989	3 052	3 047	3 064	3 102	3 166		2,69	1,75	1,16
					7 541	8 469	8 715	9 259	9 429	9 597	9 552	9 575	9 664	9 863		2,17	1,39	0,90
Potrošnja primarne energije	Ukupno	PJ	21 904	28 072	37 176	42 635	39 980	43 850	45 894	44 070	42 473	41 320	41 581	42 596	5,26	1,48	-0,01	-1,48
		GJ p. c.			122	138	128	139	145	139	133	129	130	133	0,99	-0,33	-1,71	
		MJ/\$ DP			16,27	16,29	14,70	15,00	15,35	14,44	13,94	13,49	13,40	13,45	-1,18	-1,73	-2,61	
Uvoz	PJ	7 544	14 622	23 926	28 449	24 485	25 397	26 361	24 741	21 305	19 971	18 365	19 319	10,75	-1,51	-3,46	-6,03	
	% od ukupno	34	52	64	67	61	58	57	56	50	48	44	45	5,36	-3,18	-3,55	-4,62	
Uvoz nafte	10 <sup>6</sup> t % od ukupno	169 32	327 49	547 62	654 64	545 57	547 52	554 51	501 48	418 41	382 39	346 35	350 34	10,97 5,48	-3,26 -4,44	5,52 -5,59	-8,78 -7,79	
Finalna potrošnja energije	Ukupno	PJ	15 712	20 183	27 222	31 278	29 013	31 631	33 245	31 323	29 920	28 949	29 281	30 007	5,44	1,23	-0,38	-2,03
		GJ p. c.	55	69	90	101	93	100	105	98	94	90	91	93	4,79	0,78	-0,75	-2,40
		MJ/\$ DP			11,9	12,0	10,7	10,8	11,1	10,3	9,8	9,4	9,4	9,5	-1,55	-2,10	-3,07	
		% od ukupno	44,7	44,3	45,8	43,9	41,8	39,5	40,0	39,0	37,6	36,8	37,1	36,7	-0,14	-1,84	-1,62	-1,71
Prijevoz	PJ	2 896	3 827	5 048	6 095	6 074	7 029	7 328	7 337	7 256	7 348	7 448	7 700	5,89	3,75	2,15	1,00	
	% od ukupno	18,4	19,0	18,5	19,5	20,9	22,2	22,0	23,4	24,2	25,4	25,4	25,7	0,45	2,44	2,54	3,16	
Opća potrošnja	PJ % od ukupno	5 791 36,9	7 414 36,7	9 712 35,7	11 457 36,6	10 812 37,3	12 108 38,3	12 629 38,0	11 756 37,5	11 428 38,2	10 941 37,8	10 956 37,4	11 303 37,7	5,39 -0,06	1,97 0,75	-0,12 0,27	-2,19 -0,16	
Neenergetska potrošnja	PJ	421	776	1 154	1 366	1 188	1 152	1 230	1 010	956	943	851	860	9,48	-2,08	-4,12	-6,91	
Potrošnja električne energije	Ukupno	TWh	364,4	542,6	777,8	951,7	966,3	1126,4	1181,0	1183,6	1183,5	1183,0	1214,8	1268,2	7,66	4,41	2,64	1,43
		kWh p. c.	1 279	1 846	2 567	3 080	3 097	3 565	3 726	3 722	3 710	3 679	3 784	3 951	6,99	3,88	2,29	1,18
		kWh/\$ DP			0,340	0,364	0,355	0,385	0,395	0,388	0,388	0,386	0,392	0,401	1,65	0,88	0,30	
	Od final.	%	8,35	9,68	10,29	10,95	11,99	12,82	12,79	13,60	14,24	14,71	14,94	15,21	2,11	3,16	3,03	3,53
	Industrija	TWh	223,6	306,8	419,7	505,6	502,2	576,4	601,0	591,0	578,8	564,9	572,8	598,2	6,48	3,52	1,54	-0,09
% od ukupno		61,4	56,5	54,0	53,1	52,0	51,2	50,9	49,9	48,9	47,8	47,2	47,2	-1,11	-0,84	-1,07	-1,50	
Prijevoz	TWh	15,4	18,8	23,4	25,2	27,1	28,5	29,8	30,5	30,7	30,4	31,0	32,3	3,86	3,41	2,28	1,62	
	% od ukupno	4,2	3,5	3,0	2,6	2,8	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,5	-3,62	-0,78	-0,36	0	
Opća potrošnja	TWh % od ukupno	125,4 34,4	217,0 40,0	334,7 43,0	420,9 44,2	437,0 45,2	521,5 46,3	550,2 46,6	562,1 47,5	574,0 48,5	578,7 49,7	611,0 50,3	637,7 50,3	9,76 1,95	5,50 1,06	3,85 1,18	3,00 1,54	

tost rasta potrošnje električne energije po jedinici društvenog proizvoda s rastom nivoa društvenog proizvoda!

U tablici 1. dani su podaci o tendencijama potrošnje energije u zemljama EEZ-a. Vrijede slični zaključci kao i za čitav OECD: u razdoblju 1979 — 1984. godina smanjena je potrošnja primarne energije za 7,19 % i potrošnja finalne energije za 9,74 %, a društveni proizvod je porastao za 5,92 %. Potrošnja primarne energije po jedinici društvenog proizvoda je smanjena za 12,38 %, a finalne energije po jedinici društvenog proizvoda za 14,4 %. Potrošnja električne energije po jedinici društvenog proizvoda i dalje raste: u razdoblju 1973 — 1984. godina povećana je za 10,16 %. Analiza kretanja potrošnje električne energije i društvenog proizvoda pokazuje da čak i u ovom prijelaznom razdoblju prilagodbe energetske intenzivne privrede novim uvjetima vrijedi linearna korelacija rasta ukupne potrošnje električne energije po stanovniku i društvenog proizvoda po stanovniku!

Analize povećanja energetske efikasnosti zemalja OECD-a pokazale su da je ono realizirano [3]:

- promjenama ponašanja
- tehnološkim progresom
- strukturnim promjenama privrede.

Efekte promjena u ponašanju i tehnoloških unapređenja teško je na makronivou međusobno razlučiti, pa se najčešće agregirano diferenciraju u odnosu na efekte strukturnih promjena. Analiza povećanja energetske efikasnosti zbog promjena ponašanja i tehnoloških unapređenja moguća je sagledavanjem upotrebe energije unutar pojedinih sektora potrošnje, dok se efekti strukturnih promjena analiziraju na nivou privrednih grana, odnosno na nacionalnoj osnovi. U nastavku će se pokušati ukratko oslikati specifičnost tendencija u potrošnji energije u sektoru industrije, prijevoza i opće potrošnje.

#### 4. SEKTORSKA ANALIZA RACIONALIZACIJE UPOTREBE ENERGIJE U ZEMLJAMA OECD-a

##### 4.1. Industrija

Od 1973. do 1984. godina smanjena je finalna potrošnja energije u industriji EEZ-a za 20 % (tablica 1). U istom razdoblju potrošnja električne energije je porasla za 18 % (tablica 1).

U industriji čitavog OECD-a iznosila je finalna potrošnja energije u 1984. godini svega 87 % one iz 1973. godine [4]. Potrošnja električne energije u industriji porasla je u tom razdoblju 22 % [4].

Smanjenje finalne potrošnje energije u industriji postignuto je uz istovremeni rast fizičkog obujma industrijske proizvodnje. U tablici 2. uspoređeni su indeksi industrijske proizvodnje, finalne potrošnje energije i potrošnje električne energije industrije nekoliko visokorazvijenih industrijskih zemalja svijeta u razdoblju 1973 — 1984. godina. Vidljivo je da je, svedeno na isti fizički obujam industrijske proizvodnje, trebalo u 1984. godini u Japanu svega 57 % finalne energije potrebne u 1973. godini. Za Veliku Brita-

niju taj indikator iznosi 62 %, SAD 67 %, Švedsku 71 %, SR Njemačku 72 %, a Francusku 80 %. Za isti fizički obujam industrijske proizvodnje trebalo je u 1984. godini u Francuskoj 19 % više, u SR Njemačkoj 3 % više i u Švedskoj 4 % više električne energije nego 1973. godine (tablica 2). Industrije Japana, V. Britanije i SAD koristile su se sa 14 %, 9 % odnosno 8 % manjom električnom energijom u 1984. godini nego u 1973. za isti fizički obujam industrijske proizvodnje. Koliki je utjecaj strukturnih promjena industrije, a koliki tehnoloških unapređenja i drugih akcija konzervacije energije na navedene promjene u upotrebi energije? Odgovor na to pitanje ovisi, razumljivo, o zemlji koja se promatra i njezinim specifičnostima, nastojanjima i uspjesima u pogledu razvoja industrije (treba se pritom ograditi i naglasiti da navedena »nastojanja« pri zemljama o kojima se radi nisu sinonim nekog centralističkog osmišljavanja industrijskog razvoja, već prije vektorska suma pojedinačnih stremljenja potaknutih famoznom »nevidljivom rukom«). Analize industrije SAD-a, naprimjer, pokazuju da su strukturne promjene industrije sudjelovale u povećanju efikasnosti upotrebe energije u industriji u razdoblju 1972 — 1982. godina sa 26 % [3], a da je preostalih 74 % posljedica tehnoloških unapređenja i promjena u ponašanju prema energiji. Budući da je japanska industrija najuspješnija industrija svijeta u konzervaciji energije, uputno je poslužiti se njezinim primjerom pri sagledavanju promjena u pogledu povećanja energetske efikasnosti.

Od 1973. do 1984. godina iznosila je prosječna godišnja stopa rasta društvenog proizvoda Japana 3,8 % [4], ukupne potrošnje primarne energije 0,9 % [4], fizičkog obujma industrijske proizvodnje 3,0 % (tablica 2), finalne potrošnje energije u industriji — 2,1 % (tablica 2), a potrošnja električne energije u industriji 1,6 % (tablica 2). Udio industrije u finalnoj potrošnji energije smanjuje se od 61,5 % u 1973. na 50,4 % u 1984. godini [6]. U [6] se daju rezultati analize utjecaja ovih faktora na promjene finalne potrošnje energije u industriji (bez rudarstva i elektroprivrede) Japana:

- A) ekonomski rast industrije (mjereno ukupnom pridodanom vrijednošću);
- B) industrijska struktura (granska);
- C) orijentacija na proizvodnju visokovrijednih proizvoda (koji pridonose rastu odnosa pridodane vrijednosti i upotrebe sirovina);
- D) očuvanje energije i ostali utjecaji na potrošnju energije: (a) utjecaj cijena energije, b) utjecaj tehnoloških promjena, c) ostali utjecaji na potrošnju energije).

Promatrano je razdoblje 1973 — 1983. godina, koje je podijeljeno u četiri subperioda: a) razdoblje neposredno nakon prvog naftnog udara (1973 — 1974. godina), b) razdoblje privrednog oporavka I (1975 — 1979. godina), c) razdoblje neposredno nakon drugog naftnog udara (1980 — 1982. godina) i d) razdoblje privrednog oporavka II (1982 — 1983. godina). Na slici 1. dan je grafički prikaz procjene utjecaja navedenih faktora na potrošnju finalne energije japanskoj industriji. Kao što se vidi, promjenom strukture indus-



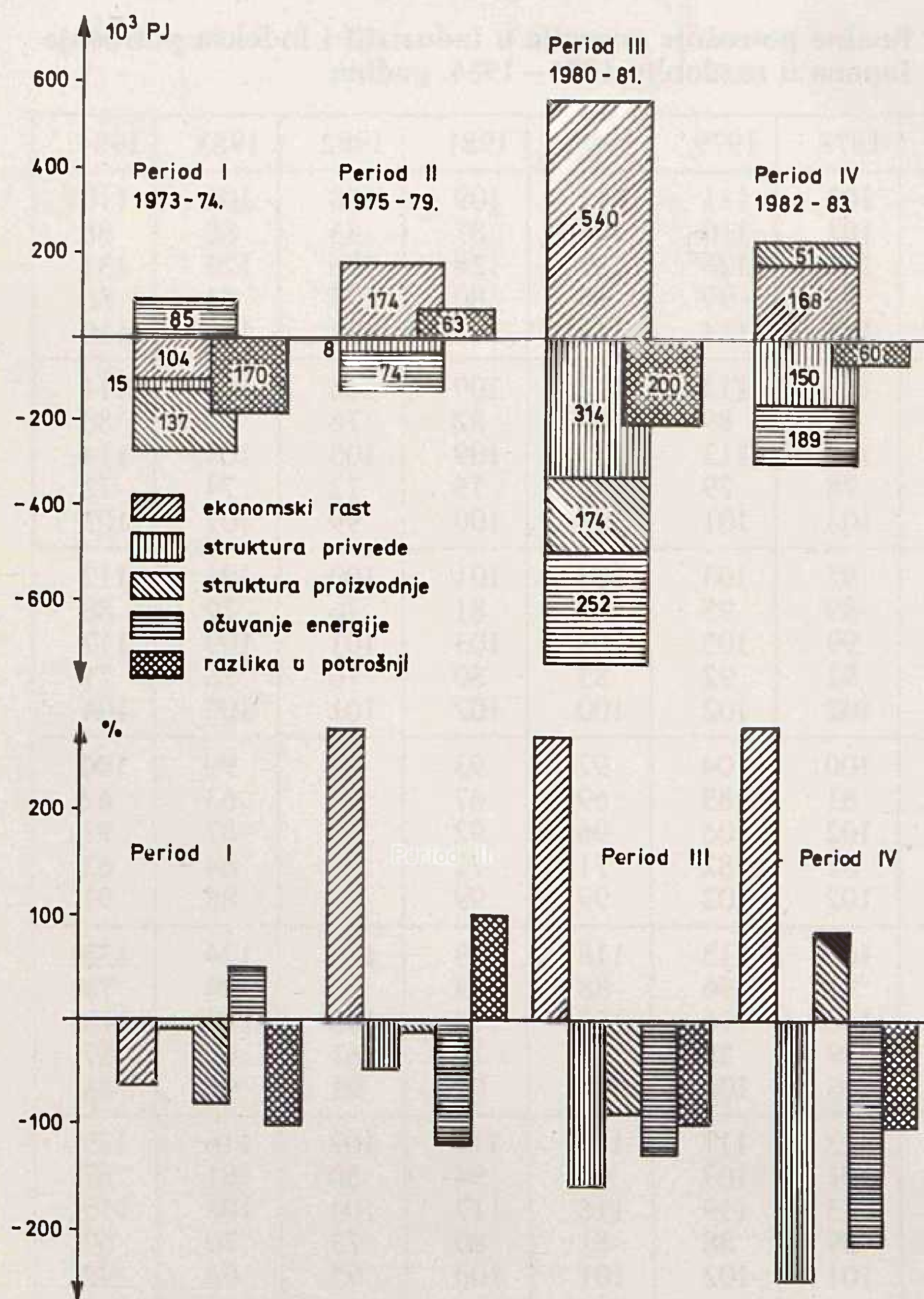
**Tablica 2. Usporedba indeksa inudstrijske proizvodnje, indeksa finalne potrošnje energije u industriji i indeksa potrošnje električne energije u industriji Francuske, SR Njemačke, SAD i Japana u razdoblju 1973 – 1984. godina**

Država	Pokazatelj		1973.	1975.	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984.
Francuska	Ind. proizv.	1	100	95	107	111	111	109	108	109	110
	Finalna en.	2	100	92	102	110	106	87	83	88	88
	Električna en.	3	100	110	124	126	129	128	126	129	131
	Odnos 2 : 1	4	100	97	95	99	95	80	77	81	80
	Odnos 3: 1	5	100	116	116	114	116	117	117	118	119
SR Njemačka	Ind. proizv.	1	100	93	105	112	112	109	106	107	111
	Finalna en.	2	100	84	82	89	87	82	76	79	80
	Električna en.	3	100	93	108	113	111	109	105	108	114
	Odnos 2 : 1	4	100	90	78	79	78	75	72	74	72
	Odnos 3: 1	5	100	100	103	101	99	100	99	101	103
Švedska	Ind. proizv.	1	100	103	97	103	103	101	100	104	112
	Finalna en.	2	100	98	89	95	88	81	76	79	80
	Električna en.	3	100	98	99	105	103	103	101	109	117
	Odnos 2 : 1	4	100	95	92	92	85	80	76	76	71
	Odnos 3: 1	5	100	95	102	102	100	102	101	105	104
V. Britanija	Ind. proizv.	1	100	95	100	104	97	93	96	99	100
	Finalna en.	2	100	85	81	85	69	67	65	63	62
	Električna en.	3	100	93	102	106	96	92	88	87	91
	Odnos 2 : 1	4	100	89	81	82	71	72	68	64	62
	Odnos 3: 1	5	100	98	102	102	99	99	92	88	91
Japan	Ind. proizv.	1	100	86	105	113	118	119	119	124	138
	Finalna en.	2	100	83	93	96	88	83	73	74	79
	Električna en.	3	100	96	110	116	112	110	108	113	119
	Odnos 2 : 1	4	100	97	89	85	75	70	61	60	57
	Odnos 3: 1	5	100	112	105	103	95	92	91	91	86
SAD	Ind. proizv.	1	100	91	113	117	115	117	109	116	129
	Finalna en.	2	100	87	101	103	93	94	80	81	87
	Električna en.	3	100	98	115	119	116	117	104	108	119
	Odnos 2 : 1	4	100	96	89	88	81	80	73	70	67
	Odnos 3: 1	5	100	108	101	102	101	100	95	93	92
SFRJ	Ind. proizv.	1	100	116	143	154	161	167	165	169	180
	Finalna en.	2	100								
	Električna en.	3	100	111	140	147	162	173	170	175	203
	Odnos 2 : 1	4	100								
	Odnos 3: 1	5	100	96	98	95	101	104	103	104	113

Izvor podataka: Industrijska proizvodnja — (5)  
Potrošnja energije — (4)  
Potrošnja el. energije u SFRJ — (5)

trije očuvano je 50,8 milijuna tona ekvivalentne nafte, akcije očuvanja energije i ostali faktori utjecali su na smanjene od 37,0 milijuna tona ekvivalentne nafte, a promjena strukture industrijskih proizvoda 34,5 milijuna tona ekvivalentne nafte. Pod pretpostavkom zadržavanja strukture iz 1973. godine (kako granske, tako i u pogledu asortimana proizvoda) te odsutnost politike očuvanja energije i ostalih utjecajnih faktora, realizirani ekonomski rast bi u razdoblju 1973 — 1984. godina uzrokovao povećanje energetske potrošnje u japanskoj industriji ekvivalentno 115,9 milijuna tona nafte, što bi u promatranom periodu odgovaralo prosječnoj godišnjoj stopi rasta potrošnje finalne energije od 4,2 % (računato na osnovi podataka iz [4] i prije navedenih »ušteda«). U vezi sa slikom 1. valja dati ova objašnjenja. Pad potrošnje energije u prvom subperiodu pripisan ekonomskom rastu posljedica je negativnih stopa tog rasta. Utjecaj promjene strukture industrije posebno se ističe nakon 1979. godine (izražen je rastom udjela prerađivačke industrije u odnosu na baznu), no trenutak njegova iskazivanja (odmah nakon drugog naftnog

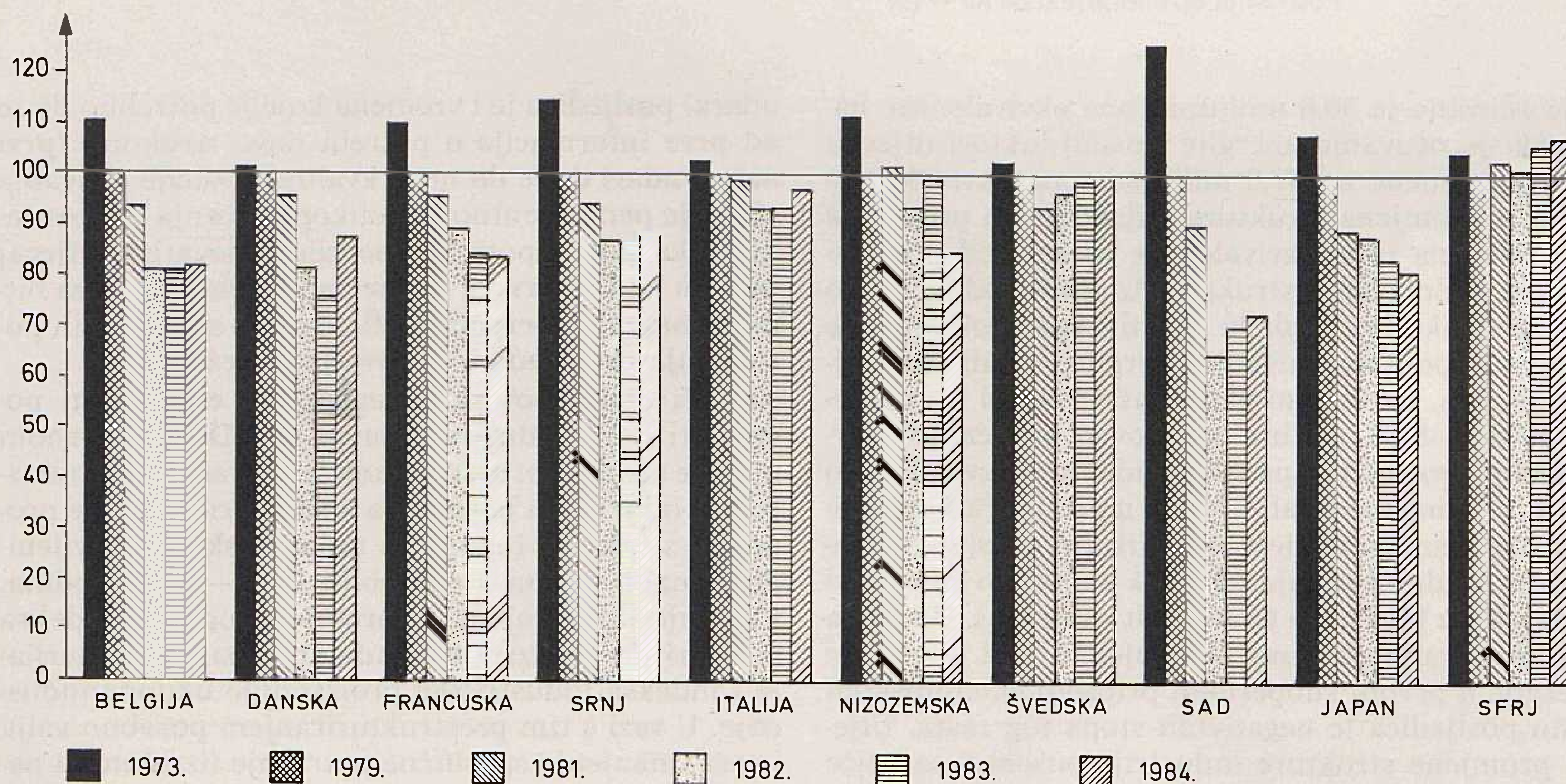
udara) posljedica je i vremena koje je potrebno da se od prve informacije o potrebi nove strukture (prvi naftni udar) dođe do nove kvalitete. Akcije očuvanja energije permanentno su velikog značenja za povećanje efikasnosti upotrebe energije, a negativni utjecaj faktora ad D u prvom subperiodu treba vezati za bitno smanjenje energetske efikasnosti energetskih postrojenja zbog rada u nepovoljnim režimima. Najveći efekti povećanja energetske efikasnosti postignuti su i u industriji čitavog OECD-a promjenom njezine strukture: rastom udjela prerađivačke industrije u odnosu na baznu. Na slici 2. prikazana je promjena strukture industrije industrijski najrazvijenijih zemalja svijeta u razdoblju 1970 — 1984. godina. Kao mjerilo usvojena je promjena odnosa indeksa industrijske proizvodnje industrije baznih materijala i indeksa industrijske proizvodnje ukupne industrije. U vezi s tim prestrukturiranjem posebno valja istaći smanjenje specifične potražnje (izraženo u naturalnom pokazatelju — kg p.c.) široke skupine energetske intenzivnih, tradicionalnih materijala — onih koji su sinonim klasičnog industrijalizma (čelik, ce-



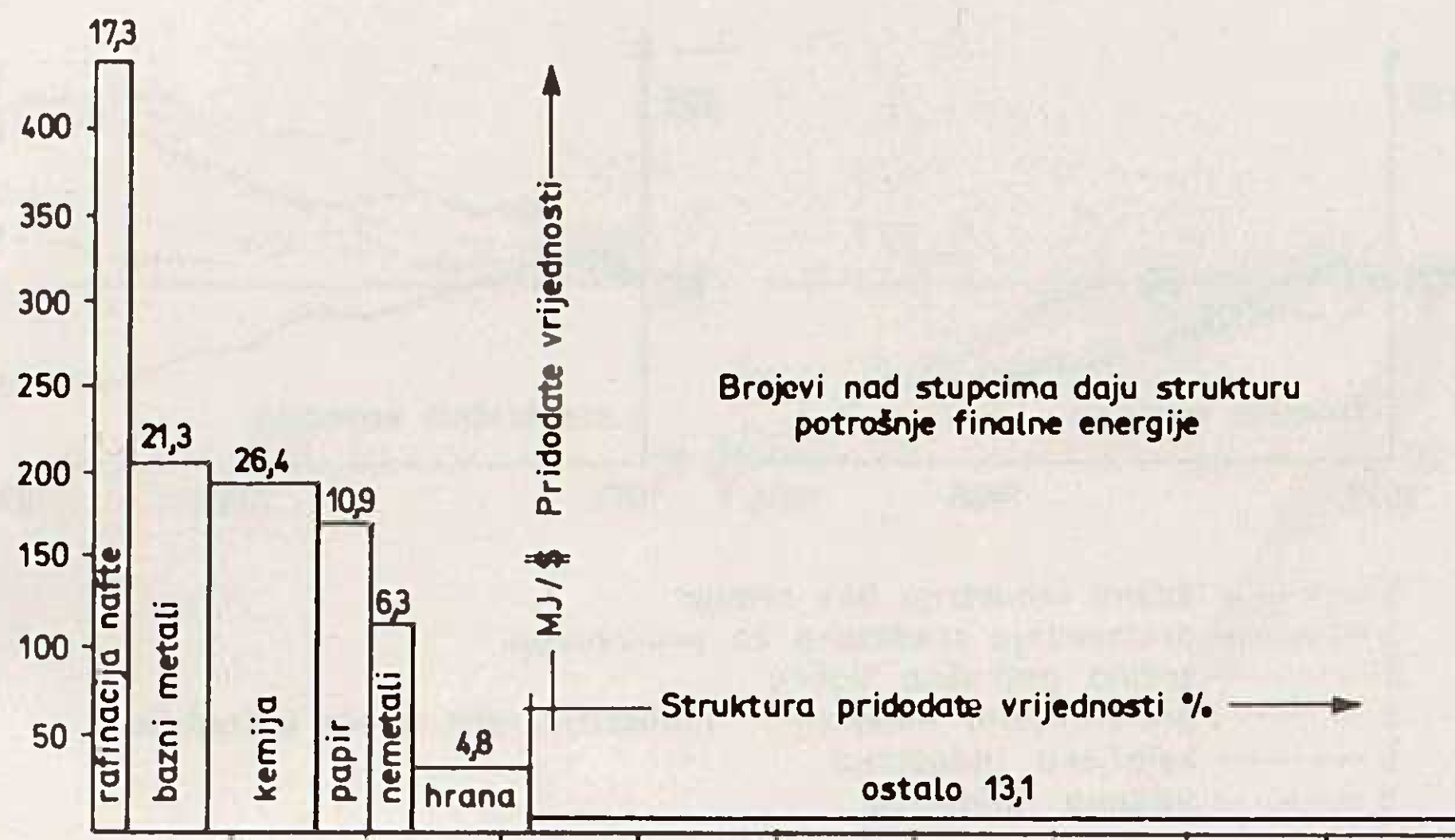
Slika 1. Procjena utjecaja pojedinog faktora na finalnu potrošnju energije u Japanu

ment, papir i celuloza), ali i energetske intenzivnih modernijih materijala (amonijak, klor, aluminijski etilen). Značenje i posljedice te pojave razumljivi su ima li se pred očima uobičajena distribucija potrošnje energije u industriji uspostavljena u industrijski razvijenim zemljama do sredine sedamdesetih godina; na slici 3. prikazan je radi ilustracije odnos strukture pridodane vrijednosti i strukture potrošnje energije u industriji SAD u 1978. godini.

Analiziraju li se povijesne tendencije potrošnje baznih materijala, pokazuje se da su one podložne određenim zakonitostima i da izravno ovise o strukturi potražnje industrijskih proizvoda i proizvoda drugih privrednih grana. U ranijim fazama industrijalizacije materijalno intenzivne aktivnosti imaju relativno visoke stope rasta zbog znatnih investicija u infrastrukturu i urbanizaciju te proizvodnju sredstava za proizvodnju. Nakon svršetka te faze počinje padati specifična potrošnja baznih materijala po jedinici društvenog proizvoda. Kod čelika i cementa je ta pojava zabilježena u SAD dvadesetih godina ovog stoljeća, a u Švedskoj, Francuskoj, SR Njemačkoj i Velikoj Britaniji pedesetih i šezdesetih godina [8]. Kod modernijih materijala (amonijak, klor, aluminijski etilen) ta pojava vrha je vremenski pomaknuta pa je u SAD uočljiva kasnih sedamdesetih godina. Radi ilustracije navedenog prikazan je na slici 4. trend agregirane potrošnje baznih materijala u SR Njemačkoj, Francuskoj i Velikoj Britaniji, a na slici 5. i 6. trend potrošnje tih materijala u SAD i Švedskoj. Valja uočiti da specifična potrošnja materijala po stanovniku nastavlja rasti nakon pada specifične potrošnje po jedinici društvenog proizvoda s obzirom da slijedi faza brzog rasta standarda stanovništva u trajnim dobrima (kućanski aparati, automobili) koja je također materijalno intenzivna. Saturacija specifične potrošnje materijala po stanovniku nastupa tek pri visokim



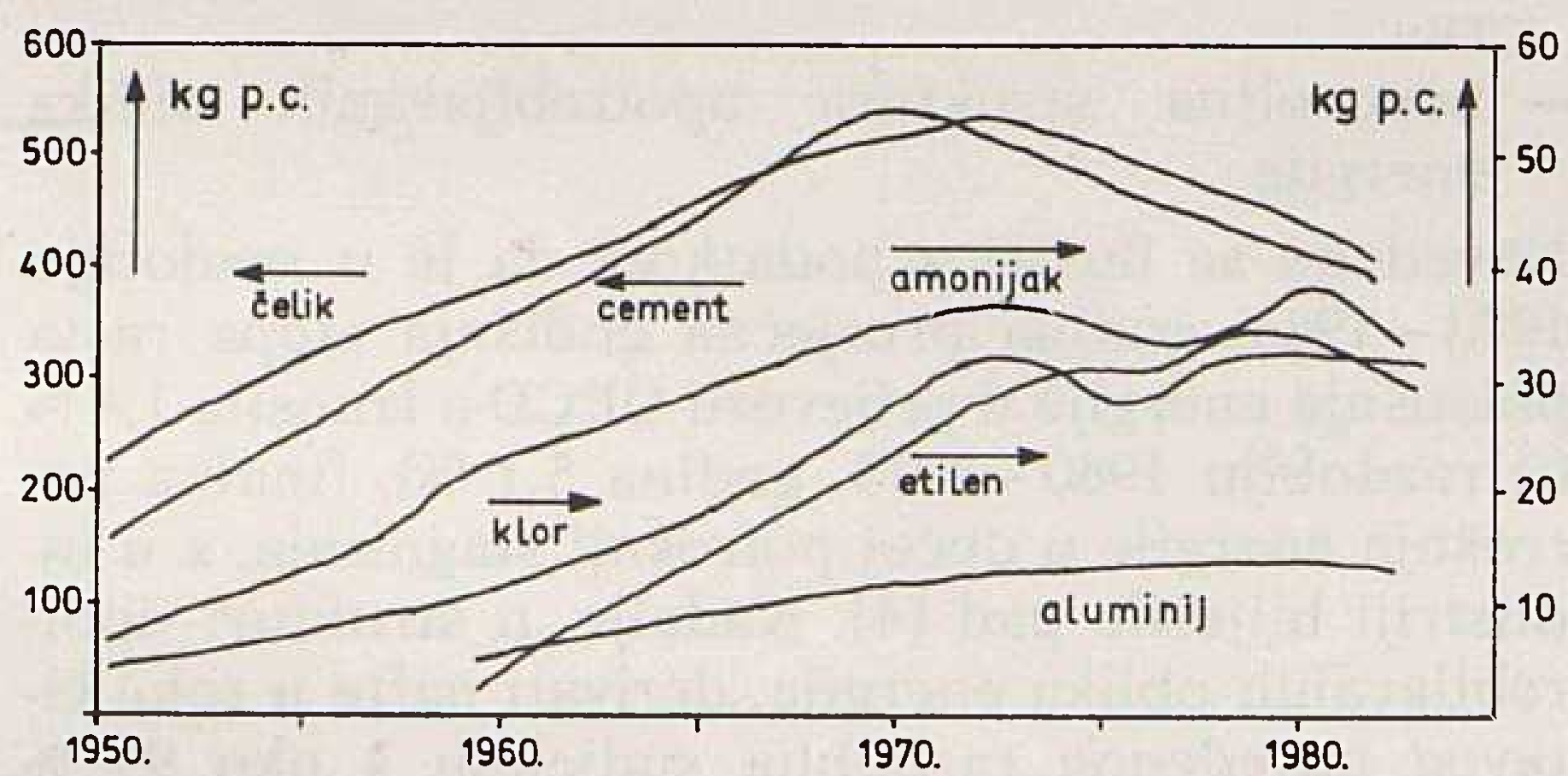
Slika 2. Promjena odnosa indeksa industrijske proizvodnje industrije baznih materijala i indeksa ukupne industrijske proizvodnje



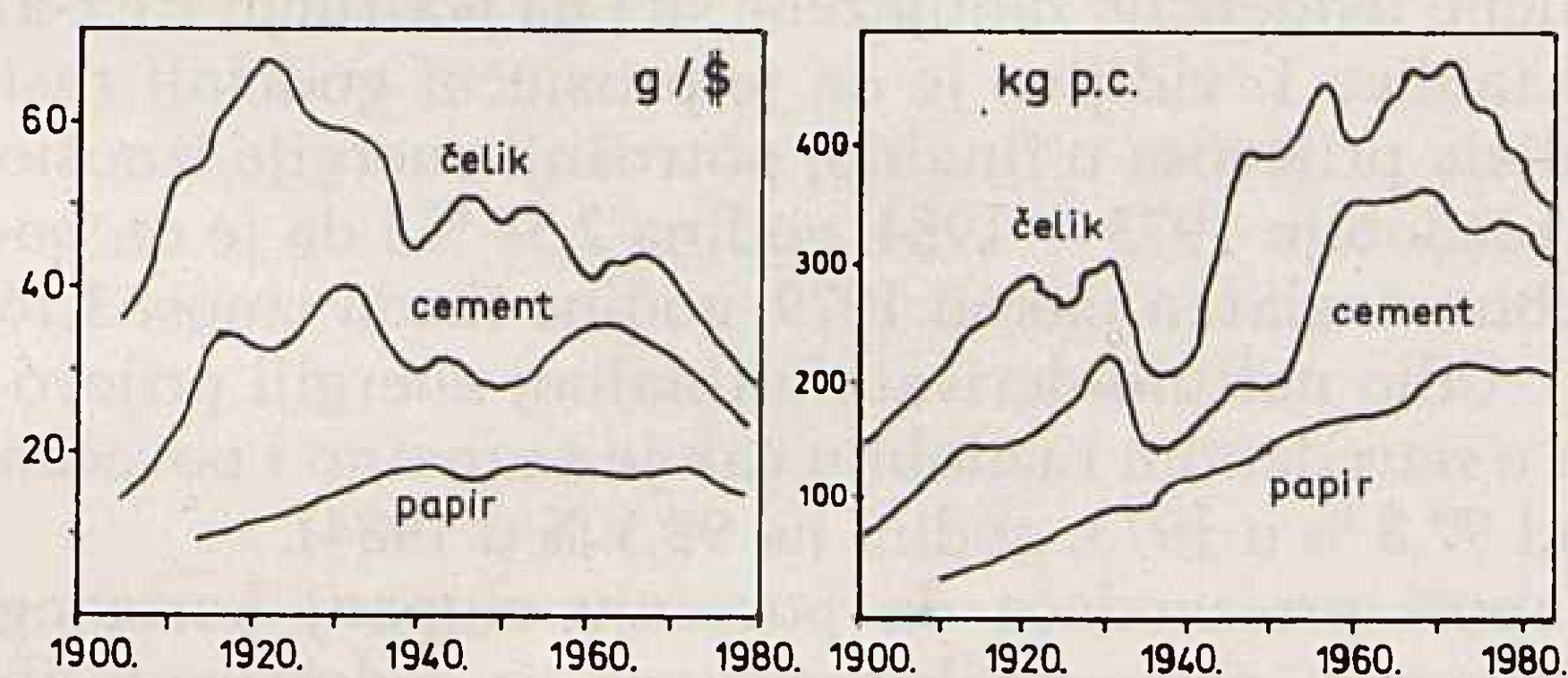
Slika 3. Intenzitet finalne potrošnje energije u odnosu na pridodatu vrijednost industrije SAD u 1978. godini

nivoima osobnog standarda kada se struktura potražnje trajnih dobara mijenja u korist visokovrijednih proizvoda i proizvoda visoke tehnologije (video i audiouređaji, kućna i personalna računala, luksuzna dobra).

Na specifičnu potrošnju tradicionalnih materijala (posredno i na promjenu strukture industrije) bitno utječe tehnički i tehnološki progres općenito, a posebno tehnološki progres u domeni metalurgije, nemetala i sintetskih materijala. Posljedice su dvojake. S jedne strane, proizvodnjom trajnijih materijala boljih fizikalnih svojstava povećava se efikasnost njihove upotrebe, a skuplji, energetske intenzivniji materijali supstituiraju se povoljnijima (ta konkurencija materijala je sve izraženija). S druge strane, tehnička unapređenja određenih proizvoda ili zamjena proizvoda drugim s istom funkcijom smanjuje njihovu potrebu u materijalu. Kao zanimljiv primjer navedenog iznosi se podatak da se pri održavanju Efelovog tor-



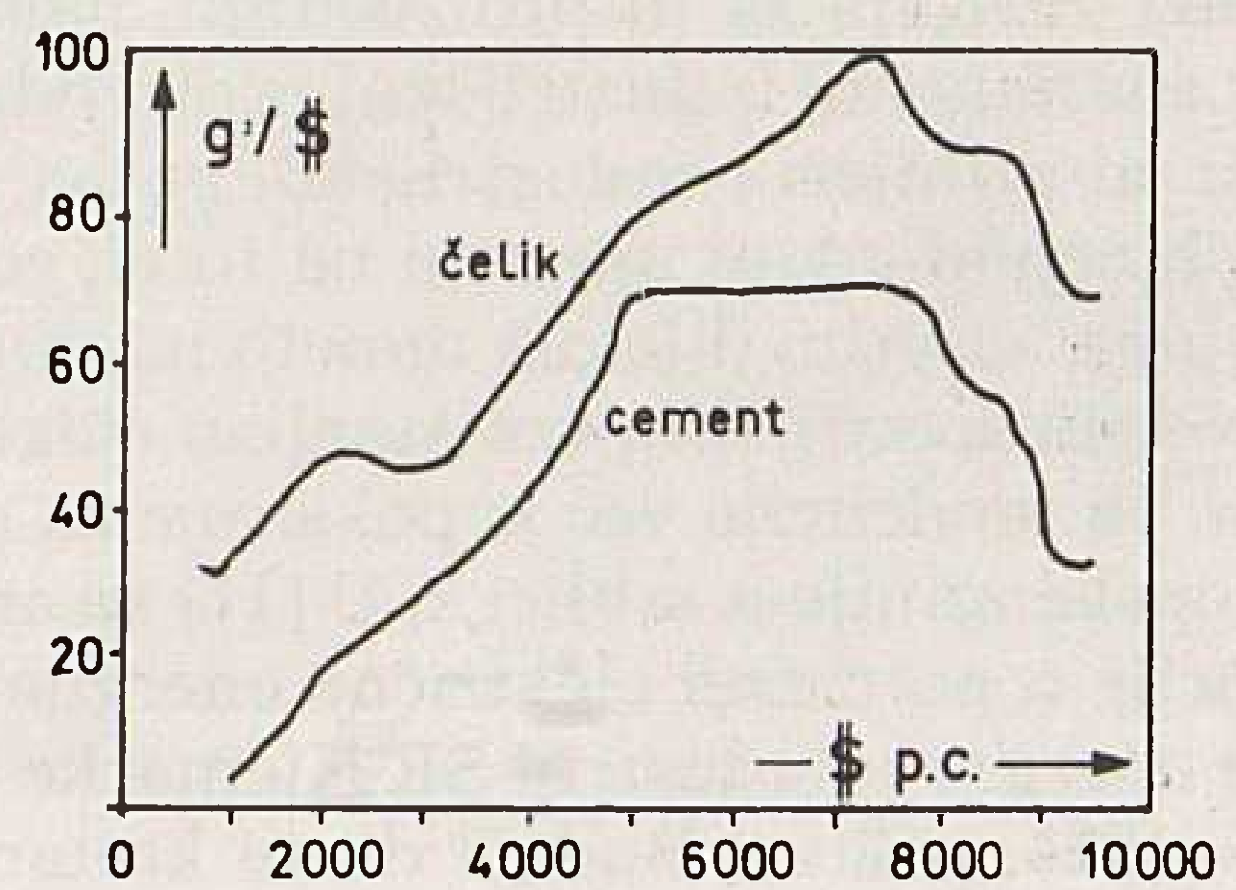
Slika 4. Kretanje specifične potrošnje baznih materijala u zap. Evropi (SRNJ, Francuska, V. Britanija)



Slika 5. Kretanje specifične potrošnje baznih materijala u SAD

nja prvotno ugrađeni nosači zamjenjuju danas triput lakšim ili da je masa željezničke lokomotive po 1 W snage smanjena od 1810. do danas oko 70 puta (težina električne lokomotive je od 1950. godine do danas smanjena 1,5 puta) [8].

Očito je da je prikaz moguće zaključiti dvama zaključcima. Prvo, da povijest industrijski razvijenih zemalja upućuje na ovisnost specifične potražnje proizvoda energetske najintenzivnijih grana i stupnja ekonomskog razvoja (indiciranog društvenim proizvodnom po stanovniku) i, drugo, da je zbog tehnološkog progresa svijeta realno pretpostaviti da je pri istom stupnju ekonomskog rasta u zemlji koja kasnije dostiže određeni nivo ekonomskog rasta manja potražnja za proizvodima energetske najintenzivnijih grana nego na istom nivou rasta u zemlji koja je taj nivo dostigla prije.



Slika 6. Švedska — specifična potrošnja čelika i cementa

U vezi s netom navedenim nužno je naglasiti da su zaključci bitno pojednostavljeni s obzirom na namjeru da se istakne jedna određena dimenzija privrednog razvoja (u suvremenom svijetu dominantna za efikasnost upotrebe energije u industriji). Razumljivo je da je u realnosti nemoguće bilo koji proces adekvatno objasniti bez njegova sagledavanja u jedinstvenosti, cjelovitosti i dinamičnosti društveno — ekonomskog života konkretne zemlje. Poznato je da postoje i drugi putovi industrijskog razvoja (znatno je bolje reći ukupnog privrednog razvoja) koji ne idu onim trasiranim razvojem današnjih industrijski razvijenih zemalja svijeta. Treća tehnološka revolucija i prisutne globalne promjene civilizacije omogućuju umješnima da se razvijaju koristeći se svojim komparativnim prednostima i na drugi način, izbjegavajući u proizvodnji princip »više čelika i betona«. No ti pristupi mogu tek ublažiti determinizam prije analiziranih ovisnosti potrošnje baznih materijala o stupnju ekonomskog rasta, a teško da ga mogu u potpunosti ukloniti.

\*

Tehnološka unapređenja i tehnički progres u cijelosti, kao faktori razvoja čovjekovih sposobnosti mijenjanja oblika energije i materije prema njegovim potrebama (posredno i tih potreba), imaju, per definitionem, za cilj podizanje produktivnosti rada, dakle povećanje ekonomije živog i opredmećenog rada sadržanog u jedinici proizvoda. Razumljivo je stoga da osnovni cilj tehnoloških unapređenja na razini privrednih subjekata ni nakon naftnog udara sedamde-

setih godina nije bio smanjenje potrebne energije po jedinici proizvoda, već smanjenje ukupnih troškova po jedinici proizvoda (što je tek posredno dovelo i do smanjenja potrošnje energije po jedinici proizvoda zbog značenja energije u strukturi faktora proizvodnje). Nadalje, u toku cijele industrijske ere prisutna je težnja da se tehnološkim unapređenjima smanji potreba energije za proizvodnju jedinice proizvoda ako to pridonosi podizanju ukupne ekonomije proizvodnje.

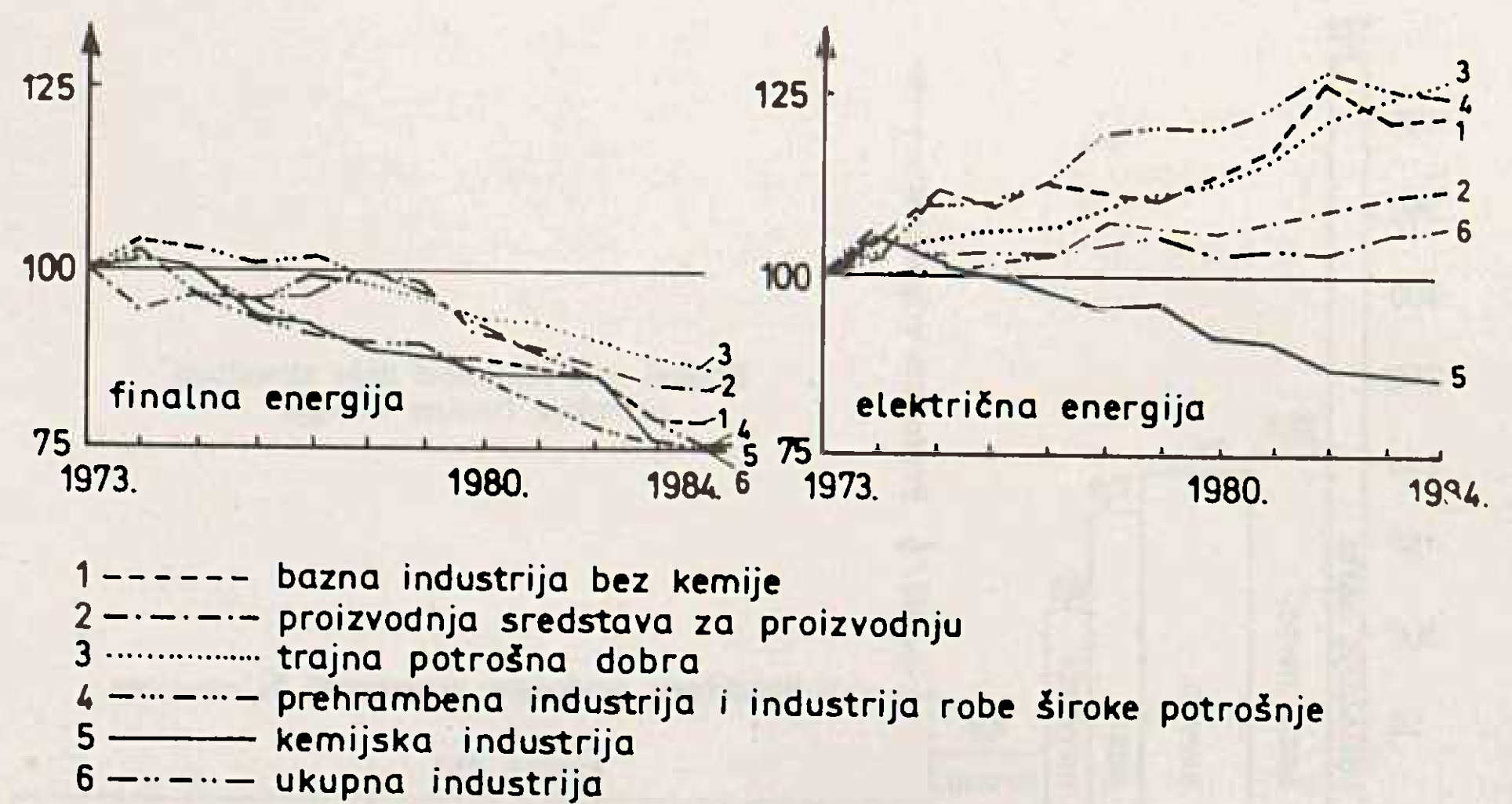
Ilustrativni primjer za ovu drugu tvrdnju jest kretanje prosječnog stupnja korisnog djelovanja termoelektrana; u razdoblju 1925 – 1964. godina porastao je prosječni stupanj djelovanja 2.3. puta (od tada do danas za koji postotak).

Prva tvrdnja, ona o težnji da se smanje ukupni troškovi za proizvodnju jedinice određenog proizvoda, a ne potrebna energija za tu proizvodnju, nalazi svog odraza i u suvremenoj industrijskoj proizvodnji. Naime, brojni su primjeri i industrijskih grana i industrija čitavih zemalja koji upućuju na to da se porast produktivnosti dobrim dijelom temelji na zamjeni živog rada većim specifičnim korištenjem električnom energijom. Ta tendencija već je pokazana za neke zapadnoevropske zemlje u tablici 2. U [11] su analizirane tendencije u potrošnji električne energije i ukupne finalne energije u industriji SR Njemačke u periodu 1973 – 1984. godina. Budući da su kretanja diferencirana na industrijske grane, upućuju na značajne tehnoloških promjena u industriji i promjena u ponašanju pri upotrebi električne energije i ukupne finalne energije.

Rezultati analize prikazani su na slici 7:

- Pad specifične finalne potrošnje energije (u odnosu na ukupnu pridodanu vrijednost proizvodnje) najuočljiviji je u baznoj industriji i industriji prehrambenih proizvoda i robe široke potrošnje (iznosi oko 25 %), dok je u industriji trajnih potrošnih dobara i sredstava za proizvodnju oko 15 %.
- U ukupnoj industriji specifična potrošnja električne energije po pridodanoj vrijednosti povećana je u razdoblju 1973 – 1984. godina za 3 %. Kemijska industrija (proizvodnja i prerada) bilježi pad specifične upotrebe električne energije, a sve ostale grane bitni porast specifične potrošnje električne energije. Može se uočiti da industrija trajnih potrošnih dobara i grana proizvodnje sredstava za proizvodnju pokazuju kontinuirani rast specifične potrošnje električne energije, dok je u baznoj industriji, prehrambenoj industriji i industriji robe široke potrošnje primjetna stagnacija te potrošnje, ali na nivou više od 20 % iznad one u 1973. godini.

Navedene promjene dovele su do povećanja udjela električne energije u strukturi finalne potrošnje energije u industriji na 24 % u 1984. od 17 % u 1973. godini [11]. Taj porast ne treba pripisivati isključivo povećanju automatizacije proizvodnih procesa (dakle povećanoj upotrebi mehaničke energije) već i sve većoj primjeni električne energije u generiranju procesne topline. Analize pokazuju da je od 1973. do



Slika 7. Indeks potrošnje energije u odnosu na pridodatu vrijednost (prema [11])

1984. godina povećana upotreba električne energije u te svrhe za 20 % [11] i da je zahvaljujući tome bitno porasla efikasnost upotrebe ukupne finalne energije u industriji. Zapažena je tako povećana upotreba električne energije u generaciji procesne topline u industriji željeza i čelika (u strukturi finalne energije upotrebljavane u te svrhe udvostručen je u promatranom razdoblju udio električne energije od 10 na 20 %) [11]. Nadalje, slične tendencije karakteriziraju industriju papira i celuloze, ali i industriju sredstava za proizvodnju i industriju trajnih potrošnih dobara.

#### 4.2. Prijevoz

Iako u strukturi finalne energije sudjeluje prijevoz s manjim udjelom nego industrija i opća potrošnja, očuvanju energije u tom sektoru potrošnje poklanja se u OECD-u prvorazredna pažnja. Dva su osnovna razloga tomu:

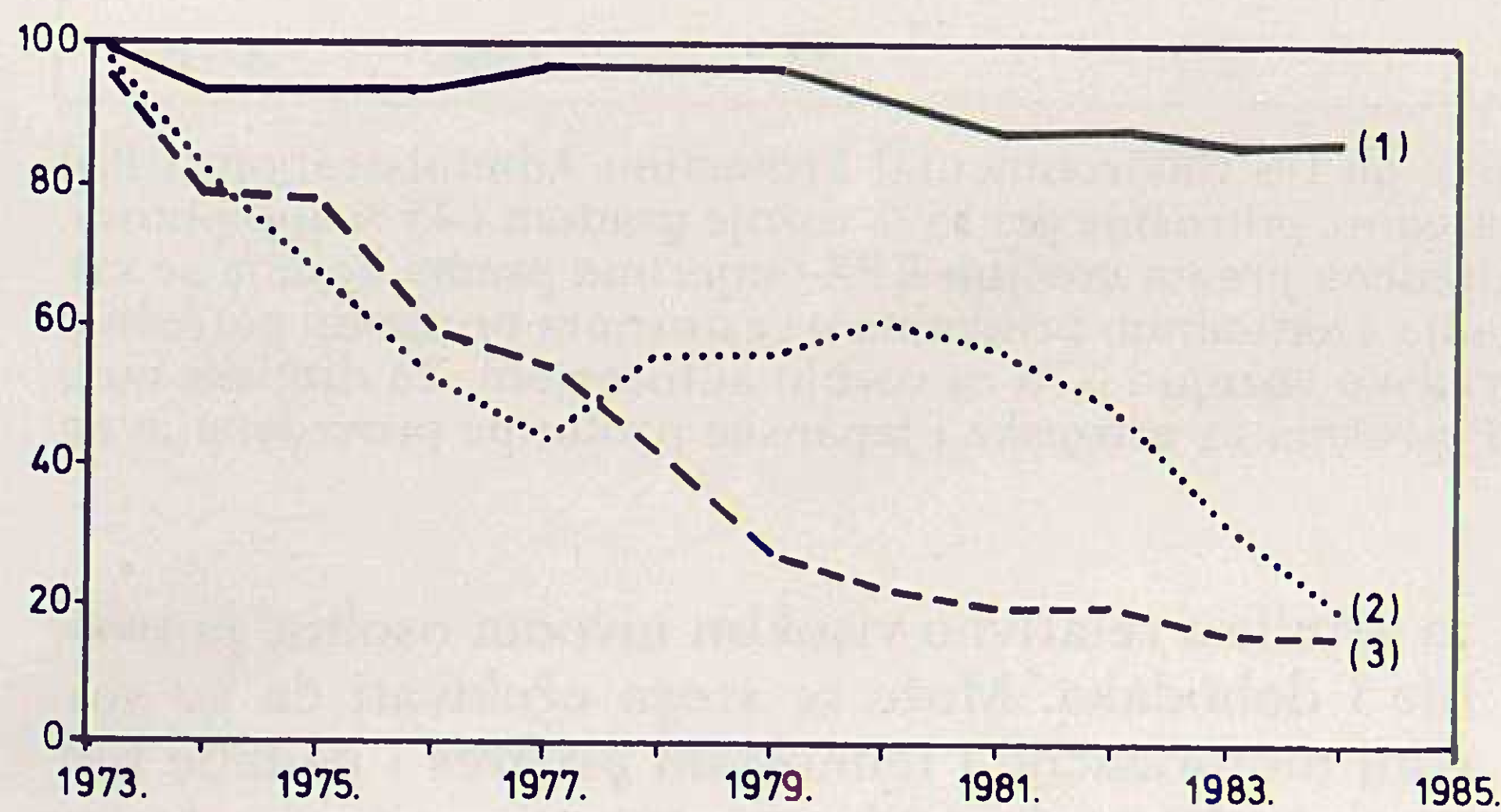
- visoka stopa rasta potrošnje energije u tom sektoru
- nepovoljna struktura upotrebljavanih oblika energije.

Navedeno se ilustrira podatkom da je u razdoblju 1973 – 1984. godina prosječna godišnja stopa rasta potrošnje energije u prijevozu OECD-a iznosila 1,4 % (u razdoblju 1960 – 1973. godina 5,1 %), finalna potrošnja energije u općoj potrošnji stagnirala, a u industriji bilježila pad [4]. Nadalje, u strukturi upotrebljavanih oblika energije, derivati nafte u toku čitavog navedenog razdoblja sudjeluju s oko 99 % (1973. godine s 99,0 %, a 1984. s 99,2 %) [4]. U 1985. godini prijevoz je upotrebljavao oko 53 % ukupne raspoložive nafte u OECD-u [12].

Slične tendencije zabilježene su i na području EEZ-a. Iz tablice 1. vidljivo je da je prosječni godišnji rast udjela prijevoza u finalnoj potrošnji energije iznosio u razdoblju 1973 – 1984. godina 2,54 % i da je on posebno naglašen nakon 1979. godine (kada iznosi 3,16 %). Udio naftnih derivata u finalnoj energiji prijevoza u navedenom razdoblju čak je neznatno i povećan (od 97,8 % u 1973. godini na 98,3 % u 1984.).

Napori proizvođača da povećaju stupanj korisnog djelovanja prijevoznih sredstava uz zadržavanje ili unapređenje performansi relevantnih za njihovu funkciju ne karakteriziraju samo zadnjih petnaestak go-

dina. Takve težnje označavaju čitav povijesni razvoj prometa robe i putnika. No izrazita motiviranost svih privrednih subjekata (i proizvođača prijevoznih sredstava i njihovih korisnika) i građana da racionalno upotrebljavaju energiju, potaknuta skokovitim rastom cijena energije sedamdesetih godina i mjerama vladinih politika očuvanja energije, pridonijela je bitnom padu prosječnih godišnjih stopa rasta potrošnje energije. Kao ilustracija navedenog daju se na slici 8. promjene u specifičnoj potrošnji energije u pomorskom i zračnom prijevozu (indeksi specifične potrošnje po t-km) i automobilskom prometu (indeksi specifične potrošnje po automobilu) u razdoblju 1973 – 1984. godina.



Slika 8. Indeksi specifične potrošnje energije automobila (1) brodova (2) i aviona (3) u OECD-u (izvor /9/)

Za razliku od industrije, strukturne promjene u prijevozu nisu u proteklom razdoblju zamjetnije utjecale na trendove potrošnje energije u tom sektoru. Ne mogu se uočiti ni neke pravilnosti (tendencije), koje bi vrijedile za globalna kretanja. Očito je da je konstelacija utjecaja faktora privrednog razvoja na promjenu strukture prijevoza u proteklom razdoblju bila takva da su više do izražaja dolazile lokalne specifičnosti (na nivou zemlje ili regiona svijeta) nego oni utjecaji koji su bili zajednički za industrijski razvijene zemlje svijeta. Uz navedenu ogradu iznose se kao primjer podaci o promjenama strukture potrošnje energije u prijevozu EEZ-a [13]: od 1973. do 1986. godine povećan je udio cestovnog prijevoza od 79,8 % na 84,7 %, a zračnog i vodenog (unutar Zajednice) se smanjio od 4,7 na 3,1 % odnosno od 3,7 na 1,5 %.

Tehnološki progres u sektoru prijevoza bio je u razdoblju nakon 1973. godine izrazito brz. Osim bitnog poboljšanja u specifičnoj potrošnji energije novih tipova osobnih automobila (tablica 3), usavršena su u tom smislu i druga prijevozna sredstva (kamioni, avioni, trgovački brodovi). U brodarstvu je dosegnut relativno visok tehnološki nivo pa se ne očekuju neka brza poboljšanja u tom smislu (glavna poboljšanja će tako proizaći iz šire primjene najmodernijih rješenja). U avionskom prijevozu također su učinjena bitna tehnološka unapređenja, ali su još velike rezerve za poboljšanja, ponajprije povećanjem prosječnog kapaciteta aviona. Posebni napredak u bližoj budućnosti očekuje se u razvoju cestovnih vozila, posebno osobnih automobila (oni su uostalom dominantni potrošači energije u sektoru prijevoza). Iako svjetski proizvođači automobila ne stavljaju povećanje energetske efikasnosti automobila na prvo mjesto u hijerarhiji ciljeva svog razvoja (prema [12] prioritet ima snižavanje proizvodnih troškova i povećanje sigurnosti automobila), suvremeni »štedljivi« automobili (komercijalni i prototipni) upućuju da će i u pogledu te karakteristike izrazito snažna međunarodna konkurencija rezultirati još do nedavno teško predvidivim rezultatima (u [8], str. 68, navodi se da je praksa već danas demantirala predviđanja U.S. National Academy of Sciences iz 1979. godine o ekonomski opravdanom smanjenju potrošnje energije u automobilima u narednim desetljećima). U tablici 4. dane su neke performanse najnovijih osobnih automobila male potrošnje goriva. Valja napomenuti da je pri konstrukciji komercijalnih vozila primjenjen samo dio već danas primjenjivih poboljšanja (poboljšanja u pogledu potrošnje postignuta su smanjivanjem mase vozila ugradnjom lakših materijala, smanjenjem trenja kotrljanja, poboljšanjem aerodinamičkih svojstava vozila, primjenom dizelskih motora s pretkomorom). Dalje povećanje energetske efikasnosti osobnih automobila s postojećom tehnologijom postiže se primjenom dizelskih motora s direktnim uštrcavanjem goriva ili dizelovih motora s direktnim uštrcavanjem i paljenjem smjese svjećicom, primjenom kontinuiranog mjenjača, još većom primjenom lakih materijala, daljim smanjivanjem aerodinamičkih otpora itd. Nema prostora za detaljniju elaboraciju tih i drugih tehnoloških dostignuća, pa se samo navodi da se u [8] ocjenjuje da se može oče-

Tablica 3. Potrošnja energije u novim osobnim automobilima (prema /9/)

	1973.	1978	1979	1980	1982	1983	1984	1985.	Razlika %
SR Njemačka	10,3	9,6	9,4	9,0	8,3	8,0	7,7	7,5	- 27
Australija	N.D.	11,8	11,2	10,1	9,8	9,5	9,5		- 19
Kanada	N.D.	11,5	11,5	10,3	8,5	8,5	8,4	8,2	- 29
Danska	9,0	N.D.	N.D.	9,6	N.D.	7,3	7,0	7,1	- 21
SAD	16,6	11,8	11,6	10,0	8,9	9,0	8,9	8,7	- 48
Italija	8,4	8,3	8,3	8,1	8,3	8,0	N.D.7,8	7,8	- 7
Japan	10,4	8,8	8,6	8,3	7,7	7,8		7,8	- 25
Nizozemska	N.D.	9,2	8,9	8,8	8,5	N.D.	8,8	9,1	- 1
Vel. Britanija	11,0	9,1	9,0	8,7	8,1	7,9	8,5	7,6	- 31
Švedska	N.D.	9,3	9,2	9,0	8,6	8,6		8,5	- 9

Razlika se računa ovako (1973 – 1985)/1973.

Pri zemljama kod kojih nema podataka za 1973. ili 1985. godinu uspoređuje se prva i zadnja godina.

Tablica 4. Potrošnja goriva osobnih automobila male potrošnje (prema [8])

Tip automobila	Gorivo	Potrošnja lit/100 km	Max. snaga kW	Masa kg	Broj putnika
<b>Komercijalni</b>					
'85 VW Golf, Jetta	plinsko ulje	5,0	39	1029	5
'86 Honda CRX	mot. benzin	4,3	45	779	2
'85 Nissan Sentra	plinsko ulje	4,2	41	850	5
'85 Ford Escort	plinsko ulje	4,3	39	945	5
'86 Chev/Suzuki Sprint	mot. benzin	4,1	36	676	4
<b>Prototipovi</b>					
VW Auto 2000	plinsko ulje	3,6	39	780	4–5
Valvo LCP 2000	pl. ulje/m. benzin	3,4	39/66	707	2–4
Renault EVE	plinsko ulje	3,4	37	855	4–5
Toyota Ltwhgt Compact	plinsko ulje	2,4	42	650	4–5
<b>U projektiranju</b>					
Cummins/NASA Lewis Car	pl. ulje/m. benzin	2,9	52	1364	5–6

Napomena: Za aute s dizelovim motorom, prema mjerenjima po US Environmental Protection Administration (EPA) test-proceduri. Potrošnja goriva je aritmetička sredina potrošnje pri 55 % vožnje gradom i 45 % autoputom. Za aute s benzinskim motorom potrošnja je određena prema novijim EPA-omjerima prema kojima se vrijednosti EPA-testa modificiraju radi biljeg slaganja s aktualnim prilikama u cestovnom prometu: potrošnja određena prema EPA-testu dijeli se sa 0,9 za gradsku vožnju i 0,78 za vožnju autocestom. Za dizelske aute EPA-test je dobar indikator aktualnog stanja. Potrošnja za evropske i japanske prototipe provedena je na ekvivalentne vrijednosti prema EPA-testu.

kivati da će prosječna potrošnja goriva automobila eksploatiranih u 2000. godini iznositi 4,9 litara/100 km i da se pokazuje da promjene u konstrukciji neće negativno utjecati na radne performanse, sigurnost putnika u slučaju sudara ili ekološke karakteristike automobila.

\*

Kao što je već naglašeno, porast cijena energije utjecao je na promjene u ponašanju korisnika prijevoznih sredstava u proteklom razdoblju (dobar pokazatelj jesu trendovi dani na slici 8. na koje je presudno utjecala upravo ova skupina utjecajnih elemenata očuvanja energije). Pritome valja razlikovati korisnike koji se prijevozom koriste poradi obavljanja neke privredne ili društvene djelatnosti od građana kojima je prijevoz jedan oblik osobne potrošnje. U prvom slučaju prijevoz je djelatnost s određenim troškovima, pa je odgovor na promijenjene uvjete u okruženju posljedica optimiranja na razini poslovnog sistema u tim novim uvjetima. S tim u vezi zapažene su promjene u dinamici i strukturi prijevoznih linija (naprimjer u zračnom prijevozu), pomaci u prioritetima između dinamike prijevoza i potpunosti kapaciteta, koncentracija funkcije prijevoza radi povećanja iskorištenja kapaciteta, pomak u periodu amortizacije vozila (zbog promijenjenog odnosa investicija i eksploatacijskih troškova novih prijevoznih sredstava), skraćivanja prosječne dužine puta prijevoza i sl. Pri osobnim automobilima povećanje cijena goriva nakon 1973. godine uvjetovalo je pad potrošnje goriva osobnih auta uz koeficijent elastičnosti od oko 0,4 [15]. Istraživanja su pokazala da se takva prilagođavanja novim uvjetima iscrpljuju u području eksploatacije (smanjenje broja pređenih kilometara po autu u godini, poboljšano održavanje, štedljivija vožnja), a da veoma malo utječu na dugoročnije trendove (naprimjer tendencije u stupnju motorizacije) [12]. Razumljivo, ovaj zaključak vrijedi

za zemlje s relativno visokim nivoom osobne potrošnje i dohodaka. Može se stoga očekivati da će stupanj motorizacije i tehnološki progres i nadalje biti osnovni determinatori potrošnje energije u sektoru prijevoza.

#### 4.3. Opća potrošnja

Sektor opće potrošnje obuhvaća energetska potrošnju domaćinstva, takozvanih zajedničkih sadržaja (poslovne, javne, zdravstvene i školske zgrade, trgovine, ugostiteljstvo, zanatstvo, servisi i sl.) i svih ostalih djelatnosti koje se ne uključuju u industriju i prijevoz (poljoprivreda, šumarstvo, građevinarstvo). Strukturne promjene u privredi razvijenih zemalja svijeta (posebno brzi razvoj tercijarnog sektora), rast životnog standarda stanovništva i znatni uspjesi u efikasnosti upotrebe energije u industriji uzrokovali su da opća potrošnja (usprkos napretku u očuvanju energije) postane dominantan sektor potrošnje energije. Kao što je iz tablice 1. vidljivo, u EEZ-u je 1973 – 1984. godina potrošnja energije u općoj potrošnji stagnirala (prosječna godišnja stopa rasta iznosi svega 0,27 %). Relativno visoku stopu rasta imala je, međutim, potrošnja električne energije: 3,85 % prosječno godišnje. Slične tendencije zabilježene su i za čitav OECD: potrošnja finalne energije u općoj potrošnji je u periodu 1973 – 1984. godina u toj grupaciji stagnirala, dok je potrošnja električne energije bilježila rast od 3,87 % prosječno godišnje [4] pa se, slično sektoru industrije, može zaključiti da, usprkos bitnom povećanju efikasnosti upotrebe finalne energije, potražnja električne energije raste s relativno visokom stopom rasta. Ta tendencija vrijedi za sve zemlje OECD-a. Kao primjer navodi se da je ukupni porast potrošnje električne energije od 1973. do 1984. godine iznosio u općoj potrošnji Austrije 60 %, Belgije 100 %, Danske 48 %, Italije 72 %, Japana 92 %, Nizozemske 44 %, Norveške 70 %, SAD 41 %, Španjol-

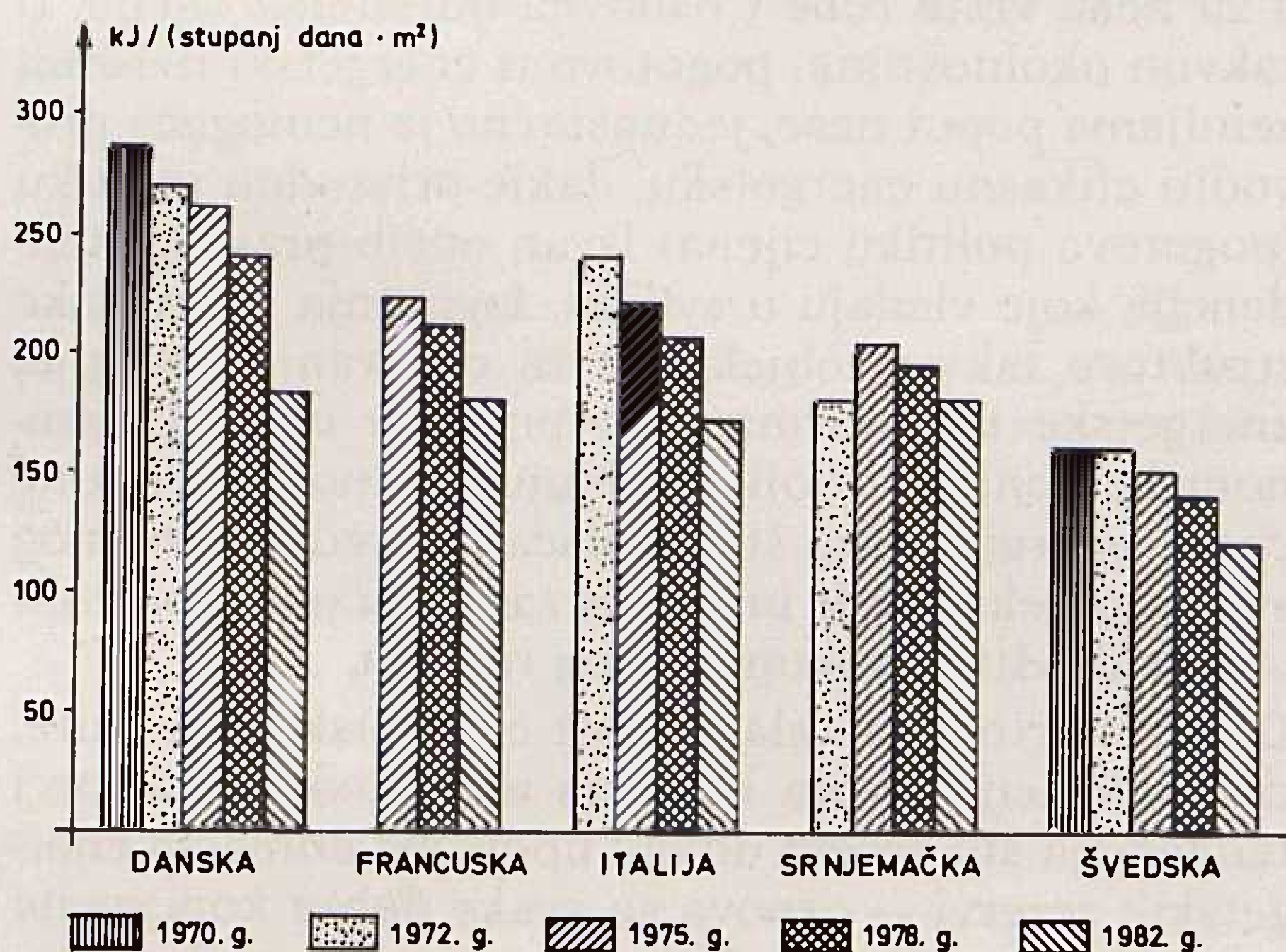
ske 100 %, Švedske 117 %, Velike Britanije 8 % [16]. U svim nabrojenim zemljama finalna energija opće potrošnje pala je (stope rasta su u rasponu –0,2 do –1,6 %) osim u Japanu, Norveškoj i Italiji gdje su zabilježene ove prosječne godišnje stope rasta: 2,4 %, 1,8 %, 0,7 % [16].

Struktura energije predane općoj potrošnji ovisi o nizu faktora (strukturni tercijarnog sektora i njegovu odnosu prema stambenom sektoru, klimatskim karakteristikama – temperaturi, dužini ogrjevnog perioda i sl., životnom standardu stanovništva, kvaliteti gradnje stambenih i ostalih prostora, strukturi grijanog prostora, ponašanju stanovništva itd.), a za prosječne evropske prilike (i SFRJ) vrijedi ova razdioba prema tipovima potreba [17]:

– grijanje (i klimatizacija)	65 – 70 %
– priprema potrošne tople vode	10 – 15 %
– kuhanje	4 – 5 %
– nesupstituabilna el. energija	10 – 15 %
– ostalo	5 – 6 %

Kao što se vidi, s kudikamo najvećim udjelom sudjeluje energija potrebna za grijanje zgrada, pa je razumljivo da je težište politike očuvanja energije zemalja OECD-a na ovoj oblasti.

Na slici 9. dano je kretanje korisne energije za grijanje stambenih prostorija (toplina koja se putem ogrjevnih tijela predaje prostoriji) u nekoliko zemalja svijeta u periodu 1970 – 1982. godina (energija je svedena na m<sup>2</sup> stambene površine i podijeljena s brojem stupnjeva dana) [9]. Može se uočiti da je u svim promatranim zemljama povećana efikasnost upotrebe energije za grijanje prostorija. Unapređenja su postignuta dijelom promjenom ponašanja kao odgovor na rast cijena energije i vladine mjere očuvanja energije (studijom izrađenom 1984. godine u US Department of Energy procijenjeno je da je u razdoblju 1973 – 1977. godina oko 45 %, a u razdoblju 1978 – 1982. godina oko 30 % ušteda postignuto promjenama u ponašanju korisnika), dijelom kao posljedica tehnoloških unapređenja ogrjevnog infrastrukture i mjerno-regulacijske opreme te posebno toplinske zaštite zgrada, a dijelom kao posljedica strukturnih



Slika 9. Promjena prosječne topline predane stambenim prostorijama u razdoblju 1970–1982.

promjena (u pogledu izvora i načina energetske opskrbe, promjena u arhitekturi zgrada i sl.).

Slična nastojanja prisutna su i pri upotrebi energije za kuhanje i pripremu potrošne tople vode, iako su tu zabilježeni manji uspjesi (što se s obzirom na manje mogućnosti povećanja energetske efikasnosti u odnosu na grijanje i moglo očekivati).

U upotrebi električne energije prisutne su dvije divergentne tendencije. S jedne strane, kao posljedica rasta životnog standarda i tehničkog progresa povećava se opremljenost stanovništva i uslužnih djelatnosti električnim uređajima, što uzrokuje povećanje potražnje električne energije (prisutna je tendencija povećanja upotrebe električne energije i za zadovoljavanje toplinskih potreba). Suprotno tomu, prisutno je smanjivanje specifične potrošnje električne energije po uređaju kao posljedica tehnološkog napretka na tom području. Za ilustraciju navedenog iznosi se podatak da je samo u šestogodišnjem razdoblju 1978 – 1984. godina smanjena specifična potrošnja električne energije strojeva za pranje rublja za 15,2 %, strojeva za pranje posuđa 26,6 %, hladnjaka i zamrzivača 23,7 %, a električnih pećnica za 14,2 % [11]. S druge strane, povećana je u SR Njemačkoj, naprimjer, opremljenost domaćinstava električnim uređajima ovako (broj uređaja na 100 domaćinstava) [11]:

Uređaji	1973.	1984.
strojevi za pranje rublja	82	92
strojevi za sušenje rublja	2	13
električne peći	65	77
strojevi za pranje posuđa	8	28
hladnjaci	86	95
zamrzivači	34	57

Dosadašnja kretanja upućuju da je sinteza navedenih divergencija tendencija rasta potražnje električne energije bez dosada vidljive saturacije.

Zbog znatnog udjela opće potrošnje u finalnoj energiji ovom se sektoru u politici očuvanja energije poklanja najveća pažnja. Osim ciljeva štednje energije posebno se težište stavlja na planiranje energetske strukture urbane sredine kao izvora informacija za komunalne službe, privredne subjekte i građane te kao podloga upravnim organima za donošenje mjera politike očuvanja energije. Ovisno o uvjetima u pojedinoj zemlji (urbanoj sredini) razlikuje se strukturiranje načina i oblika energetske opskrbe. Generalno se može navesti da se u većini evropskih zemalja teži stimuliranju zajedničke proizvodnje topline i električne energije radi štednje energije koja se time postiže i mogućnosti diversifikacije upotrebljivanih primarnih oblika energije za zadovoljenje potreba krajnjih korisnika [16], zatim da se teži upotrebi prirodnog plina za te potrebe (zbog znatnih upotrebnih prednosti tog oblika energije) i napokon, da se nastoje naći optimalni odnosi između zastupljenosti električne energije, prirodnog plina i centraliziranih toplinskih sistema u energetskej opskrbi sektora opće potrošnje.

## 5. CILJEVI POLITIKE RACIONALNE UPOTREBE ENERGIJE

Na osnovi prethodnih razmatranja iskustva zemalja OECD-a u racionalizaciji upotrebe energije moguće je naznačiti koje su pretpostavke nužne da bi domaća energetika bila ekonomski efikasna i koji bi trebalo da su ciljevi njezina daljeg razvoja.

S obzirom na višedimenzionalnost ciljeva društveno-ekonomskog razvoja i s obzirom na diferenciranost ciljeva ovisno o hijerarhijskom nivou društveno-ekonomskog sistema, racionalnost upotrebe energije nužno je mjeriti nekim kriterijima.

Na nivou radnih organizacija racionalna upotreba energije se izjednačava s optimiranjem faktora proizvodnje radi povećanja dohotka. Trošak za energiju se dakle uspoređuje s vrijednosnim izrazom ostalih predmeta rada, radne snage i sredstava za rad radi postizanja takvog njihova odnosa kojim će se postići najveći ekonomski efekti. U toj preraspodjeli najčešća alternacija energiji jesu sredstva za rad. Naprimjer, povećanim investicijama u proizvodna postrojenja najčešće se može smanjiti potreba u energiji (no to ne znači da je porasla racionalnost upotrebe energije). Očito, nužna pretpostavka za racionalnu upotrebu energije jest racionalnost društva u cjelini, odnosno motiviranost svih subjekata za racionalno ponašanje. Kao postulat izveden iz prakse netržišnih privreda moguće je iznijeti da nema racionalne upotrebe energije u uvjetima administrativnog arbitriranja u tokovima društvene reprodukcije i da nema dovoljno stimulansa za optimiranje faktora proizvodnje (i energije u tom kontekstu) u uvjetima autarkične, netržišne privrede. Nadalje, iskustvo pokazuje da se u uvjetima neekonomskih, administrativno određenih cijena energije one, kao pogrešne informacije privrednim subjektima, reflektiraju neracionalnošću ukupne privrede vodeći često i u odljev nacionalnog bogatstva u inozemstvo (naprimjer izvoz proizvoda visokog sadržaja potcijenjene električne energije).

Na nacionalnom nivou ciljevi racionalne upotrebe energije vezani su na duži rok, a izvode se iz ciljeva ukupnog društveno-ekonomskog razvoja. Iako su mjerila racionalne upotrebe energije i uspješnosti energetike u osnovi identična mjerilima ekonomske racionalnosti pri drugim privrednim djelatnostima, potrebno je sistem ciljeva razvoja energetike proširiti dopunskim kriterijima (naglašava se: proširiti, a ne zamijeniti i u osnovi definirati drugačije nego ni drugim privrednim granama) s obzirom na tri bitne karakteristike energetike (koje nisu međusobno neovisne):

- infrastrukturno značenje energetike
- izrazito snažni eksterni efekti (posebno u toku izgradnje objekata, ali i u toku eksploatacije)
- strateško značenje energetike.

U skladu s tim navodi se ovaj sistem ciljeva racionalizacije upotrebe energije na makronivou:

- minimizacija ukupnih troškova za postizanje unaprijed zadane sigurnosti opskrbe korsnika potrebnom energijom

- maksimiranje nacionalnog dohotka društvene zajednice (akcije racionalizacije upotrebe energije treba da pridonose rastu nacionalnog dohotka)
- elastičnost energetske strukture u smislu što manje osjetljivosti na poremećaje koje može donijeti budućnost
- težnja većoj upotrebi domaćih energetske rezervi te diversifikaciji načina energetske opskrbe i korištenih uvoznih energetske oblika
- adekvatan odnos energetike i zaštite okoline.

Prva dva od navedenih ciljeva plediraju za ekonomsku racionalnost i u domeni energetike (pri čemu drugi potencira značenje eksternih efekata energetike), dok treći i četvrti izražavaju potrebne strateške kvalitete koncepcije energetske razvoja. S tim u vezi valja istaći da težnja maksimalnoj upotrebi domaćih energetske rezervi zasigurno može poticati materijalni i društveni razvoj i biti doprinos ekonomskoj neovisnosti zemlje, ali da, nesumnjivo, i ovdje postoji određeni prag ekonomske racionalnosti iznad kojega autarkični energetski razvoj zemlje po svaku cijenu postaje ponor akumulacije bez adekvatnog doprinosa rastu nacionalnog dohotka. I u ovom segmentu privrednog razvoja treba stoga težiti jačanju materijalne osnovice društva izborom društveno-ekonomski najpovoljnijih pravaca razvoja koristeći se i otvorenošću prema svijetu. Tu otvorenost treba, dakle, shvatiti kao orijentir racionalnosti i u domeni energetike, orijentir koji pridonosi društvenim opredjeljenjima da se u procesu reprodukcije energija mora tretirati kao roba uz uvažavanje ekonomskih faktora pri formiranju njezine cijene.

Politika ekonomske autarkije u bilo kojem obliku jednostavno ne može egzistirati u suvremenom svijetu. Ta istina u ekonomskim odnosima najočitiše se spoznaje na području međunarodne razmjene, gdje samo roba čija je cijena svjetski objektivizirana može pronaći kupca. Različiti oblici nacionalnih poticaja pri izvozu nužno karikiraju strukturu cijene koštanja drugih vrsta robe namijenjenih domaćem ili inozemnom tržištu, što samo potvrđuje neodrživost ekonomske autarkije. U suvremenom svijetu utjecaj troškova energije u bilo kojem proizvodu sve je veći, a za neke vrste robe i osnovna odrednica cijene. U takvim okolnostima, pogotovo u energetski ovisnim zemljama poput naše, jednostavno je nemoguće provoditi efikasnu energetske, dakle privrednu politiku (pogotovo politiku cijena) izvan općih pravila i tendencija koje vladaju u svijetu. Izgradnja energetske strukture takvim objektima za dobivanje energije, energetske transformacije i prijenos energije ekonomske kondicije kojih uvjetuju znatno veće realne cijene energije nego što ih plaća privreda razvijenog svijeta objektivna je prepreka za postizanje osnovnih ciljeva društveno-ekonomskog razvoja.

Dodatni kriteriji — elastičnost energetske strukture, diversifikacija izvora i načina energetske opskrbe i tendencija što većem udjelu upotrebe domaćih energetske rezervi — osnova su svake dobre koncepcije energetske razvoja. Oni omogućavaju prilagodbu energetske strukture novim uvjetima ako budući razvoj (posebno egzogenih faktora) pokaže odstupanja



u odnosu na razvoj koji danas smatramo najvjerojatnijim. Ta odstupanja mogu biti različita, naprimjer poremećaji međunarodnih političkih i ekonomskih odnosa, formiranje monopolističkih težnji u energetskom sektoru, spoznaja da domaće energetske rezerve nisu te izdašnosti ili eksploatibilnosti kao što danas ocjenjujemo da jesu itd.

Kriterij o adekvatnosti odnosa energetike i okoline proizlazi iz temeljnog prava na zdravu životnu okolinu. Pri realizaciji tog cilja nužno je objektivno sagledati rizike i utjecaj na okolinu pojedinih energetskih postrojenja i osigurati potrebne uvjete zaštite. Važno je ovdje naglasiti da je veza između ekonomije i ekologije čvrsta i da njena simplifikacija može imati znatnih negativnih ekoloških, ali i ekonomskih posljedica.

## 6. ZAKLJUČAK

Pojam racionalna upotreba energije obuhvaćen je opsegom pojma ekonomska racionalnost. Neosnovano je stoga tretirati energiju izvan općih zakona racionalnog ponašanja u privredi, društvenim djelatnostima i osobnoj potrošnji. Uspjeh nastojanja koja se pojmovima racionalna upotreba energije, štednja energije i očuvanje energije definiraju najvećim je dijelom ovisan o uspješnosti i racionalnosti privrede i društva u cjelini, a tek manjim dijelom o akcijama orijentiranim isključivo na domenu energije. Drugim riječima, mjere koje se u operacionalizaciji politike racionalne upotrebe energije, štednje energije i očuvanja energije donose ne mogu biti djelotvorne ako privredni subjekti kao potencijalni nosioci realizacije tih mjera nisu motivirani za postizanje ciljeva tih politika.

Politike očuvanja energije što su ih provodile vlade članica OECD-a sedamdesetih godina bile su usmjerene ponajprije stimulaciji privrednih subjekata i ostalih korisnika energijom u njihovim naporima da odgovore naraslim troškovima energije. Preraspodjela u značenju energije u strukturi faktora proizvodnje dovela je do aktiviranja svih snaga radi uspostavljanja optimalnog odnosa tih faktora u novim uvjetima. Rezultat tih nastojanja bilo je zadržavanje potrošnje energije u razdoblju od 1973. godine do danas na nivou 1973. godine uz istovremeno povećanje društvenog proizvoda po stanovniku.

Suštinska strukturno-tehnološka revolucija, koju od početka osamdesetih godina provode indusatrijski razvijene zemlje svijeta, rezultira smanjivanjem potrebne energije i sirovina po jedinici proizvoda i rastom značenja znanja, inovacija, novih tehnologija i organizacija. Zbog tog prijelaza s jednog kvalitativnog nivoa na drugi ovo razdoblje promjena nije nepogodnije za zaključivanja o dugoročnim tendencijama u potrošnji energije (stara pravila koja su vrijedila u klasičnoj industrijskoj eri više ne vrijede, a nova se tek rađaju). Nema, međutim, sumnje da odnos prema energiji ostaje bitni element ekonomski racionalnog ponašanja.

## LITERATURA

- [1] Energy Terminology — A Multi — lingual Glossary, II izdanje, The World Energy Conference London — Pergamon Press, London, 1986.
- [2] Strategija dugoročnog razvoja energetike Jugoslavije (u redakciji H. Požara), Informator, Zagreb, 1983.
- [3] H. STEEG: »Energy Situation in IEA Countries Evolution in the Past and Future Prospects,« 13 th Congress of the World Energy Conference, Cannes, 5 — 11. 10. 1986.
- [4] Energy Balances of OECD Countries 1983./1984., IEA-OECD, Paris, 1986.
- [5] Statistički godišnjak Jugoslavije, gledišta 1976 — 1987., Savezni zavod za statistiku, Beograd, 1976 — 1987.
- [6] K. FUJIME, H. KIBUNE: »The Structural Changes in Energy Demand and Economy since the Oil Crisis — The Japanese Case,« 13th Congress of the World Energy Conference, Cannes, 05 — 11. 10. 1986.
- [7] Statistical Yearbook 1983/84., United Nations, New York, 1986. str. 596 — 605
- [8] J. GOLDEMBERG, Th. B. JOHANSSON, A. K. N. REDDY, R. H. WILLIAMS: »Energy for a Sustainable World, World Resources Institute — A Center for Policy Research, New York (godina izdanja nije otisnuta)
- [9] Les economies d'energie dans les pays de l'AIE, Agence Internationale de l'energie, OECD, Paris 1987.
- [10] P. KUNC: »Potrošnja energije u crnoj metalurgiji«, u monografiji Energija i razvoj, Jugoslavenski savez društava za širenje naučnih saznanja »Nikola Tesla«, Beograd, 1986., str. 200
- [11] G. HECKER: »The Role of Electrical Energy in the Structural Change in Energy Consumption in the Federal Republic of Germani since 1973«, 13 th Congress of the World Energy Conference, Cannes, 05. 11. 10. 1986.
- [12] Energy in Europe-Energy Policies and Trends in the European Community, Commission of the European Communities, Luxembourg, april 1988., str. 60 — 68
- [13] An Efficient Energy Future: Prospects for Europe and North America, United Nations Economic Commission for Europe, London
- [14] R. POITRAT: »Energy Consumption in industrial Processes — Cement«, Societe des Ciments Francais, Paris, 1986.
- [15] V. BRAJČIĆ: »Razvoj motorizacije i stupanj privrednog razvoja«, u monografiji Energija i razvoj, Jugoslavenski savez društava za širenje naučnih saznanja »Nikola Tesla«, Beograd, 1986., str. 393 — 399
- [16] Energy Policies and Programmes of IEA Countries, 1985 Review, OECD, Paris, 1986
- [17] Efficient use of Energy Sources in Meeting Heat Demand, Economic Commission for Europe (UN), New York, 1984.

**RATIONAL USE OF ENERGY — TENDENCIES AND EXPERIENCE OF OECD COUNTRIES**

In the article is defined a term for rational energy use. Analysed are tendencies in OECD countries for energy use in industry, transportation and general consumption. On the OECD countries experience, presented are some base suggestions for principals and objectives of rational energy use.

**RATIONELLER ENERGIEVERBRAUCH — TENDENZEN UND EMPFEHLUNGEN DER OECD LÄNDER**

Im Artikel wird der Begriff des rationellen Energieverbrauchs definiert. Es werden Tendenzen der Veränderungen bezüglich des Energieverbrauchs in den OECD Ländern im Industriesektor, im Sektor des Transports und des allgemeinen Verbrauchs analysiert. Aufgrund der Erfahrung dieser Länder mit der Rationalisierung des Energieverbrauchs werden Vorschläge für die Voraussetzungen und Ziele des rationellen Energieverbrauchs gemacht.

**РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ — ТЕНДЕНЦИИ И СОВЕТЫ ПРАКТИКИ СТРАН ОЕСД**

Определяется понятие рационального использования энергии. Анализируются тенденции изменения использования энергии в странах в секторах промышленности, транспорта и общего потребления. Основываясь на опыте этих стран по рационализации использования энергии, приводятся основные советы о предпосылках и целях рационального использования энергии.

Naslov pisca:

**Mr. Zdravko Mužek, dipl. inž.  
Institut za elektroprivredu  
Zagreb, 41000 Zagreb,  
Proleterskih b. 37, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1989-02-07



**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**

# ANALIZA DIMENZIONIRANJA IZVORA ISTOSMJERNOG RAZVODA 220 V (110V) U ELEKTROENERGETSKIM POSTROJENJIMA

Mr. Juraj Šimunić, Rijeka

UDK 621.316.1:621.3.09

PREGLEDNI RAD

Ovim radom dani su prijedlozi za neke izmjene u pristupu definiranja potrošača istosmjernog razvoda 220V (110V) i dimenzioniranja izvora tog razvoda. U prvom se dijelu rada uvode određene izmjene u metodologiji definiranja potrošača i ukupne potrošnje istosmjernog razvoda. Za paralelni rad ispravljača i aku-baterije u režimu fool-float predloženo je da se dimenzioniranje ispravljača vrši samo na temelju trajnih potrošača i struje punjenja prazne aku-baterije. Predloženim izmjenama postižu se uštede pri dimenzioniranju izvora istosmjernog razvoda.

**Ključne riječi:** istosmjerni napon (razvod), AKU-baterije.

## 1. UVOD

Istosmjerni razvod elektroenergetskih postrojenja (EEP-a) jedan je od najvitalnijih dijelova postrojenja. Nestankom pomoćnog napona onemogućeno je upravljanje svim osnovnim uređajima u postrojenju. Nakon nekoliko većih havarija koje su se dogodile u EEP-ima zbog neefikasnosti istosmjernog razvoda posvećuje se kreiranju i dimenzioniranju tih razvoda znatno veća pažnja. Na temelju provedene analize postojeće metodologije projektiranja izvora istosmjernog razvoda predložene su u ovom radu neke izmjene u metodologiji definiranja ukupne potrošnje istosmjernog razvoda.

Za potrebe analize paralelnog rada ispravljača i aku-baterije i provjere selektivnosti zaštitnih uređaja obavljena su ispitivanja istosmjernog razvoda u tipskoj transformatorskoj stanici 110/35 kV Delnice. Koristeći se rezultatima ispitivanja, predlažu se od-

govarajuće izmjene u smislu optimalnog dimenzioniranja ispravljača i aku-baterije u paralelnom radu.

## 2. ODREĐIVANJE SNAGE I ENERGIJE POTROŠAČA ISTOSMJERNOG RAZVODA

Poznato je iz literature ([1,5] i postojećeg projektiranja istosmjernog razvoda da se potrošači istosmjernog razvoda grupiraju na:

- stalne potrošače
- povremene potrošače
- nužnu rasvjetu.

Prema tako grupiranim potrošačima obavljao se proračun maksimalnog opterećenja istosmjernog razvoda i ukupne potrošnje prema tablici 1. U tablici nije zbog preglednosti posebno naznačeno da pojedinačnih potrošača  $p_A, p_B, p_C \dots$  (stupac 2) ima više, tj. u

Tablica 1. Prikaz definiranja potrošnje istosmjernog razvoda za potrebe dimenzioniranja izvora (postojeće stanje)

1 Vrsta potrošača	2 Pojedinačna snaga (W)	3 Broj potrošača	4 Maximalno opterećenje (W)	5 Trajanje max. opterećenja (h)	6 Ukupna potrošnja (Wh)
2 Stalni potrošači	$P_A$	* $x_s$	$P_A = x_s \cdot P_A$	*** $t_A = 5$	$E_A = t_A \cdot P_A$
3 Povremeni potrošači	$P_B$	* $y_s$	** $P_B = k_x \cdot y_s \cdot P_B$	$t_B = 0,25$	$E_B = t_B \cdot P_B$
4 Nužna rasvjeta	$P_C$	* $z_s$	$P_C = z_s \cdot P_C$	$t_C = 5$	$E_C = t_C \cdot P_C$
5 Ukupno	/	/	$P_m = P_A + P_B + P_C$	/	$E_{p5} = E_A + E_B + E_C$

\*  $x_s, y_s, z_s$  — broj istovremenih potrošača za snagu  
 \*\*  $k_x \leq 1$  — faktor istovremenosti povremenih potrošača za snagu  
 \*\*\* — U nekim se proračunima uzimaju 3 sata.

**Tablica 2. Prikaz prijedloga definiranja potrošnje istosmjernog razvoda za potrebe dimenzioniranja izvora**

1 Vrsta potrošača	2 Pojedinačna snaga (W)	3 Broj potrošača snage	4 Maksimalno opterećenje (W)	Broj očekivanih propada ili trajanje rada potrošač.	6 Vrijeme pražnjenja (h)	7 Ukupna potrošnja (Wh)
2 Stalni potrošači	$P_A$	$x_s$	$P_A = x_s \cdot P_A$	/	** $t_A = 5$	$E_A = P_A \cdot t_A$
3 Povremeni potrošači	$P_B$	$y_s$	$P_B = k_s \cdot y_s \cdot P_B$	* $y_E$	$t_B = \frac{0,1}{3600}$ do $t_B = \frac{6}{3600}$	$E_B = P_B \cdot y_E \cdot t_B$  $E_0$
4 Nužna rasvjeta	$P_C$	$z_s$	$P_C = z_s \cdot P_C$	$z_x \cdot k_E$ *	$t_C = 5$	$E_C = P_C \cdot k_E \cdot t_C$
5 Ukupno	/		$P_m = P_A + P_B + P_C$	/	$t_u = 5$	$E_{p5} = E_A + E_C$

\*  $k_E \leq 1$  — faktor vremenskog trajanja potrošača nužne rasvjete

$y_E$  — broj očekivanih prorada povremenih potrošača u vremenu pražnjenja

\*\* — U nekim slučajevima (KPS) vrijeme  $t_A$  može biti i manje od 5 sati.

stupcu 2 postoje potrošači  $p_{A1}, p_{A2}, p_{A3} \dots, p_{B1}, p_{B2}, p_{B3} \dots$  i  $p_{C1}, p_{C2}, p_{C3} \dots$ . Analogno tome u stupcu 3 postoje konstante  $x_{s1}, x_{s2}, x_{s3} \dots, y_{s1}, y_{s2}, y_{s3} \dots$ , te se maksimalno opterećenje u stupcu 4 i ukupna potrošnja u stupcu 6 računaju kao sume pojedinačnih vrijednosti raznih vrsta potrošača. Navedena objašnjenja vrijede i za tablicu 2.

Osnovne su zamjerke ovakvom načinu definiranja potrošnje istosmjernog razvoda sljedeće:

- U stupcu 3 (broj potrošača) uzeti su faktori istovremenosti potrošača za snagu i ti isti faktori služili su i za određivanje energije, što nije u redu. Istovremenost potrošača za snagu bitno se razlikuje od broja očekivanih prorada povremenih potrošača za vrijeme pražnjenja potrebnog za proračun energije.
- Za pojedine stalne potrošače (npr. komandno potvrdne sklopke-KPS) može se uzeti, za snagu, da rade svi istovremeno, ali se za proračun energije ne treba uzeti da oni svi rade, sve vrijeme petosatnog pražnjenja aku-baterije. U starijim su postrojenjima KPS sa svojim predotporima dominantni potrošači (20-25W/KPS) te se smanjivanjem predviđanja njihova rada od 5 sati na 1 sat rada, za vrijeme petosatnog pražnjenja, znatno smanjuje potrebni kapacitet aku-katerije [4].
- Nužna se rasvjeta u većini današnjih projekata uzima bez korekcijskih faktora za potrošnju za vrijeme pražnjenja aku-baterije od 5 sati, a trebalo bi pretpostaviti da sva nužna rasvjeta ne radi svih 5 sati.
- U polju 3 – 5 (redak 3 – stupac 5) uzeto je za povremene potrošače trajanje opterećenja 0,25 sata. To vrijeme množilo se sa snagom koja je dobivena na temelju faktora istovremenosti povremenih potrošača. Na taj način dobile su se znatno veće snage potrošnje od stvarno potrebnih u pogonu.

Broj potrošača koji se može očekivati za vrijeme pražnjenja aku-baterije (5 sati) **mora se odrediti na**

**temelju statističkih podataka prorada povremenih potrošača u pogonu.** Vremena rada povremenih potrošača jesu reda veličine 50 ms – 250 ms za elektromagnetske okidače, odnosno nekoliko sekundi za razne motorne pogone sklopnih aparata (tablica 2). Ako se navedeno uzme u obzir, tada su povremeni potrošači u udjelu energije gotovo zanemarivi (jer djeluju vrlo kratko vrijeme), te je u stupcu 6. vrijednost  $E_B = t_B \cdot P_B$  približno jednaka nuli ( $E_B = 0$ ). Prema tome, utjecaj povremenih potrošača prisutan je samo pri proračunu maksimalne struje i snage istosmjernog razvoda, a ne kod proračuna energije. Imajući na umu navedeno od a) do d), dan je u tablici 2. jedan prijedlog kako bi se trebali odrađivati potrošači istosmjernog razvoda za potrebe dimenzioniranja izvora. U odnosu na tablicu 1. Provedene su sljedeće korekcije:

- Uveden je stupac 5 »Broj očekivanih prorada ili trajanja rada potrošača«.
- Vrijednost  $x_s$  i  $z_s$  možemo koristiti i za određivanje energije.
- Faktor  $y_E$  je potpuno različit od  $y_s$ . Dok  $y_s$  smisleno znači broj istovremenih potrošača,  $y_E$  predstavlja očekivanje broja prorada povremenih potrošača u zadanom vremenu pražnjenja aku-baterije.
- U stupcu 6. uzeta su vremena rada povremenih potrošača stotinjak milisekundi, odnosno nekoliko sekundi, kao što je navedeno pod d.) u opisu tablice 1.
- Vrijeme  $t_C$  za nužnu rasvjetu uzeto je za pojedine potrošače s korekcijskim faktorom  $k_E$ . Faktor  $k_E$  potrebno je definirati posebno za svako postrojenje, i to ovisno o konfiguraciji nužne rasvjete i funkcionalnosti pojedinih potrošača nužne rasvjete. Za postrojenje Elektroprenosa Opatija taj se faktor kretao između 0,7 i 0,8 [4].

Prihvatanjem navedenog načina definiranja potrošača istosmjernog razvoda postižu se znatne uštede u dimenzioniranju izvora istosmjernog razvoda, kao što je prikazano u poglavlju 3.

### 3. OSVRT NA DIMENZIONIRANJE IZVORA ISTOSMJERNOG RAZVODA

Ispravljač i aku-baterija rade paralelno, pri čemu ispravljač stalno nadopunjuje aku-bateriju i napaja potrošače. U normalnom pogonu aku-baterija služi za gladeње napona i za preuzimanje vršnih trenutnih opterećenja.

#### 3.1. Dimenzioniranje AKU-baterije

Poznato je da se aku-baterija dimenzionira prema **kriteriju opterećenja** i prema **kriteriju napona**. Ovdje se neće prikazivati sam postupak proračuna koji je dobro poznat [1] [5] [4], već će se samo naglasiti sljedeće:

- U EEP-a se predviđa da aku-baterija mora samostalno napajati potrošače 5 sati u slučaju ispada ispravljača.
- Za prije navedene postupke proračuna potrebno je izračunati kapacitet 5-satnog pražnjenja  $Q_{p5}$  i struju 5-satnog pražnjenja  $I_{p5}$  prema izrazima

$$Q_{p5} = \frac{E_{p5}}{U} \quad (1)$$

$$I_{p5} = \frac{Q_{p5}}{t_p} \quad (2)$$

- $E_{p5}$  — petosatna potrošnja u (Wh)
- $U$  — napon istosmjernog razvoda u (V)
- $t$  — vrijeme pražnjenja aku-baterije u (h).

Prema kriteriju opterećenja računa se 10-satni kapacitet prema izrazu

$$Q_{plo} = \frac{Q_{p5}}{k} \quad (3)$$

- $k$  — faktor kapaciteta u ovisnosti o vremenu pražnjenja koji se očitava prema tvorničkim dijagramima.

Prema kriteriju napona računa se 10-satni kapacitet prema izrazu

$$Q_{10} = \frac{I_{p5}}{f} \cdot 10, \quad (4)$$

- $f$  — višekratnik desetosatne struje pražnjenja  $I_{10}$  u ovisnosti o vremenu pražnjenja uz kriterij minimalno dozvoljenog napona po članku (ćeliji).

Vidi se da je u osnovi metodologija dimenzioniranja aku-baterije bazirana na ukupnoj 5-satnoj potrošnji  $E_{p5}$  prema tablica 1 i 2. Za 15 postrojenja Elektroprenosa Opatija izvršena je kontrola proračuna kapaciteta aku-baterije prema staroj (tablica 1) i novoj metodologiji (tablica 2). Dobiveni su sljedeći rezultati:

- Za stara postrojenja (KPS-a sa žaruljicom i predotporom) ... potrebni kapacitet aku-baterije prema novoj je metodologiji oko **30–45 % manji** od kapaciteta prema staroj metodologiji.
- Za novija postrojenja koja nemaju KPS, a signalizacija i daljinsko upravljanje su na 48V (npr. tip-ske TS 110/x kV), dobije se potrebni kapacitet aku-baterije prema novoj metodologiji za oko **20–30 % manji** nego prema staroj metodologiji.

Na temelju iznesenog proizlazi da se novom metodologijom definiranja potrošača istosmjernog razvoda (tbl. 2) mogu postići uštede od 20 % do 45 % u potrebnom kapacitetu aku-baterije. Zato se predlaže da se obrada potrošača istosmjernog razvoda vrši prema metodologiji iz tablice 2.

#### 3.2. Dimenzioniranje ispravljača

Ispravljač istosmjernog razvoda prijenosnih postrojenja dimenzionirao se dosada uglavnom prema maksimalnoj struji potrošača  $I_{mp}$  i 5-satnoj ( $I_{pr5}$ ) ili 10-satnoj ( $I_{pr10}$ ) struji punjenja aku-baterije, tj. prema izrazu (5):

$$I_i = I_{mp} + I_{pr5}, \quad (5)$$

Razmotrit će se najprije prvi član izraza, tj. struja  $I_{mp}$ .

Struja  $I_{mp}$  računala se prema maksimalnom opterećenju  $P_m$  (vidjeti tablice 1. i 2.):

$$I_{mp} = \frac{P_m}{U}, \quad (6)$$

Za maksimalno opterećenje vrijedi:

$$P_m = P_A + P_B + P_C, \quad (7)$$

gdje je  $P_A$  snaga stalnih potrošača,  $P_B$  snaga povremenih potrošača korigirana uz faktor istodobnosti i  $P_C$  snaga nužne rasvjete.

Ispitivanja istosmjernog razvoda [3] koja su provedena za tipsku trafostanicu TS Delnice pokazala su da trenutna vršna opterećenja, u trajanju reda veličine nekoliko msek, preuzima aku-baterija a automatika ispravljača u tako kratkom vremenu ne uspije reagirati.

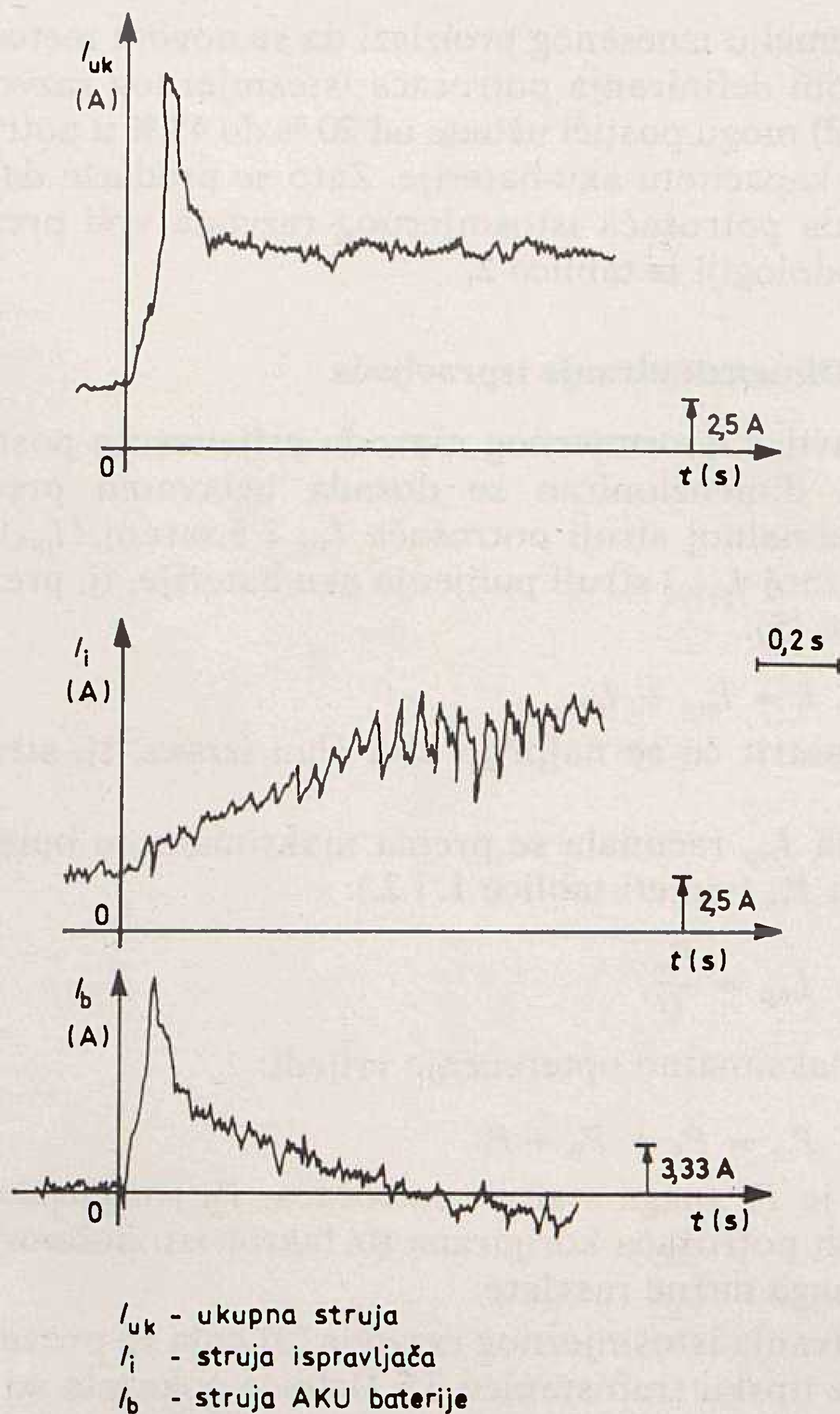
Na sl. 1 prikazan je jedan oscilogram ukupne struje istosmjernog razvoda 220 V, struje ispravljača i struje aku-baterije za slučaj uklopa jednog prekidača 110 kV u TS Delnice. S oscilograma se lijepo može vidjeti da sve opterećenje pomoćnog napajanja prekidača u prvih nekoliko stotina msek preuzimaju aku-baterije, a tek nakon toga ispravljač preuzima teret. To znači da opterećenje svitaka za uklapanje i isklapanje prekidača i sličnih potrošača preuzima aku-baterija i ispravljač nije potrebno dimenzionirati i za ta opterećenja, tj. vrijednost  $P_B$  u izrazu (7) znatno se smanjuje. Nužna rasvjeta treba reagirati u slučaju ispada izmjeničnog napona, tj. kada ne radi ispravljač. Zato se snaga nužne rasvjete  $P_C$  ne treba uzimati u obzir pri proračunima opterećenja ispravljača.

Prema tome, sada bi izraz za snagu  $P_m$ , prema kojoj se računa prvi član izraza (5), izgledao ovako

$$P_m = P_A + P'_B \quad (8)$$

gdje je  $P'_B$  reducirana snaga trenutnih potrošača (ne uzimaju se u obzir trenutni potrošači čiji rad je kraći od nekoliko stotina msek). Uzimajući u obzir realne podatke, može se pisati  $P'_B \ll P_B$  je reda veličine 1–2 kW a  $P'_B$  je reda veličine 2–10 %.

Prema izrazu (8) izvršena je kontrola svih ispravljača u postrojenjima Elektroprenosa Opatija [4] i ustanovljeno je da su snage prema izrazu (8) oko **25–50 % manje** od onih prema izrazu (7), a to znači da su i

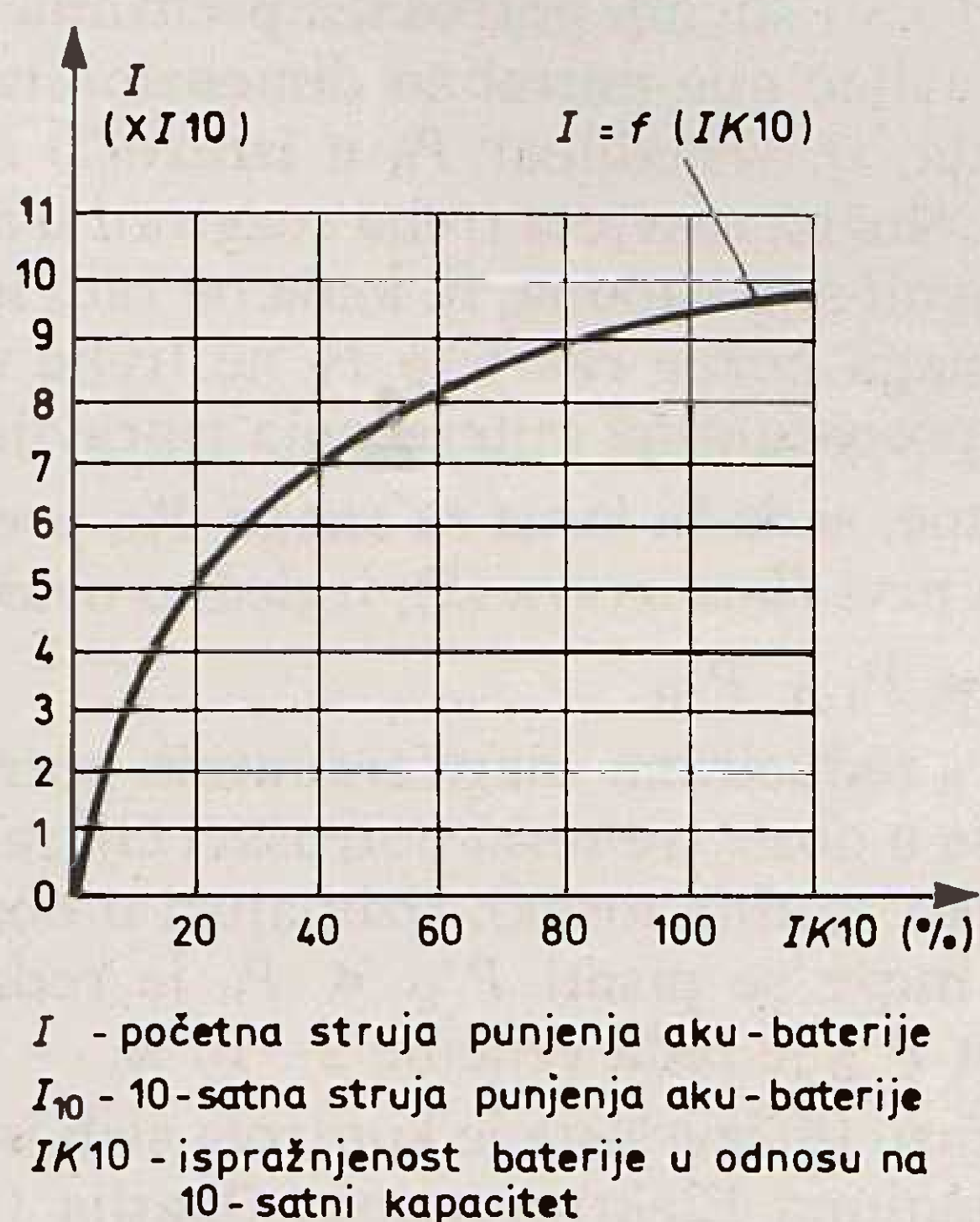


Slika 1. Oscilogram strujnog opterećenja istosmjernog razvoda za slučaj uklopa prekidača 110 kV

nazivne vrijednosti ispravljača u pogonu smanjene za otprilike 25 – 50 %.

Razmotrit će se još i drugi član struje u izrazu (5), a to je petsatna struja punjenja aku-baterije  $I_{pr5}$ .

Na sl. 2 [6] prikazana je ovisnost početne struje punjenja aku-baterije o razini ispražnjenosti aku-bate-



$I$  - početna struja punjenja aku-baterije  
 $I_{10}$  - 10-satna struja punjenja aku-baterije  
 $IK10$  - ispražnjenost baterije u odnosu na 10-satni kapacitet

Slika 2. Ovisnost početne struje punjenja aku-baterije o nivou ispražnjenosti baterije

rije. Iz slike 2 vidi se da su početne struje punjenja (djelomično prazna aku-baterija) koje povuče aku-baterija i znatno veće od  $I_{pr5}$ . Naime,  $I_{pr5}$  (5-satna struja punjenja) iznosi oko 1,5 do 1,8  $I_{10}$ , a vrijednost prema sl. 2. daju početne struje punjenja i do 9,5  $I_{10}$ .

Kada postoji u ispravljaču limitiranje struje aku-baterije i kada je ono dobro podešeno (u praksi to najčešće nije), tada drugi član u izrazu (5) ne treba koristiti. Ispravljači koji se koriste u prijenosnim postrojenjima rade najčešće s karakteristikom konstantnog napona (ne konstantne struje) te upravo zbog toga u projektiranju pogona treba posebno zahtijevati od proizvođača precizno podešavanje limitiranja struje u krugu aku-baterije. U protivnom se ispravljač mora dimenzionirati na struje veće od  $I_{pr5}$ .

#### 4. ZAKLJUČAK

Prikazana analiza dimenzioniranja izvora istosmjernog razvoda elektroenergetskih postrojenja pokazuje da se u praksi projektiranja i izvođenja istosmjernih razvoda mogu postići određena bolja rješenja. Preciznijim definiranjem potrošača istosmjernog razvoda mogu se postići uštede u potrebnim kapacitetima aku-baterija od 20 – 4 %. Pritome je potrebno uvesti i koristiti statističke podatke, a prasadama svih povremenih potrošača istosmjernog razvoda.

Provedena ispitivanja istosmjernog razvoda u pogonu i analiza paralelnog rada ispravljača i aku-baterije pokazuje da nije potrebno ispravljače dimenzionirati na kratkotrajne povremene potrošače i nužnu rasvjetu. Koristeći ta saznanja u proračunima, smanjuju se potrebne nazivne vrijednosti ispravljača u pogonu za oko 25 – 50 %.

Na kraju se još može napomenuti da se u provedenim analizama osjećao nedostatak podataka o dinamičkim karakteristikama ispravljača za slučajeve trenutnih skokova opterećenja. Potrebno bi bilo da proizvođači ispravljača reprezentiraju dinamičke karakteristike tih uređaja u svojim stručnim prospektima, jer se bez tih karakteristika ne može prići daljnjoj optimizaciji dimenzioniranja istosmjernih razvoda.

#### LITERATURA

- [1] Projektni biro Elektroprivrede Dalmacije – Split: Projekat tipske TS 110/35 kV Delnice
- [2] M OCEPEK: »Tehnički priručnik za olovne baterije Mežica«, 1985. g.
- [3] M. CETTOLO – J. ŠIMUNIĆ: »Ispitivanje istosmjernog razvoda 220V TS 110/35 kV Delnice«, ETF Zagreb 1987. g.
- [4] J. ŠIMUNIĆ – S. JURETIĆ: »Analiza istosmjernog razvoda napona 110V i 220V za postrojenja Elektroprenosa Opatija«, Interni elaborat RO Elektroprivrede Rijeka – 1986. g.
- [5] H. POŽAR: »Visokonaponska rasklopna postrojenja«, Tehnička knjiga Zagreb, 1967. g.
- [6] Originalni dijagrami iz »TOZD tovarna aku baterija TAB« – Mežica Jugoslavija – 1987. g.

**A DIMENSIONAL ANALYSIS OF 220V (110V) DC POWER SUPPLY FOR ELECTRIC POWER SYSTEMS**

In the article are presented some suggestions for a new approach in defining 220V (110V) DC loads in dimensioning of power supply system. In the first part is described a new method for defining loads and total DC consumption. For dimensioning of rectifiers in full float parallel operation with accumulators it is suggested an approach that is based on constant load and full charging current for accumulators. Presented suggestions result in savings for DC POWER supply dimensioning.

**ANALYSE DES DIMENSIONIERENS DER QUELLEN DES GLEICHGERICHTETEN VERTEILERS 220 V (110V) IN ELEKTROENERGETISCHEN ANLAGEN**

In der Arbeit werden Vorschläge für bestimmte Änderungen bezüglich des Definierens der Verbraucher des Gleichstromverteilers 220 V (110V), sowie des Dimensionierens dieses Verteilers gemacht. Im ersten Teil der Arbeit beschreibt man bestimmte Veränderungen in der Methodologie des Definierens der Verbraucher und des gesamten Verbrauchs des gleichströmigen Verteilers. Für das gleichzeitige Arbeiten des Adapters und der Akku Batterie im Regime full — float wurde vorgeschlagen, daß dieses Dimensionieren des Adapters nur aufgrund der Dauerverbraucher und des Füllstromes der leeren Akku Batterie ausgeführt wird. Durch die vorgeschlagenen Veränderungen spart man beim Dimensionieren der Quellen des gleichströmigen Verteilers.

**АНАЛИЗ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ ОДНОИМЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ 220 В (110 В) В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ**

В настоящей работе приводятся предложения некоторых изменений при подходе к определению потребителей одноименного распределения 220 В (110 В) и определения размеров источников такого распределения. В первой части работы вводятся определенные изменения методологии определения потребителей и полного потребления одноименного распределения. Для параллельной работы выпрямителя и аккумуляторной батареи в режиме full-float предлагается проводить определение размеров выпрямителей только основываясь на данных о длительных потребителях и токах зарядки разряженных аккумуляторных батарей. Предложенными изменениями достигается экономия при определении размеров одноименных распределений.

Naslov pisca:

**Mr. Juraj Šimunić, dipl. inž.  
Tehnički fakultet, Rijeka  
51000 Rijeka,  
Narodnog ustanka 58,  
Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1989-01-10



## FABRIKA ZA PRIPREMU I PRERADU POLIESTER MASA

Ulica JNA 196, 38240 Podujevo

Telefon: 038/89 140; 89 138; 89 142; 89 143; 89 141

Telex: 18196 yu polpod

U 1987. godini **FAPOL** je usvojio proizvodnju poliesterskih stupova za elektroenergetske i telekomunikacijske vodove, kabelsku televiziju i javnu rasvjetu prema tehnologiji svjetske priznate tvrtke RESTEL iz Italije, koja je među vodećim, ako ne i najvećim proizvođačima poliesterskih stupova na svijetu.

### TRANSPORT

Transportni troškovi su pri montaži vrlo niski jer je **ARMIPOL**<sup>®</sup> stupove moguće, zbog njihova specifičnog oblika, slagati jedan u drugi, što čini uštedu od 2/3 transportnog prostora.

### POSTAVLJANJE

Za postavljanje nisu potrebni posebni alati, **ARMIPOL**<sup>®</sup> stupovi se ne uzemljuju, a to znači da nisu potrebni pripadajući priključci i mjerenje specifične otpornosti tla.

### ODRŽAVANJE

**ARMIPOL**<sup>®</sup> stupovi ne zahtijevaju održavanje jer su otporni na atmosferske i kemijske utjecaje u industrijskim zonama, na posolicu uz morsku obalu i mikroorganizme koji se nalaze u gornjim slojevima zemlje.

### ZAMJENLJIVOST

Pri demontaži elektroenergetskih i telekomunikacijskih vodova i javne rasvjete mogu se stupovi skinuti i ponovno ugraditi za iste namjene na drugom mjestu.

### UGRADNJA OPREME

Ugradnja opreme vrlo je jednostavna i ne zahtijeva posebne alate. Ako je potrebno bušenje, za nj se može koristiti uobičajeni alat.

### ELEMENTI KVALITETE

**ARMIPOL**<sup>®</sup> stup je vrhunski proizvod. Njegove kvalitativne prednosti posebno su naglašene s obzirom na trajnost, otpornost, jednostavne i jeftine ugradnje, jednostavnost transporta, niske težine i minimalne zahtjeve zaštite. Posebno je važan doprinos **ARMIPOL**<sup>®</sup> stupova u zaštiti čovjekove okoline, jer svaki od njih očuva život jednog drveta, a sam ne utječe na zagađenje prostora. **ARMIPOL**<sup>®</sup> stup je dar prirodi i zbog svojih elektroizolacijskih svojstava koja pružaju sigurnost čovjeku i ostalim živim bićima.

**ARMIPOL**<sup>®</sup> stupovi imaju značajnu primjenu pogotovo u različitim klimatskim uvjetima gdje ostali materijali teže podnose vanjske utjecaje. To potvrđuju i elektroenergetski vodovi, koji su postavljeni već niz godina na obroncima Velebita gdje vjetar puše i brzinom većom od 180 km/sat. Otpor-



nost **ARMIPOL**<sup>®</sup> stupova na utjecaj aerozagađivanja posebno je naglašena na područjima uz morsku obalu, gdje, zbog posolice, dolazi od proboja izolacije, a zatim i do izgradnje drvenih stupova.

Iskustva koja postoje s njihovom ugradnjom na otocima Krku, Cresu i Lošinj izrazito potvrđuju takve prednosti.

Visoka dielektrična probojna čvrstoća poliestera smanjuje mogućnost oštećenja stupova od direktnih atmosferskih pražnjenja, kao i vjerojatnost pojave povratnih preskoka.

Važno je naglasiti primjenu **ARMIPOL**<sup>®</sup> stupova na područjima gdje postoji opasnost od požara, jer je otporan na leteći oganj. Zbog slabe gorivosti koriste se u uvjetima gdje su prisutni eksplozivni i zapaljivi materijali.

**ARMIPOL**<sup>®</sup> stupovi imaju u usporedbi s ostalim stupovima prednosti i pri udarcima vozila. Oni bitno smanjuju mogućnost ozljede vozača, što je doprinos sigurnosti prometa.

**ARMIPOL**<sup>®</sup> stupovi konstruktivno podnose opterećenja identična onima kod drvenih stupova, što omogućava njihovu interpolaciju u mrežu s različitim stupovima, s obzirom na materijal i oblik.

**ARMIPOL**<sup>®</sup> stupovi, budući da su pogodni za dugoročnija uskladištenja, mogu biti na zalihama za potrebe većih havarija ili kao materijalna rezerva.



# EMTP — PROGRAM ZA SIMULIRANJE ELEKTROMAGNETSKIH PRIJELAZNIH POJAVA U ELEKTROENERGETSKIM SISTEMIMA\*

Dr. R. Mahmutćehajić, Osijek i dr. W. Scott Meyer, SAD

UDK 621.31 : 621.3.09

STRUČNI RAD

U članku je u obliku intervjua dana kratka povijest razvoja EMTP i pogled u budući razvoj s osvrtom na nužno obrazovanje korisnika.

**Ključne riječi:** EMTP (Electromagnetic Transient Program), prijelazne pojave.

Djelovanje elektroenergetskog sistema uključuje raznovrsne prijelazne pojave. Ovdje je riječ samo o onim od njih koje su izvorno elektromagnetske. Simuliranje prijelaznih elektromagnetskih pojava predstavlja najvažniju i najzamršeniju zadaću u cjelini analiziranja elektroenergetskog sistema. Možda je najprirodnija metoda simuliranja prijelaznih pojava izravno predstavljanje komponenata elektroenergetskog sistema korištenjem analognih ekvivalenata načinjenih od koncentriranih elemenata. Takav pristup djelotvorno se primjenjuje u tranzitnim mrežnim analizatorima koji su dali golem poticaj suvremenom razvoju teorije i prakse analiziranja prijelaznih elektromagnetskih pojava.

Prijelazno vladanje električnog sistema, kao što je to dobro poznato, može se predstaviti odgovarajućim matematičkim modelom. S obzirom na način gradnje matematičkog modela i njegova rješavanja korištenjem digitalnog računala, razlikujemo uglavnom tri metode simuliranja: a) metodu vremenske domene, b) metodu frekvencijske domene i c) metodu s korištenjem z-transformacije. Sve tri metode primjenjuju se u brojnim programskim ostvarenjima, čiji je razvoj i primjena danas već nerazdvojan dio suvremenog i djelotvornog proučavanja i proračunavanja prijelaznih pojava.

Rješenje sistema integralno-diferencijalnih jednažbi u matematičkom pogledu može biti veoma zamršeno a u numeričkom pogledu naporno. Taj je pristup postao praktički primjenljiv spoznajom da se ponašanje pojedinačnih komponenata električne mreže može predstaviti rješenjem u diskretnim vremenskim razmacima na digitalnom računalu. U os-

novi to je formulacija na kojoj je izgrađen EMTP (*Electromagnetic Transient Program*); tu se vremenski signali dobivaju točku po točku za diskretne vremenske korake  $0, \Delta t, 2\Delta t, \dots$  s rješenjem za svaki vremenski korak, što zapravo predstavlja jednostavno rješavanje mreže koja se sastoji od otpora i istosmjernih izvora.

Drugu mogućnost predstavlja primjena matematičkog modeliranja ne samo za komponente elektroenergetskog sistema već se i sama prijelazna pojava sintetizira matematički superponiranjem prostih odziva sistema u frekvencijskoj domeni. U tome se slučaju komponente sistema predstavljaju jednažbama definiranim u frekvencijskoj domeni. Fazorski odzivi sistema za svaku frekvenciju zatim se superponiraju kako bi se proizveo odziv sistema na proizvoljnu pobudu.

Razvoj i primjena analize elektromagnetskih prijelaznih pojava korištenjem z-transformacije, po svemu sudeći, najavljuju sasvim novo razdoblje u proučavanju i proračunavanju prijelaznih elektromagnetskih pojava. U načelu, z-transformacija se koristi u posredničkom transformacijskom koraku između frekvencijske i vremenske domene. Slijedeći izvorno izvođenje za jednostruki prijenosni vod, napravljeno je nekoliko razvoja u analizi mreža s više čvorova: modeliranje elektromagnetske prijelazne pojave osnovano na digitalnim filtrima, formuliranje sistema unakrsno povezanih kabela i izvođenje mrežnih ekvivalenata prijelaznih pojava.

Među brojnim programima za digitalno računalo koji služe za proračunavanje prijelaznih elektromagnetskih pojava najpoznatiji je i najšire primjenjivan, svakako, EMTP-program. Njegova primjena u nas nije ni približno razmjerna mogućnostima i potrebama, pa je zapravo i svrha ovog teksta pridonijeti promicanju njegove primjene u našoj elektrotehničkoj praksi.

*Electromagnetic Transient Program*, poznat pod akronimskom kraticom EMTP, jest program za digitalno računalo koji se koristi za proračunavanje elek-

\* U ENERGIJI 2 izašao je članak autora dr. R. Mahmutćehajića o korištenju EMTP (Electromagnetic Transient Program) za rješavanje prijelaznih pojava u kablskim mrežama. Tom prilikom je konstatirano da se EMTP, iako poznat u jugoslavenskoj praksi, ipak relativno malo koristi, i to u vrlo malom krugu stručnjaka. Da bi se situacija popravila, Energija je odlučila objaviti više informacija o toj problematici, uključujući i ovaj intervju autora s vodećim svjetskim stručnjakom na polju EMTP dr. Scott Meyerom. U intervjuu je dana vrlo pregledno povijest razvoja EMTP i pogled u budućnost s osvrtom na nužno obrazovanje korisnika.

tromagnetskih i elektromehaničkih prijelaznih pojava, kao i prijelaznih pojava kontrolnog sistema u elektroenergetskim sistemima. To jest, on se koristi da bi se riješile algebarske, obične i/ili parcijalne diferencijalne jednačbe koje odgovaraju međuspojevima sljedećih komponenata: koncentriranih otpora, koncentriranih induktiviteta, koncentriranih kapaciteta, višefaznih Pi-ekvivalenata, višefaznih prijenosnih vodova s raspodijeljenim parametrima, nelinearnih otpornika, sklopnih aparata, naponskih i strujnih izvora, dinamičkih obrtnih električnih strojeva, kontrolnih sistema itd.

Trapezoidalno pravilo integracije primjenjuje se na jednačbe koje opisuju elemente sistema koji se opisuju običnim diferencijalnim jednačbama. Rezultat je dobivanje skupa realnih i jednovremenih algebarskih jednačbi koje se moraju riješiti u svakom vremenskom koraku. Te se jednačbe postavljaju u obliku čvorne admitancije, s novim nepoznatim naponima kao varijablama te se rješavaju rednom trokutnom faktorizacijom.

Izlaz programa sastoji se od komponentnih varijabli (recimo, struje u granama ili naponi čvorova, obrtni momenti ili brzine strojeva itd.) kao funkcija vremena.

Početni uvjeti za diferencijalne jednačbe različitih elemenata mogu se odrediti automatski programom za većinu praktičnih slučajeva analize. Najvažnije ograničenje odnosi se na linearne elemente; naime, nelinearne komponente moraju se općenito zanemariti tijekom fazorskih rješavanja ustaljenog stanja.

Studije koje uključuju korištenje EMTP-a imaju ciljeve koji se mogu razvrstati u dvije općenite skupine. Jedna je projektiranje i konstruiranje, što uključuje i koordinaciju izolacije, određivanje nazivnih vrijednosti opreme, ustvrđivanje potrebnih svojstava zaštitnih uređaja, projektiranje sistema upravljanja itd. Drugu skupinu sačinjavaju rješavanja zadaća koje se susreću u sistemu tijekom njegova djelovanja.

Navest ćemo djelomičan popis tipičnih EMTP-studija:

- sklopni prenaponi (deterministički, probabilistički, jednopolno sklapanje, brzi ponovni uklop, uklapanje kondenzatorske baterije, uklapanje reaktora, prijelazni povratni napon, prijelazne pojave zbog uklapanja kabela itd.);
- prenaponi atmosferskog podrijetla (povratni preskok, inducirani prijelazni valovi, upadni prijelazni valovi u postrojenju itd.);
- koordinacija izolacije (nadzemni vodovi, vanjska postrojenja, plinom izolirana postrojenja, djelovanje dovodnika, itd.);
- torzioni udari na osovini;
- statička VAR-kompenzacija (kontrola, prenaponi, harmonici, itd.);
- alternativni izvori energije;
- korištenje energetske vodova za prijenos obavijesti;
- visokonaponski prijenos istosmjernom strujom itd.

Prethodni popis predstavlja samo dio mogućnosti programa EMTP, čija je osnovna prednost prilagodljivost na osnovi koje je moguće provoditi brojne studije o pojavama u sistemu.

Većina ulaznih podataka za EMTP razlikuje se od ulaznih podataka za druge programe (recimo za proračun tokova snage, kratkih spojeva i stabilnosti) jer je ovaj program višefazan da može simulirati nelinearne elemente i budući da se općenito koristi znatno složenijim modelima. Te su osobine nužne kako bi se točno simulirale visokofrekventne prijelazne pojave koje se javljaju tijekom kratkih vremenskih raspona. Postoje pomoćni programi koji omogućuju uspostavljanje odgovarajućih ulaznih podataka za nadzemne vodove, kabele, transformatore, odvodnike prenapona itd.

Iako je EMTP izvorno razvijen u Sjedinjenim Američkim Državama, on je gotovo od samog početka okupljao stručnjake diljem svijeta, bilo kao njegove razvijatelje, bilo kao korisnike. On je danas, bez ikakve sumnje, dio opće napredne elektrotehničke prakse u najvećem broju elektrotehnički razvijenih središta u svijetu. Postoje i drugi programi s istom namjenom, ali nigdje u svijetu nije moguće susresti korisnike drugih približno moćnih programa koji ne koriste i EMTP i koji ne priznaju njegovu presudnu ulogu u projektiranju i održavanju elektroenergetskih sistema. I odje, nažalost, jugoslavenska praksa znatno kasni iza Evrope i svijeta. Ne postoje organizirana nastojanja u povezivanju postojećih korisnika, razmjenjivanju iskustava i promicanju općeg primjenjivanja ovog sredstva od suštinske važnosti za razvoj zemlje. Tijekom 1988. godine pisac ovog uvoda proveo je, kao gost profesor na Fakultetu primijenjenih znanosti i tehnologije Katoličkog sveučilišta u Leuvenu u Belgiji, te se mogao uvjeriti koliko je netom spomenuto stanje primjene EMTP u Jugoslaviji neodgovarajuće. Suradujući tijekom listopada na spomenutom sveučilištu sa dr. W. Scottom Meyerom, dr. A. Ametanjem i D. van Dommelenom, znanstvenicima čiji rad čini sam vrh piramide znanstvenog rada u ovome području, pisac je često bio u prilici razgovarati, osim uskih znanstvenih pitanja, i o općim kretanjima, nastojanjima i smjerovima razvoja teorije i prakse proučavanja i proračunavanja prijelaznih elektromagnetskih pojava, te ponovo ustvrđivati koliko je naša tehnička javnost, u nemalom broju slučajeva, udaljena od zbivanja u svijetu. Nastojeći dati doprinos prevladavanju spomenute neobaviještenosti, pisac je predložio uredništvu *Energije* tiskanje niza tekstova različite naravi o prijelaznim elektromagnetskim pojavama u elektroenergetskom sistemu. Prihvaćanje tog prijedloga započinje se ostvarivati nizom članaka u vezi s ovim područjem. Međutim, ako prijedlog ne potakne šire povezivanje većine stručnih i znanstvenih radnika u ovome području u cijeloj zemlji, on neće ispuniti svoju nakanu.

Niz tekstova opće naravi započinjemo razgovorom koji je pisac u listopadu 1988. godine u Leuvenu vodio s dr. W. Scottom Meyerom. Stručnjacima i znanstvenicima koji su se bar usputno bavili prijelaznim pojavama ime dr. Meyera dobro je poznato. Razvoj

EMTP gotovo od njegova početka vezan je za njegov istraživački rad. Upotpunjujući naš uvod u razgovor koji slijedi, nalazimo da je ipak korisno dati osnovne biografske podatke o dr. Meyeru.

Dr. W. Scott Meyer rođen je 1942. godine u Medisonu (Minnesota) u Sjedinjenim Američkim Državama. Diplomirao je 1964, magistrirao 1966. a doktorirao 1969. godine na Sveučilištu Minnesote u Minneapolisu. Poslije toga gotovo je tri godine radio u *System Control Inc.* u Palo Alto u Californiji, nakon čega se zapošljava u *Bonneville Power Administration* u Portlandu u Oregonu. Tada započinje njegov rad na EMTP, koji bez prekida traje do danas. Od 1973. godine središnje i osnovno pitanje kojim se bavi Dr. Meyer jest rješavanje prijelaznih elektromagnetskih pojava pomoću računala. Napisao je brojne znanstvene radove, sudjelovao u radu brojnih znanstvenih konferencija, ali, što posebno valja istaći, dr. Meyer je u cijelom navedenom razdoblju pažljivo pratio razvoj znanosti o računalima, i napredovanje matematičkog modeliranja, te osobno rezultate tih razvoja ugrađivao u EMTP, priskrbljujući tako iz godine u godinu nove i unaprijeđene inačice programa. To je, prije nekoliko godina, dovelo do uspostavljanja mnogome nove EMTP »građevine« poznate pod imenom *Alternative Transient Program* (ATP).

#### Razgovor R. Mahmutćehajića s W. Scott Meyerom

**R. Mahmutćehajić:** Gotovo od samog početka razvoj EMTP neodvojivo je bio povezan s vašim radom. Možete li molim vas, dati sažet prikaz razvoja EMTP gledan s današnje točke promatranja?

**W. Scott Meyer:** Tijekom posljednje četiri godine i nešto više, prevladavajuća nastojanja u razvoju EMTP bili su pokušaji komercijalizacije. Izvjesni pojedinci i/ili organizacije u Sjedinjenim Američkim Državama i Kanadi nadali su se da će odvojiti EMTP iz javne domene tijekom 1984. godine te prodavati EMTP isključivo kao komercijalni proizvod po cijeni koja bi se mogla postići na svjetskom tržištu. Ali, historija nije dopustila promicanje tih pohlepnih birokratskih nastojanja. Prvo, BPA (*Bonneville Power Administration*) biva onemogućena u toj shemi federalnim zakonom Sjedinjenih Američkih Država, točno *Aktom o slobodi informacija*, čija je kratica FOIA, tijekom travnja 1985. godine. Drugo, nekoliko mjeseci poslije formiran je Leuvenški EMTP Centar (LEC), pa je otada služio kao djelotvorna točka povezivanja onih koji su još željeli služiti elektroenergetskoj industriji radije nego je eksploatirati. Razvoj EMTP koji se osniva na dobrovoljnosti razvijatelja i korisnika danas je snažniji nego ikada prije rascjepa, počevši od 1984. godine. ATP (*Alternative Transient Program*) inačica EMTP, na koju licencna prava ima LEC, danas je prevladavajuća EMTP INAČICA U SVIJETU. Dok je nekoliko godina ranije središte razvoja EMTP bila BPA, danas je to LEC, koji je zauzeo to mjesto i preuzeo vodstvo. BPA i dalje znatno pridonosi razvoju, ali ona više ne kontrolira slobodni razvoj EMTP. Danas to čini LEC. To je važna suvremena perspektiva kako je osobno vidim.

Iako je točno da ostajem u BPA s punim radnim vremenom, kako ste naveli u vašem uvodu, valjalo bi naglasiti da su odgovori i napomene koje danas iznosim prije osobne nego organizacijske. Danas ne djelujem kao govornik za BPA. To je dobro za ovaj razgovor a i inače jer dopušta cjelovitu slobodu izražavanja bez ikakve potrebe za dopuštenjem rukovodstva. To je sasvim drukčije, usporediti se govorom ili pisanjem koji se prave u ime BPA, što zahtijeva prethodno pismeno dopuštenje ovlaštenog zastupnika glavnog inženjera u BPA.

**R. Mahmutćehajić:** Dr. Meyer, vaš sažet pregled naglašava samo nedavni nesporazum. Mislim, bilo bi zanimljivo za čitaoce koji nisu sasvim bliski s EMTP saznati malo više o razvoju EMTP od njegova samog početka.

**W. Scott Meyer:** U redu, spomenimo historijski najvažnije momente. Program se razvijao s digitalnim računalima na koje se oslanjao. Osnovno istraživanje korištenjem veoma jednostavnih modela započelo je s Hermanom Dommelom dok je on radio na Sveučilištu u Münchenu u SR Njemačkoj. To je bilo ranih šezdesetih. Kada se Dommel zaposlio u BPA tijekom jeseni 1966. godine, donio je sa sobom i svoj kod. Nekoliko idućih godina taj elementarni kod za prijelazne pojave spojen je s kodom BPA za ustaljeno stanje, BPA-potprogramom za prebrojavanje čvorova (da bi se sačuvala rijetkost mreže) i vektor-grafik-ploting-programom, koji je napisao John Walker iz BPA. Dr. Dommel je također dodao kod za jednofaznu kompenzaciju da bi se moglo baratati izdvojenim nelinearnim i vremenski promjenljivim elementima. To je stvorilo primjenljiv proizvodni alat koji je bio poznat kao *BPA Electromagnetic Transient Program* (ili samo *Transient Program*, ili *T. P.*, u formi kratice). Kada sam stigao u studenom 1972. godine da bih se pridružio dr. Dommel, taj se program sastojao do oko 6 000 linija FORTRAN-a koje su bile ograničene na CD 6 400 mainframe computer koji se onda koristio. Na moje potpuno iznenađenje dr. Dommel napušta BPA nekih osam mjeseci poslije da bi postao profesor elektrotehnike na Sveučilištu Britanske Kolumbie u Vancouveru u Kanadi. Ali, posao u BPA ide dalje. Tijekom jeseni 1974. godine otkriven je postupak strojnog prevođenja. To je bilo ključno jer je omogućilo suradnju osoba koje su koristile različita računala (na početku samo CDC, Univac, IBM, i Honeywell su bili uključeni u razmatranje). Kratica za program izmijenjena je u EMTP otprilike jednu godinu poslije, čim je krenuo novi opći razvoj. Od ljeta 1976. godine razvoj programa kreće veoma brzo kada je predstavljen svijetu na našem prvom otvorenom sastanku, koji je održan u okviru IEEE PES ljetnog skupa 1976. godine. Sudionici koji su istupili na tom skupu objašnjavali su o novom modelu trofaznog sinhronog stroja, modeliranju kontrolnog sistema (TACS), »CABLE CONSTANTS«, modeliranju frekventne ovisnosti prijenosnih vodova itd. Kako se to može vidjeti iz današnje perspektive promatranja, godine 1975. i 1976. bile su prelomne u razvoju EMTP.

**R. Mahmutćehajić:** Razvoj EMTP, očito, napredovao je u dva smjera. Prvo, teorijska analiza unapređuje modeliranje kako bi se obuhvatilo što je moguće šire područje zadaća. Drugo, poboljšavanje metoda programiranja omogućuje primjenu EMTP korištenjem različitih računala. Što mislite o budućem razvoju u oba navedena smjera?

**W. Cott Meyer:** Vaše pitanje, dr. Mahmutćehajiću, sadrži pronicljivo opažanje o našim ciljevima. Od sredine sedamdesetih razvijatelji EMTP rade da bi proizveli digitalni program koji bi mogao modelirati sve komponente što bi mogle biti zanimljive za korištenje i korištenjem svih raspoloživih računala. Svakako, to je samo za analizu elektromagnetskih prijelaznih pojava. Ograničenja takvih studija nisu uvijek jednostavno određiva, ali značenje je općenito razumljivo. Kao što to dobro znate, za neke modele potrebno je razviti bolje matematičke opise, kao što je, recimo, frekventna ovisnost transformacione matrice za koaksijalne kabele i višestruke nadzemne vodove. Ne bi trebalo biti kraja takvoj »teorijskoj analizi«, kako ste to sami imenovali, jer neće biti kraja numeričkim istraživanjima u boljim metodama rješavanja. Nema poznatih ograničenja ljudskoj dovjetljivosti i zamišljanju. Ipak, taj je posao spor i zamršen, iako su brojni jednostavni postupci razmotreni poprilično davno. Usvajanje i prilagođenje novih kompjutorskih *hardware* i *software* znatno je brže jer se mikroprocesorska revolucija nastavlja i nikakav kraj nije na pomolu. MS-DOS inačica EMTP samo je početak ekonomičnog korištenja tog programa. Lipanjsko izdanje (1988) »EMTP News« izvještava o DOS extenderu za INTEL 80286 mikroprocesor, a rujansko izdanje iz iste godine uvodi UNIX za 80386. Opravdana je nada da se funkcije radnih stanica, slične APOLO-u, uključujući windows i grafiku, mogu ponuditi za jeftinije i znatno proširenije upotrebe računala osnovnih na 80386. Savjetujem čitateljima koje bi ovo moglo zanimati da pogledaju buduća izdanja »EMTP News«; tako će naći izvješća o daljem razvoju.

**R. Mahmutćehajić:** S teorijskog stajališta neki od modela EMTP još su daleko od savršenih, iako se djelotvorno mogu koristiti u rješavanju brojnih praktičnih zadaća. Primjer je frekventna ovisnost parametara prijenosnih vodova. Istraživali ste to pitanje. Što mislite o njegovu konačnom rješenju? Kako gledate na uzajamnost između akademskog i praktičnog gledanja na tu vrstu zadaća EMTP?

**W. Scott Meyer:** Dr. Mahmutćehajiću, vaša je specijalnost područje pojava u vezi s putnim valom, pa se ne bih odvažio smatrati da vam imam što važno kazati. Ali mogao bih sažeto prikazati moje razumijevanje sadašnjih zadaća EMTP radi šireg kruga mogućih čitatelja našeg razgovora. Prvo, mi koji vodimo razvoj EMTP ne brinemo se ponajprije o proračunavanju osnovnih parametara voda ili kabela (R, L i C za bilo koju danu frekvenciju). Ne vjerujem da su postojeće poteškoće uzrokovane tim elementarnim proračunima; one su prije posljedica frekventno ovisnog predstavljanja prijenosnih krugova kako je to spo-

menuto u mome prethodnom odgovoru. U terminologiji EMTP mi sada ne radimo na popravljaju »LI-N-A CONSTANTS« ili »CABLE CONSTANTS« jer je glavna poteškoća, umjesto toga, s postupkom podešavanja ili aproksimacije racionalnim funkcijama (JMRTI SETUP ili SEMLYEN SETUP). Čitalac koji se zanima za više pojedinosti o ovome pitanju može obratiti pažnju na obavijesti što su ih dali u članku dr. Tsu-huei Liu i Mr. Li Jin-Gui iz ožujskog i rujanskog izdanja »EMTP NEWS« iz prošle godine. Akademski istraživači su svjesni i zaokupljeni tim pitanjem jer su stanovite vrste teorijskog prodora očito potrebne.

**R. Mahmutćehajić:** Što mislite o uzajamnosti između EMTP i ostalih poznatih programa za digitalno simuliranje elektromagnetskih prijelaznih pojava?

**W. Scott Meyer:** Teško je govoriti o prijelaznim pojavama općenito jer različite studije uključuju različite aproksimacije, kako to vi već dobro znate. Uobičajeno proračunavanje tranzitne stabilnosti predstavlja sinhronu strojeve i pripadajuće kontrolne krugove (recimo regulatore napona i upravljače brzine) onoliko koliko EMTP može, ali mreža se pretpostavlja u sinusoidalnom ustaljenom stanju, što je u cijelosti različito i neusporedivo s onim što EMTP može. Simuliranje dugotrajajućih dinamika uključuje čak veće aproksimacije. Uspoređivanje EMTP s drugim takvim programima složena je i teška zadaća. To je kao uspoređivanje jabuka i naranči.

**R. Mahmutćehajić:** Slažem se s vama. Ali prije svega mislio sam na usporedbu između EMTP i programa za prijelazne pojave koji se osnivaju na drukčijim pristupima. Recimo, što je s rješenjem u frekvencijskoj domeni? Ili s korištenjem z-transformacije? Profesor Akihiro Ametani zajedno sa svojim suradnikom Naotom Nagaokaom, sa sveučilišta Soshisha u Kyotu u Japanu razvio je program poznat pod akronimskom kraticom FDP, koji se osniva na metodi rješavanja u frekvencijskoj domeni, a profesor W. Derek Humpage proveo je opsežno istraživanje o mogućnosti korištenja z-transformacije u proračunavanju prijelaznih pojava u visokonaponskim energetskim mrežama.

**W. Scott Meyer:** U redu! Uzmimo samo »jabuke« iz raznovrsnosti prijelaznih pojava. Imate pravo, postoje drugi pristupi koji koriste sasvim različitu matematiku od one koja se koristi u EMTP. Pristup s rješenjem u frekvencijskoj domeni ostaje prikladan za izdvojene kabelaške sisteme. Zašto? Zato što još ne možemo imati strog model kabela, uključujući frekventnu ovisnost transformacione matrice. Općenito, rješenje u vremenskoj domeni ima prednost jer se nelinearnosti i prekidanja mogu jednostavno obuhvatiti i proučavati. Nije isti slučaj s pristupom u frekvencijskoj domeni. Glede korištenja drugih transformacija mimo Fourierove za frekvencijsku ovisnost prijenosnih krugova nemam izravnog znanja. Najviše što znam jest da prednost bilo koje transformacije tek valja pokazati. Bilo da bi se mogla dokazati ili poreći prednost neke druge transformacije, postoji

zaista malo poticaja da se odbaci sadašnje oslanjanje na Fourierovu transformaciju u EMTP .

**R. Mahmutćehajić:** Novo EMTP modeliranje kontrolnog sistema (TACS) opisano je tijekom posljednjeg evropskog EMTP skupa održanog u Trondheimu u Norveškoj u svibnju 1988. godine, kao sasvim nova stranica u razvoju EMTP. Neki vjeruju da bi ono moglo priskrbiti nov poticaj za dalji razvoj proračunavanja prijelaznih pojava. Kako vi osobno gledate na to?

**W. Scott Meyer:** Da, novi TACS bit će revolucionaran, te bi trebao imati golem utjecaj na modeliranje kontrolnih krugova. Novi TACS znatno je prilagodljiviji i moćniji. U cijelosti je financiran u BPA, ali postoje snažne veze s Evropom, kako je to objelodanio gospodin Dubé u lipanjskom izdanju »EMTP News«. Uglavnom istraživačka laboratorija, koja nije daleko od vas, CESI u Milanu u Italiji, sada je uključena izravno i financijski u razvijanje i iskušavanje novog TACS-a. Nepotrebno je naglašavati da zdušno podržavam takav utjecaj industrije koji je dogovoren u sklopu djelatnosti LEC-a. Leuvena EMTP veza je posebno važna budući da ona ne uključuje nikakvu komercijalnu razdiobu rezultata s jednom jedinom kompanijom ili kartelom. Također, ciljevi LEC-a u potpunom su skladu s važnim zakonom Sjedinjenih Američkih Država (FDIA). Izvješće iz CESI-a na evropskim EMTP skupovima trebali bi vas, kao i druge koji za to pitanje imaju zanimanje, pravodobno izvještavati o napredovanju posla.

**R. Mahmutćehajić:** Kako biste odredili glavne zadaće u budućem razvoju EMTP ?

**W. Scott Meyer:** Pitam se o smislu filozofiranja o budućnosti EMTP -posla. Ako me je moja šesnaestogodišnja zaokupljenost s razvojem EMTP poučila čemu, onda je tome da se nikada ne bi trebalo planirati unaprijed više nego je nužno. Također, trebalo bi zaobići predviđanja unaprijed, jer često se predviđanja prometnu u pogreške i promašaje! S vremenom se ideje mijenjaju, mijenjaju se pojedinci, mijenjaju se računala. Stvaralački i domišljati pojedinci radit će na svemu što nešto obećava u svakom vremenu. Kao što sam rekao već mnogo puta, spremni smo promijeniti konje usred onoliko trka koliko je potrebno. Strogo planiranje unaprijed nikada nije davalo dobre odgovore o razvoju EMTP; o tome svjedoči, između ostalog, i jasan plan DCG (Grupa za razvoj i suradnju na razvoju EMTP u Sjedinjenim Državama).

**R. Mahmutćehajić:** Današnji je EMTP razvijen suradnjom znanstvenika i inženjera iz cijelog svijeta. Obavijesti se izmjenjuju preko grupa korisnika. Kako gledate na ulogu i utjecaj takvih grupa?

**W. Scott Meyer:** Zgodno je što se ovaj razgovor vodi u središtu jedne od grupa korisnika. Tijekom četiri uzastopne prethodne godine proveo sam gotovo cijeli moj jednomjesečni dopust ovdje u Leuvenu u Belgiji radeći u LEC-u na razvoju EMTP. Moje osobno ulaganje vremena i novca u razvoj EMTP-centra dokaz je moga uvjerenja u smisao grupa korisnika. Ali od ključne je važnosti da rukovođenje grupom bude

prikladno, praktično, djelotvorno i odgovorno s obzirom na potrebe članova. Rukovođenjem profesora D. van Dommelena, evropska grupa EMTP jasno je pokazala sve dobre i zahtijevane vrline, uključujući izvanredan pomoćni tim (Guido Empereur i drugovi). Valja imati na umu da je vrijednost u činu, a ne u riječi. Na um mi pada apsurdan primjer jedne nedjelotvorne grupe. Navodno, stvorena je u vezi s jednim kratkim EMTP tečajem, objavljujući smiono da prijavljivanje za taj tečaj odmah priskrbljuje i učlanjivanje u grupu EMTP korisnika. Poslije toga ništa se nije čulo o toj grupi korisnika; niti ja osobno niti BPA nikada nismo imali bilo kakvu suradnju s tom grupom. Moja je preporuka drugima da bi grupe korisnika trebalo formirati samo onda kada su na raspolaganju radnici koji su nužni za održavanje i razvoj takve grupe.

**R. Mahmutćehajić:** Čini se da se EMTP malo koristi u nekim zemljama u razvoju. Nije li EMTP primjer visoke tehnologije koji bi se mogao prenijeti u sve dijelove svijeta?

**W. Scott Meyer:** EMTP bi trebao biti jednako iskoristljiv diljem cijelog svijeta. Dok je prije bilo potrebno skupo računalo, danas će MS-DOS (IBM PC XT-compatible) personalno računalo biti dovoljno za mnoge praktične probleme. Nekada je bio zahtijevan engleski za EMTP -izlaz, ali danas je ATP jezično neutralan. »EMTP News«, izdanje u kome se daju najvažnije obavijesti o razvoju i korištenju EMTP, dostupan je svakome i u svakom dijelu svijeta. Cijena EMTP softvarea nije pitanje jer BPA EMTP ostaje u javnoj domeni, a LEC-ov ATP ostaje nekomercijalni program. Samo u slučaju razvoja programa zemljopisne udaljenosti mogu imati značajniju ulogu. Teško je raditi u uvjetima izolacije. Pošto je netko radio na razvoju EMTP tijekom godina, mogao bi raditi na razvoju izdvojeno. Ali za početnika je važno studirati uz nekog postojećeg znalca. Kina se pokazala izuzetnim izvorom novih radnika na razvoju EMTP zahvaljujući ugovoru o zvaničnoj razmjeni između dviju vlada. Od 1982. godine Kina je poslala tri znanstvenika kako bi radili na razvoju EMTP u BPA tijekom određenog razdoblja (ukupno šest ljudi — godina za tri osobe). Sasvim očito zemlja podrijetla, religija ili jezik ne čini nikakvu prepreku. Ali sposobnost da se djelotvorno radi s računalom ili spremnost i sposobnost da se uči na licu mjesta predstavlja presudan faktor.

**R. Mahmutćehajić:** S obzirom na njegovu složenost EMTP nije jednostavan za poučavanje. Kakvo je vaše osobno iskustvo s tim izazovom?

**W. Scott Meyer:** U pravu ste. Obrazovanje za EMTP primjenu je doista izazov. Sada je dostupna BPA *EMTP Theory Book*; tako postoji jedan izvor za najveći dio osnovne matematike ugradne u program. Ali ona zahtijeva izmjene kako bi se osigurala njezina uskladenost s razvojem programa. Obrazovanje EMTP korisnika zahtijeva pristup računalima. Stanovit broj takozvanih kratkih tečajeva EMTP nudi se već godinama, a očekuje se da će potreba za njima rasti. Dvotjedna ponuda tečaja Cal Poly-a posljednjeg ljeta

u Sjedinjenim Američkim Državama postavila je novu podlogu korištenjem računala koji nisu skuplji od računala MS-DOS. Više obavijesti može se saznati iz rujanskog izdanja »EMTP News« u članku koji su napisali Liu, Ger i Meyer. Vidim goleme mogućnosti za takvo obrzovanje u kome bi svaki student radio s EMTP na svome vlastitom računalu.

**R. Mahmutćehajić:** Vi ste osobno posvetili veliku pažnju usklađivanju EMTP - primjena s napretkom u kompjutorskoj tehnologiji. Danas su troškovi korištenja računala znatno smanjeni, pa se EMPT može koristiti gotovo svuda. Ali obrazovanje korisnika EMTP ostaje izazov.

**W. Scott Meyer:** Slažem se. Program je znatno dostupniji nego znanje o njegovu domišljatom korištenju. Upravo zato su grupe korisnika i odgovarajuće upućivanje koje pokriva EMTP teoriju i praksu tako važni. Već ste istakli svoje razmišljanje o obrazovanju korisnika EMTP. I u pravu ste. Također moram priznati da osobno mogu izdvojiti samo mali dio svoga vremena za takvu djelatnost. Razvoj EMTP, kako smo već govorili, zaokuplja puno radno vrijeme tijekom cijelog života.

**EMTP — PROGRAM FOR SIMULATION OF TRANSIENT CONDITIONS IN ELECTRIC POWER SYSTEM**

In the article is, in the form of an interview, presented a short history and future prospects of EMTP with review of necessary education for users.

**EMTP — PROGRAMM ZUR STIMULIERUNG DER ELEKTROMAGNETISCHEN ÜBERGANGSERSCHEINUNGEN IN DEN ELEKTROMAGNETISCHEN SYSTEMEN**

Im Artikel wird in Form eines Interviews eine kurze Geschichte der Entwicklung des EMTP mit einem Überblick auf die zukünftige Entwicklung mit bezug auf die notwendige Ausbildung der Benutzer gegeben.

**EMIP ПРОГРАММА ИМИТАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

В статье в форме интервью излагается вкратце история развития EMIP и взгляд на на необходимое образование пользующихся.

Naslov pisca:

**Doc. dr. Rusmir Mahmutćehajić,  
dipl. inž.**

**Studij elektrotehnike Osijek,  
54000 Osijek, Istarska 3**

Uredništvo primilo rukopis:  
1989-02-04

# VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

## PLAN REMONTA ELEKTRANA

Utvrđen je plan remonta elektrana u Hrvatskoj za 1989. godinu. U grupi termoelektrana izvršit će se opsežni zahvati rekonstrukcije i remonta na pojedinim postrojenjima.

1. TE Rijeka remont je počeo 1. ožujka i trajat će do kraja travnja (60 dana). Zamijenit će se oštećene cijevi donje zone međuprerijača pare drugog glavnog kotla.
2. Za TE Plonim predviđen je od 15. svibnja do 29. lipnja (45 dana) redovni godišnji remont.
3. U TE Sisak, turboagregat 1, početak će u ožujku izmjena lopatica na turbini, što će trajat 90 dana.
  - na kotlu 1 trajat će 120 dana sa završetkom krajem svibnja zbog ugradnje novog ekonomajzera,
  - na turboagregatu (45 dana) izvršit će se redovni godišnji remont sa završetkom krajem studenog.
4. U TE-TO Zagreb, na TA 1 i TA 2, izvest će se remont po 30 dana u ljetnim mjesecima. Turboagregat 3 kapitalni remont trajat će 70 dana. Završetak je predviđen krajem listopada.
5. U EL-TO Zagreb, na turboagregatu 4, remont će trajati 45 dana i na turboagregatu 5, (30 dana).
6. U NE Krško za remont i izmjenu 1/3 goriva od 20. kolovoza potrebno je 52 dana.

U hidroelektranama na području Hrvatske planirani su redovni godišnji remont koji će trajati u ljetnom razdoblju i u kratkim rokovima. Planirane remonte elektrana treba smatrati samo kao orijentacijske. To znači da se predviđeni rokovi tijekom godine mogu mijenjati ovisno o elektroenergetskim prilikama.

I. R.

## NOVI PRIJENOSNI OBJEKTI ELEKTROPRENOSA OPATIJA

Skupština ZEOH-a i RSIZ-a potrošača električne energije prihvatila je Plan izgradnje prijenosnih objekata na području OOUR-a »Elektroprenosa« Opatija za 1989. godinu. Planirana je gradnja DV 400 kV Melina — Tumbri, dionica do Vrbovskog, I. faza, te dalekovod 110 kV Rovinj — Vodnjan — Pula.

Do kraja trećeg kvartala ove godine predviđen je završetak izgradnje TS 110/35/10 kV Ložinj i montaža transformatora snage 20 MVA.

Plan rekonstrukcija predviđa TS Pula — Šijana. Plan studijsko-istražnih radova: Projekt rekonstrukcije DV Plomin — Raša I, te idejni projekt veza »Elektroprivrede« Rijeka do 2000 godine.

I. R.

## ELEKTROENERGETSKA BILANCA JUGOSLAVIJE ZA 1989. GODINU

Elektroenergetska bilanca Jugoslavije za 1989. godinu izrađena je kao zbirna elektroenergetska bilanca republika i pokrajina, a usvojila ju je Skupština Zajednice jugoslavenske elektroprivrede na sjednici 22. prosinca 1988.

Osnovne veličine jugoslavenske elektroenergetske bilance za 1989. godinu na mreži prijenosa su:

### Potrebne električne energije (GWh)

— Distribucija	57 519
— Direktni potrošači	17 002
— Gubici prijenosa	2 829
— Energija za pumpanje	937

Ukupne potrebe 78 287

U odnosu na 1988. godinu ukupne potrebe povećane su za 629 GWh.

### Raspoloživa električna energija (GWh)

— Proizvodnja hidroelektrana	27 000
— Proizvodnja termoelektrana na ugljen	43 043
— Proizvodnja NE	3 970
— Proizvodnja TE na tekuća goriva i plin	5 005

Ukupno HE + TE 79 018

— Uvoz	2 050
— Izvoz	— 2 361

Raspoloživo 78 707

Manjak (—), višak (+) + 370

U elektroenergetskoj bilanci SFRJ za 1989. godinu iskazan je višak električne energije u iznosu 370 GWh. Višak su iskazale SR Srbija i SAP Kosovo, a manjak SR Hrvatska i SR Crna Gora.

I. R.

## PROIZVODNJA I POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U JUGOSLAVIJI 1988.

Udružena elektroprivreda Jugoslavije u razdoblju siječanj — prosinac 1988. godine ostvarila je netoproizvodnju električne energije u iznosu od 75,9 milijardi kWh, što je 1,8 posto ispod plana, a 3,5 posto iznad ostvarene proizvodnje u istom razdoblju 1987. godine.

Proizvodnja hidroelektrana ostvarena je u iznosu od 25,2 milijarde kWh, što je 3,1 posto manje od plana. Ostvareni dotoci vode kod hidroelektrana su 8,6 posto ispod planiranih količina. Ukupno stanje energije u akumulacijskim bazenima iznosi 2,1 milijardi kWh, što je 40 posto od mogućeg sadržaja, a 16 posto ispod planiranog stanja krajem 1988. godine. Proizvodnja električne energije u termoelektranama na ugljen ostvarenja je u iznosu od 42,8 milijardi kWh, što je nešto malo iznad plana, a 7,7 posto iznad ostvarene proizvodnje 1987. godine.

Nuklearna Elektrana Krško proizvela je 3,9 milijardi kWh, što je 0,6 posto iznad plana.

Ukupna proizvodnja termoelektrana na tekuća i plinovita goriva iznosi oko 4,0 milijarde kWh, što je 13,6 posto ispod plana.

Ukupna ostvarena brutopotrošnja električne energije u 1988. godini iznosi 73,4 milijardi kWh, što je 1,6 posto iznad plana.

Ostvaren je ukupan uvoz električne energije u iznosu od 1,2 milijarde kWh, dok izvoz je 2,6 milijardi kWh.

I. R.

## ELEKTROENERGETSKA BILANCA ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE ZA 1989. GODINU

Skupština Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske i republičke samoupravne interesne zajednice potrošača električne energije na sjednici od 22. prosinca 1988. odluku o usvajanju Elektroenergetske bilance za 1989. godinu. Osnovne veličine elektroenergetske bilance utvrđene su na osnovi studije »Metodologija za izradu elektroenergetske bilance«.

### 1. Plan potreba električne energije

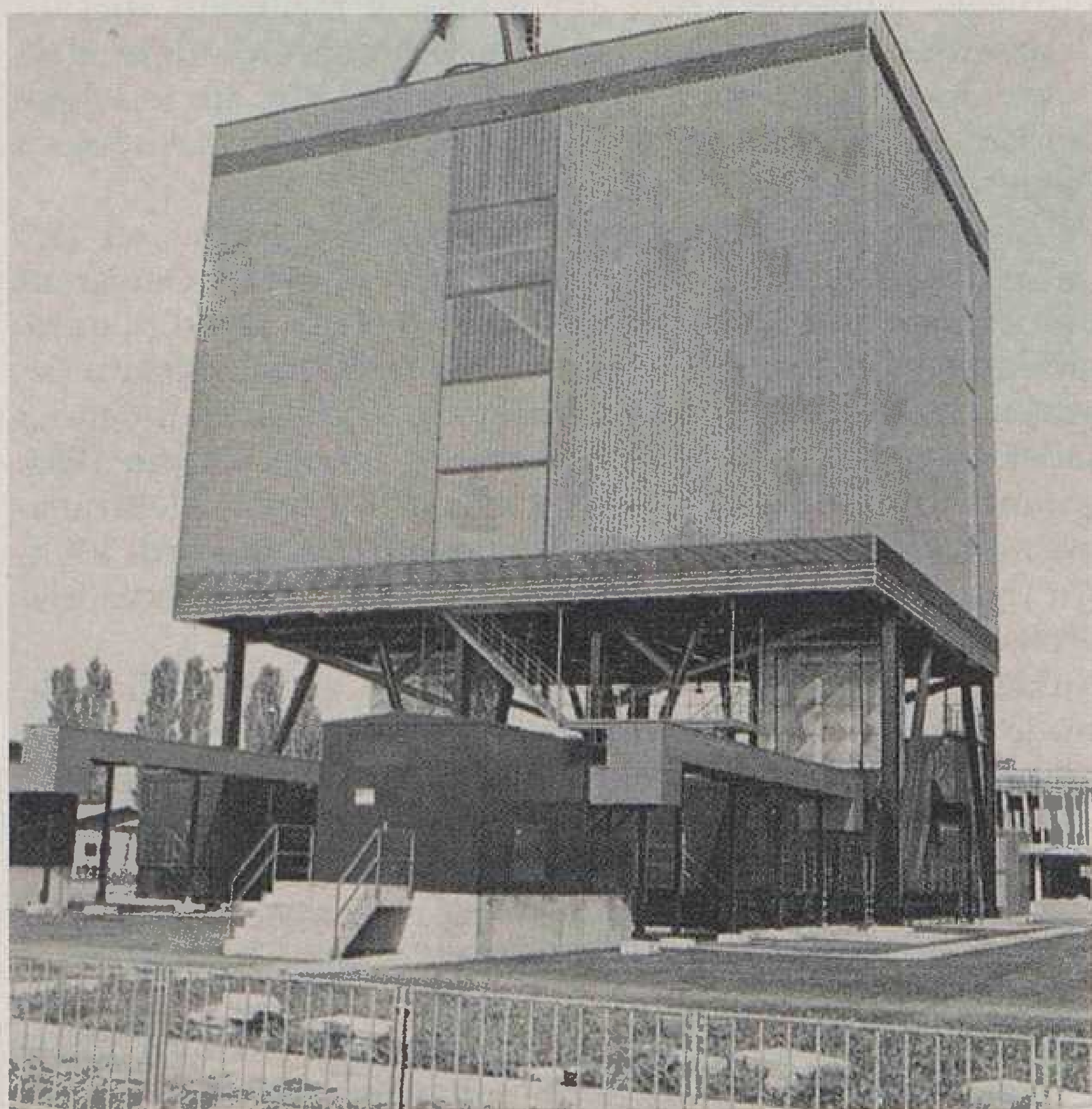
Plan potreba električne energije sadrži potrebe na prijenosnoj mreži radnih organizacija distribucije, direktnih i specijalnih potrošača te gubitke električne energije u prijenosnoj mreži.

Potrebe električne energije	GWh
— RO distribucije	11 862
— Direktni potrošači	1 156
— Specijalni potrošači	1 975
— Gubici prijenosa	532
Ukupno	15 525
Vraćanje duga Italiji iz 1988. godine	80
Sveukupne potrebe	15 605

#### 1.1. Potreba električne energije za distribuciju

Godišnje potrebe električne energije potrošača distribucije planiraju se u iznosu koji odgovara ostvarenoj potrošnji u prethodnoj godini uvećanoj za prosječno ostvarenu stopu rasta za posljednje tri godine. Plan potrošnje za 1989. godinu iznosi 11.862,0 GWh, a to je u odnosu prema 1988. godini za 3,08 posto, a u sklopu je prosječnog trogodišnjeg porasta.

Osim iz prijenosne mreže radne organizacije distribucije opskrbljuju se električnom energijom vlastitih distributiv-



Detalj plinsko-turbinskog agregata PTE Osijek

nih elektrana te nabavom iz industrijskih elektrana, ukupno oko 74 GWh.

#### 1.2. Potrebe električne energije direktnih i specijalnih potrošača

Planiranje potreba električne energije za direktne i specijalne potrošača obavlja se na temelju prijava samih potrošača. Te potrebe moraju biti usklađene s izdanim elektroenergetskim suglasnostima. Plan direktnih i specijalnih potrošača za 1989. godinu ukupno iznosi 3,131,0 GWh u odnosu prema 1988. godini porast je od 4,36 posto.

#### 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 1989. godinu 532,0 GWh ili 3,43 posto ukupne potrošnje.

### 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 1989. godini snagom na pragu 3 934 MW u proizvodnim kapacitetima.

#### 2.1. Plan proizvodnje hidroelektrana

Prema »Metodologiji za izradu elektroenergetske bilance«, proizvodnja hidroelektrana planira se na osnovi ostvarenih prosječnih mjesečnih dotoka u hidrološkom nizu od 40 godina (1926. do 1965. godine).

U 1989. godini ulaze u pogon:

- HE Đale sa snagom na pragu  $2 \times 20,4$  MW
- HE Dubrava sa snagom na pragu  $2 \times 40,3$  MW

Planirana proizvodnja hidroelektrana u 1989. godini kod prosječnih mjesečnih dotoka iznosi 5 621 GWh (protočne hidroelektrane proizvode 1 286 GWh, a akumulacijske 4 335 GWh).

#### 2.2. Plan proizvodnje termoelektrana

Prema samoupravnom sporazumu o zajedničkom radu u jugoslavenskom elektroenergetskom sustavu, godišnja proizvodnja električne energije u termoelektranama i termoelektranama-toplanama može se planirati do 78 % vrijednosti, koja se dobije množenjem raspoložive snage elektrane na pragu brojem sati u godini umanjnim za broj sati planiranog remonta.

Godišnja proizvodnja električne energije u nuklearnim elektranama planira se u skladu s raspoloživim gorivom, odnosno do zadovoljenja planiranih potreba, a najviše do 6 500 sati godišnjeg iskorištenja raspoložive snage.

U 1989. godini ne ulazi u pogon ni jedan novoizgrađeni kapacitet u termoelektranama.

Planirana ukupna proizvodnja termoelektrana za 1989. godinu iznosi 5 339,0 GWh. Proizvodnja TE Plomin 533 GWh nije planirana prema kriteriju, nego prema stanju postrojenja. Proizvodnja NE Krško utvrđena je po kriteriju.



Zbog poteškoća u osiguranju dovoljnih količina tekućeg goriva za termoelektrane, njihova proizvodnja planirana je u okviru očekivanih količina tekućeg goriva za 1989. godinu. Toplane su bilancirane za proizvodnju električne energije samo u vrijeme ogrjevne sezone u protutlačnom režimu, a njihovo stvarno angažiranje ostvarit će se prema redosljedu troškova, odnosno optimumu troškova u elektroenergetskom sustavu.

Proizvodnja plinskih elektrana (KTE Jertovec i PTE Osijek) nije predviđena planom proizvodnje termoelektrana za 1989. godinu zbog visokih troškova proizvodnje. Budući da su plinske elektrane interventnog karaktera, njihov ulazak u pogon predviđa se za slučaj većih poremećaja u elektroenergetskom sustavu. Ako se za rad osiguraju dovoljne količine plina, njihovo angažiranje ovisit će o veličini troškova njihove proizvodnje.

### Potrebe goriva za proizvodnju termoelektrana i toplana

Kao pogonsko gorivo u termoelektranama koristi se:

Ukupno	Za el. energiju	Za topl. energiju	Ukupno
— kameni ugljen	273 000	—	273 000 tona
— loživo ulje	598 500	171 700	770 200 tona
— zemni plin	47,3	136,1	182,4 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
— koksni plin	106,0	—	106,0 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>

Za NE Krško u 1989. godini potrebno je osigurati sredstva plaćanja za izmjenu 1/3 gorivih elemenata. Troškove snose po pola SR Hrvatske i SR Slovenija.

Za proizvodnju električne energije u termoelektranama i termoelektranama-toplanama kod pokrića iskazanog manjka od 1 190 GWh potrebno je osigurati 598 500 tona tekućeg goriva, 47,3 milijuna m<sup>3</sup> zemnog plina, 106 milijuna m<sup>3</sup> koksno plina te 273 300 tona ugljena.

### 2.3. Preuzimanje električne energije iz termoelektrana izgrađenih u drugim republikama

Plan preuzimanja električne energije iz termoelektrana izgrađenih u drugim republikama za 1989. godinu utvrđen je na temelju osnovnih ugovora i aneksa osnovnim ugovorima o dugoročnoj suradnji i izgradnji elektroenergetskih objekata, kao i Samoupravnom sporazumu za TE Gacko.

Plan godišnjih isporuka	MW	GWh
— TE Tuzla	182	1 090
— TE Kakanj	46	276
— TE Gacko	92	409
— TE Obrenovac	280	1 680
Ukupno	600	3 455

Isporuke električne energije utvrđene su za TE Tuzla prema Samoupravnom sporazumu o zajedničkom radu u jugoslavenskom elektroenergetskom sustavu kao apsolutno garantirane isporuke, za TE Kakanj i TE obrenovac kao isporuke uz garanciju sustava isporučioaca, te za TE Gacko vezane su za pogonsko stanje elektrane.

### Osnovne godišnje veličine elektroenergetske bilance za 1989. godinu

Potrebe električne energije (distributivna potrošnja, direktni i specijalni i gubici u prijenosnoj mreži) za 1989. godinu iznose 15 605 GWh.

Raspoloživa električna energija	GWh
— proizvodnja hidroelektrana	5 621
— proizvodnja TE u drugim republikama za potrebe Hrvatske	3 455
— proizvodnja TE na ugljen	533
— proizvodnja nuklearne elektrane za Hrvatsku	1 985
— proizvodnja toplana-teroelektrana	626
— proizvodnja TE na tekuća goriva	2 195
Ukupno raspoloživo	14 415
Nepodmirene potrebe	1 190

Elektroenergetska bilanca Hrvatske za 1989. godinu izrađena je na osnovama usvojene »Metodologije za izradu elektroenergetske bilance« Izgrađenost elektroenergetskih objekata za proizvodnju i prijenos s elektranama izgrađenim u drugim republikama za potrebe Hrvatske može zadovoljiti sve potrebe za električnom energijom u 1989. godini. Ocjenjuje se da će se nepodmirene potrebe od 1 190 GWh podmiriti dodatnom nabavom električne energije u zemlji i inozemstvu, kao i dodatnom proizvodnjom na plin TE Sisak u ljetnim mjesecima.

I. R.

### HE ĐALE — U RADU PRVI AGREGAT

HE Đale, ukupne instalirane snage 2 × 20,4 MW, početkom veljače ove godine pušten je u probni rad prvi agregat. Predviđa se da će hidroelektrana Đale, kad se završi montaža i drugog agregata, ostvariti godišnju proizvodnju od 157 GWh električne energije.

HE Đale, koja koristi vode Cetine, jedna je od većih energetskih investicija u ovom srednjoročnom planu izgradnje elektroenergetskih proizvodnih kapaciteta u SR Hrvatskoj. Investitor RO »Elektroprivreda Dalmacija« Split za kompletnu izgradnju ove hidroelektrane uložio je oko 90 milijardi dinara.

Glavnu opremu isporučili su domaći proizvođači strojogradnje i elektroindustrije: Litostroj, Ljubljana, RO »Rade Končar«, RO Metalna Maribor i dr. Izvođači građevnih radova GRO Konstruktor Split, Geotehnika i Geoekspert Zagreb i neke druge građevne organizacije. Projekte su izradili stručnjaci »Elektroprojekta« Zagreb.

I. R.

### PROŠIRENJE ISTRAŽIVANJA NAFTE U SLAVONIJI

Stručne ekipe RO »INA-Naftaplin« na području općine Vinokovci u 1989. godini rade na otkrivanju novih bušotina i utvrđivanju mogućnosti eksploatacije nafte. Za ove radove osigurana su investicijska ulaganja i početkom ove godine istraživanja se vrše na naftnim poljima u Đeletovcima, Ilači, Privlaci i Sremskim Lazama.

Već je osposobljena jedna bušotina za proizvodnju, a tijekom godine osposobit će se još tri do pet bušotina.

Bušotine naftaši aktiviraju novom metodom »usmjerenog bušenja« kojoj je osnovna značajka pronalaženje bogatijeg naftonosnog polja.

U završnoj fazi je ugradnja uređaja za dehidraciju nafte. Tim uređajem nafta s vinkovačkih polja odlazi u čistom stanju do rafinerija, čime se znatno smanjuju troškovi jer ne moraju pri preradi odvoditi vodu.

Pri kraju su i radovi na gradnji jame u kojoj će se odlagati otpadni fluid.

U siječnju je puštena u rad i nova proizvodna bušotina u Lipovljanima i novo malo naftno polje Letičani kod Bjelovara s dvije bušotine. I na ovom dijelu Slavonije nastavit će daljnja istraživanja nafte i plina.

I. R.

## ODLUKA O GRADNJI TE-TO NA OTPAD

Velik je problem grada Zagreba uklanjanje smeća i otpada s područja grada. Dnevno se odvozi oko 200 kamiona smeća i deponira na prenatrpanu lokaciju Jakuševac. U vezi s traženjem rješenja za uklanjanje smeća izrađene su studije, analize i projekti, i na temelju tih materijala predlaže se mogućnost gradnje »palionice za smeće, odnosno, termoelektrane — toplane na otpad. Gradnja takvog objekta je ne samo značajan ekološki već i privredni i energetski objekt. Skupština grada Zagreba još je 1984. godine prihvatila koncepciju cjelovitog i optimalnog rješenja uklanjanja smeća i otpada kako predlažu stručnjaci.

Zadaća TE-TO na otpad je sljedeća: bitno smanjenje volumena otpada; postizanje visokog stupnja sanitarne čistoće; zaštita okoline uz osobito velik doprinos zaštiti podzemnih voda; proizvodnja tehnološke pare za industriju; proizvodnja električne energije; proizvodnja ogrijevne topline i reciklaža starog željeza nakon separacije otpada.

Lokacija buduće TE-TO na otpad smještena je sjeveroistočno od postojeće TE-TO na žitnjaku. TE-TO na otpad planirana je tako da omogući spaljivanje smeća od stanovništva i

industrije s područja 14 gradskih općina kojih se očekuju sljedeće količine otpada:

— godišnja količina komunalnog otpada	325 000 tona/ god.
— godišnja količina organsko-tehnološkog otpada iz proizvodnje	12 750 tona/god.
— godišnja količina bolničkog infektivnog otpada	1 020 tona/god.

Kod dopreme, rukovanja i u postupku spaljivanja otpada poduzete su sve mjere da se ne ugrozi okolina. Prije spaljivanja moraju se izdvojiti svi korisni materijali (papir, staklo, metal, plastika i slično). Energija koju oslobađa izgaranje iskoristila bi se za proizvodnju toplinske i električne energije, a šljaka kao građevinski materijal.

Pročišćeni dimni plinovi ispuštaju se kroz dimnjak visine 170 metara. Otpadne vode koje se pojavljuju pri radu postrojenja odvođene se u postrojenje za obradu otpadnih voda, te se tako pročišćene ispuštaju u javnu kanalizaciju.

Početak ožujka 1989. godine Skupština grada Zagreba prihvatila je tehnički izvještaj o gradnji TE-TO na otpad i uskoro će biti raspisan natječaj.

Za gradnju objekta i opremu potrebno je osigurati investicije oko 221,5 milijuna DEM.

Skupština grada Zagreba podržala je prijedlog da troškove, na bazi preliminarnih ponuda, snosi privreda grada i Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske u omjeru 47,6 prema 54,4 posto.

Nosilac pripremljenih aktivnosti za izgradnju TE-TO na otpad jest »Elektroprivreda« Zagreb, a projektiranje je povjereno projektnoj organizaciji »Elektroprojekt« Zagreb.

I. R.

## IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

### NOVOSTI U PRIJENOSU ELEKTRIČNE ENERGIJE

U oblasti prijenosa električne energije posljednjih godina nema doduše nikakvih senzacionalnih novosti, no uvode se nove tehnologije, rastu raspoložive snage i kvaliteta dobave energije.

#### Veliki transformatori

Snage i naponi velikih transformatora neće se u dogledno vrijeme povećavati, ali će se na njih primjenjivati nove tehnologije. Nadalje postoje tendencije koje teže smanjenju gubitaka i buke. Gubici kratkog spoja mogu još biti sniženi boljom kvalitetom limova. Unutarnji prenaponi mogu se reducirati posebnom konstrukcijom namotaja i zaštitom ZnO odvodnicima. Već su izrađeni prototipovi novih izolacijskih medija i rashladnih sistema. Razmišlja se i o upotrebi supravodiča.

#### Dalekovodi

Istraživanja su usmjerena na povećanje prijenosne snage i smanjenje gubitaka prijenosa. To se može postići upotrebom posebnih slitina aluminijske koje mogu imati više trajne

temperature (150 °C umjesto 80 °C) i povoljniju vodljivost. Na postojećim dalekovodima se istražuju moguće rezerve u opterećenju pri visokim temperaturama okoliša i slabog vjetrova.

#### Kabeli

Tržište razvoja je na istraživanjima koja će omogućiti da se kabeli od plastičnih masa grade do napona od 420 kV. Takav izolacijski materijal, u usporedbi s nauljenim papirom, ima mnoge prednosti, kao manje gubitke, manju masu, lakše održavanje i montažu. Odabiranjem vrlo čistog materijala nastoji se povećati pogonsko električno polje.

Supravodljivi su kabeli iskušani, ali još nije došlo do njihove praktične primjene. Na utjecaj novih takvih materijala treba još čekati.

#### Postrojenja

U prvome redu treba istaknuti razvoj SF<sub>6</sub> postrojenja. Danas su već takva postrojenja u pogonu do nazivnih napona od 800 kV odnosno 550 kV, za nazivne struje 6 000 A i kratkospojne isklopne snage od 100 kA.

Prema današnjem gledaju sljedeće su razvojne tendencije:

- Vakuumski prekidači se vjerojatno, zbog fizikalnih i ekonomskih razloga, neće primjenjivati pri višim naponima.
- Prekidači s poluvodičima predvidivo se neće primjenjivati u trofaznim mrežama. Njihova je upotreba vezana za istosmjernu prijenosnu uređaje.

Daljnji razvoj visokonaponskih rasklopnih aparata osnivat će se na provjerenoj tehnologiji uz primjenu najnovijih fizikalnih, materijalno tehnoloških i pogonskih saznanja.

Upotebljavanje i nadzor postrojenja sve više preuzima digitalna tehnika. Uvođenjem samonadzora povećava se pouzdanost, a smanjuje održavanje i prostor uređaja. Također se i u području zaštite prelazi od analogne tehnike na digitalnu. Izmjena starih uređaja svagdje je u toku havarija.

U budućnosti će također i u postrojenjima imati veliku ulogu razvoj ekspertnog sistema.

#### Akumulacija energije

Uz pumpno-akumulacijske elektrane, koje su vezane za određene topografske prilike, uvode se, za pokrivanje vrhova opterećenja, velike akumulatorske baterije. Uz već dugo upotrebljavane olovne akumulatore uvode se i novi sistemi kao natrij-sumporne i cink-halogene baterije. U Berlinu je npr. kao rezerva stavljena u pogon olovna akumulatorska baterija snage 8,7/17 MW, prvenstveno za regulaciju frekvencije. U obzir dolaze i daljnje slične instalacije do snage od 10 MW.

#### Istosmjerni prijenos

Razvoj tiristora sve veće snage čini istosmjerni prijenos sve jeftinijim, a i atraktivnijim. Veze udaljenih hidroelektrana od centara potrošnje mogu se ekonomično izvesti ovom tehnikom, što naročito dolazi u obzir u Americi, Africi i Aziji. Nadalje, povezivanje sistema različitih frekvencija traži istosmjerne veze. Upravo su u konstrukciji istosmjerni prijenosi s više od 2 terminala.

Usavršavanjem sistema regulacije u istosmjernim vezama poboljšava se i rad vezanih trofaznih sistema koji na taj način postaju stabilniji.

#### Statički kompenzatori

Statički kompenzatori s brzom regulacijom sve se više ugrađuju u elektroenergetske sisteme. Razvoj teče u smislu poboljšanja regulacije također i u otežanim uvjetima pogona mreže. Osim preventivnog zadatka održavanja statički kompenzatori preuzimaju i druge zadatke kao npr. prigušivanje njihanja, ograničavanje prenapona i sprečavanje naponske nestabilnosti.

Kao što se iz ovog kratkog prikaza vidi, glavni se razvojni napori u prijenosnoj tehnici danas kreću u smjeru povećanja snage, pouzdanosti i ekonomičnosti.

*ETZ*, god. 109 (1988), br. 22/23

Mrk.

#### STUDIJA O KORIŠTENJU ENERGIJE VJETRA U ŠVEDSKOJ

U Švedskoj je Ministarstvu za stambenu izgradnju i Ministarstvu za okoliš uručena studija o mogućnosti gradnje elektrana na vjetar u zemlji. U studiji se preporučuju 35 lokacija u zemlji i 17 na moru. Elektrane u unutrašnjosti mogle bi dati godišnje 10 TWh električne energije, a one na morskoj obali 20 TWh. Da se to postigne, trebalo bi izgraditi 1 500 vjetrenjača u unutrašnjosti zemlje a 2 500 na moru. Danas Švedska ima 12 nuklearnih blokova od kojih svaki daje godišnje 5 TWh, pa bi zamjena za jedan blok tražila 750 većih vjetrenjača. Elektrane bi bile građene u grupama po 20 jedinica u unutrašnjosti i 50 do 100 na obali.

Preporučeno je u studiji da se odmah izgrade pokusne grupe vjetrenjača kako bi se sakupila potrebna iskustva.

*ETZ*, god. 109 (1988), br. 22/23

Mrk.

#### RASTEREĆENJE ATMOSFERE

U dugogodišnjem razdoblju od katastrofe u Černobilu (26. travnja 1986.) u svijetu je radilo preko 400 nuklearnih blokova koji su proizveli više od 3 000 TWh električne energije. Švicarski je savez za nuklearnu energiju proračunao da bi za tu količinu energije bilo potrebno spaliti više od pola milijarde tona nafte ili gotovo milijardu tona kamenog ugljena.

Radom nuklearnih elektrana, umjesto klasičnih na ugljen, atmosfera je primila 20 milijuna tona sumpor-dioksida, 5 milijuna tona dušičnih oksida i 3 milijarde tona ugljik-dioksida manje.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 87(1988), br. 21

Mrk.

#### NOVE NUKLEARKE STAVLJENE U POGON 1987.

Prema godišnjem izvještaju CEA u toku 1987. godine. pušteno je u pogon 21 nuklearnih blokova. Njihova ukupna snaga iznosi oko 20 GW. Nove su elektrane u slijedećim dijelovima svijeta:

- 9 u Sjevernoj Americi, od toga 8 u SAD
- 6 u Zapadnoj Evropi, od toga 4 u Francuskoj
- 6 u Istočnoj Evropi, od toga 3 u SSSR-u.

Početkom 1988. u pogonu su u svijetu bila 422 nuklearna bloka ukupne snage 304 GW.

*RGE*, god. 1988, br. 10

Mrk.

#### VODOVI VISOKOG NAPONA KAO IZVORI OZONA

Poznato je da je Zemlja na visini od 15 do 30 km obavijena slojem ozona koji je štiti od ultraljubičastih zraka, no neznatna koncentracija, iako mala postoji i na površini. Uz ostale štetne utjecaje vjeruje se da i on štetno djeluje na šume. Ozon se svagdje stvara gdje nastaju električni luk i električna iskra, odnosno gdje su prisutne ultraljubičaste zrake. Na uređajima koji su pod visokim naponom stvara se korona koju prati stvaranje ozona. Mnoge američke organizacije ispitivale su odnos između gubitaka korone i stvaranja ozona uz utjecaj vlage, temperature i kiše. Rezultati su pokazali, ispitivanjem u laboratoriju, da se pri jednostrukom vodiču stvara 1,1 do 8 g/kWh (ozona po kWh gubitaka), a za snop od 4 vodiča 0,5 do 5,2 g/kWh već prema promjeru vodiča i stanju okolnog zraka. Pri kiši i vlazi gubici korone su veći i veće je generiranje ozona, ali se po takvom vremenu i brže razgrađuje. Kao osnovna vrijednost za američke vodove 750 kV dobiveno je 2 g/kWh. Nisu poznata slična američka mjerenja na nižim naponima.

U SR Njemačkoj provedena su vrlo opsežna ispitivanja korone prije stavljanja u pogon prvih njemačkih postrojenja 380 kV (ispitna stanica Rheinau). Kod njihovih vodova faza čini snop od 4 užete, pa su normalno gubici korone niski. No ipak su provedena ispitivanja na terenu, pri čemu nije bilo toliko važno kolika je koncentracija na samom vodiču već kakva je u blizini voda, uz stvarne prilike strujanja zra-

ka. Jedno je mjerno mjesto bilo smješteno na udaljenosti od 4 m od vodiča, a drugo u vozilu na različitim daljinama uz vod. Osim terenskog, provedena su i laboratorijska mjerenja. Zbog velikih promjena prirodne koncentracije ozona provedeno je paralelno i referentno mjerenje. Kao rezultat doneseni su sljedeći zaključci:

- Pojavom korone na vodičima vodova visokog napona generira se ozon.
- U laboratorijskim se pokusima pokazalo da koncentracija na vodiču vrlo naglo pada s udaljenošću.
- Ni pod jednim uvjetom nije se moglo utvrditi povećanje koncentracije ozona već na udaljenosti od 4 m od snopa vodiča.

Kako pak koncentracija naglo pada s udaljenošću, može se s pravom utvrditi da duž trase nema povećanog ozona.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 87(1988), br. 2

Mrk.

### ELEKTRANA NA VJETAR I OKOLIŠ

Premda je negativni utjecaj elektrana na vjetar na okoliš neznatan, on ipak postoji. Pri njihovoj gradnji i pogonu uvijek treba računati i sa smetnjama koje su neizbježne. One bi bile sljedeće:

1. oštećenje uređaja i opasnost rušenja, mogućnost povrede okolnog stanovništva; opasnost je osobito velika pri jakim udarima vjetra ili orkana,
2. smetnje na prijemnim radiouređajima i televiziji u UKV području, zbog velikih rotirajućih metalnih dijelova. Može sezati i 3 km od vjetrenjače,
3. buka koja dolazi od rotora; od vjetrenjače srednje veličine buka se osjeća na daljinu od 2,1 km; na daljini od 400 m može biti do 56 dB, a ta pojava može izazvati ozbiljne probleme.
4. kvarenje izgleda krajolika zbog visokih tornjeva, uočljiva naročito u obalnim područjima,
5. opasnost za ptice i avione,
6. zauzimanje velikog prostora.

Navedeni momenti su svakako vrlo značajni za projektanta prilikom odabiranja mjesta vjetrenjače.

*OZE*, god. 41 (1988), br. 11

Mrk.

### PRVI EVROPSKI UREĐAJ ZA RECIKLAŽU SUHIH BATERIJA

U Zapadnom Berlinu osniva se prva evropska zajednica za reciklažu starih suhih baterija. Pritome treba spomenuti da su Berlinčani u Njemačkoj najrevniji za sakupljanje starih baterija. Dok ih se u prosjeku u ostaloj Njemačkoj sakupi 10 do 15 % u Berlinu, to iznosi 30 % od ukupno upotrijebljenih. Takav je uspjeh rezultat natjecanja u školama u sakupljanju baterija. Godine 1981. sakupljeno ih je 200 t. Predviđeni postupak za reciklažu prvi će se put primijeniti u Evropi. Baterije će se, bez pristupa zraka, žariti do 650 °C i zatim podvrći metalurškoj obradi. Teški metali kao živa, kadmij, nikl i ostali odstraniti će se elektrolitički i na taj će se način iskoristiti 95 %. Ostali neotrovni sastojci bacit će se na deponij. Uređaj će prema planu proraditi sredinom 1989. godine. Inicijatori izgradnje ovog pilotskog uređaja vjeruju da će se njegovim stavljanjem u pogon još jače intenzivirati sakupljanje starih baterija.

*ETZ*, god. 109 (1988), br. 20

Mrk.

### AUSTRIJA GRADI SVOJU NAJVEĆU SOLARNU ELEKTRANU

Austrijska elektroprivredna poduzeća već imaju iskustva sa solarnim elektranama. Vrlo su dobra iskustva sa solarnim uređajima na alpskoj kući u Steinbacku (Attersee), a prije godinu dana stavljena je u eksperimentalne svrhe u pogon prva austrijska solarna elektrana vezana na javnu mrežu. Zatim je osnovano specijalizirano poduzeće »AGRE-Photovoltaik« koje iza zadatak planiranje, gradnju i istraživanje fotovoltaičkih uređaja vezanih na mrežu u alpskim područjima. Za lokaciju nove solarne elektrane morali su biti ispunjeni određeni uvjeti. Po mogućnosti, što veća insolacija uz nisku temperaturu, na pristupačnom mjestu na nekom planinskom pašnjaku. Odabrano je mjesto u području Altanssee, na nadmorskoj visini od 1 550 m. Mjesto je vezano cestom i liftom.

Predviđeno je da module ćelija ipsoručuju tri tvtkke, i to iz SR Njemačke, SAD i Japana.

Cijelo će postrojenje zauzimati površinu od 900 m<sup>2</sup>, a površina ćelija će iznositi 263 m<sup>2</sup>. Maksimalna će snaga elektrane biti 30 kW, a godišnja proizvodnja 37 000 kWh. Elektrana će biti vezana na mrežu usmjerivačkim uređajima s visokim iskorištenjem od 90 do 95 %.

Ukupne su investicije procijenjene na 6 milijuna šilinga, a uz svu najnoviju tehniku ipak bi kWh stajao oko 10 šilinga.

*ÖZE*, god. 41(1988), br. 9/10

Mrk.

### PORAST POTROŠKA ELEKTRIČNE ENERGIJE U ZEMLJAMA EZ

Sa 1 572,0 TWh bio je potrošak električne energije u zemljama EZ u 1987. godini za 3,5 % veći od potroška prethodne godine. Procentualna povećanja potroška prema prethodnoj godini u posljednje tri godine dana su u tablici:

	Povećanje prema prethodnoj godini u postocima		
	1985.	1986.	1987.
Evropska zajednica	4,2	2,6	3,5
SR Njemačka	3,0	0,6	2,6
Francuska	7,2	4,6	3,3
Italija	2,6	2,5	5,5
Nizozemska	2,8	1,9	4,0
Belgija	3,7	2,2	4,8
Luksemburg	1,1	0,5	2,3
V. Britanija	4,9	3,0	3,0
Irska	5,6	14,6	1,3
Danska	6,1	4,2	3,5
Grčka	3,3	3,2	4,5
Španjolska	3,1	1,9	3,6
Portugal	6,1	3,0	5,3

Premda se povećanje proizvodnje električne energije iz nuklearnih elektrana dalje smanjuje, ipak je u 1987. godini povećanje iznosilo u prosjeku za cijelu EZ 3,1 %. Proizvodnja je iz tih elektrana pala samo u tri zemlje: u Velikoj Britaniji za 4,8 %, u Nizozemskoj za 15,2 % i Italiji za 98,1 %.

Povećala se također proizvodnja u klasičnim termoelektranama, i to 1986. za 1 %, a 1987. za 3 %. U klasičnim termoelektranama proizvedeno je najviše električne energije- 56 %, a u nuklearnim prosječno 32 %.

*ÖZE*, god. 41(1988), br. 9/10

Mrk.

## POTROŠAK ELEKTRIČNE ENERGIJE U SR NJEMAČKOJ 1987. GODINE

Kod okruglo 340 TWh utroška električne energije, u SR Njemačkoj godine 1987, potrošak po grupama potrošača u postocima iznosio je:

Industrija	45 %
Domaćinstva	29 %
Trgovina i zanatstvo	13 %
Javna upotreba	9 %
Poljoprivreda	9 %
Promet	2 %
	<hr/>
	100 %

## NAJVEĆA SOLARNA ELEKTRANA EVROPE

Najveća solarna elektrana Evrope s fotovolataičkim ćelijama nalazi se na njemačkom otoku Pellworm u Sjevernom moru. Vršna snaga elektrane iznosi 300 kW, a energijom opskrbljuje tamošnji lječilišni centar. Ona pokriva ukupnu površinu od 18 000 m<sup>2</sup>, gdje je smješteno 17 568 modula tvrtke AEG. Čelije su smještene na nosačima, nagnute pod kutom od 40 °, s najmanjom udaljenošću 1 m od zemlje. Na taj će se način zauzeti teren moći i nadalje koristiti kao livada. Solarnim modulima upravlja procesno računalo kako bi energetska iskorištenje bilo najoptimalnije. Zbog noćne dobave energije ugrađena je baterija kapaciteta 6 000 Ah, a ako se i ona isprazni, moguća je dobava energije iz mreže.

## KANADSKA HIDROENERGIJA ZA EVROPU

Kanada obiluje vodnim snagama, pa ima velike mogućnosti proizvodnje električne energije, na čemu Evropa oskudije-

va. Problem je, naravno, samo u transportu. Jedina je mogućnost da se prijenos energije vrši putem vodika. Da se o takvim mogućnostima dobije realna predodžba, učinjen je projekt na temelju pretpostavke da se vodik dobiva elektrolizom u postrojenju snage 100 MW, na istočnoj obali Kanade. Za prijevoz vodika promotrene su tri mogućnosti: tekući vodik, vodik u amonijaku ili u metilcikloheksanu. Prvo je rješenje teško ostvarivo zbog vrlo niske temperature ukapljivanja vodika (-253 °C), pa u obzir dolazi samo druga i treća varijanta.

Studije su pokazale da bi cijeli lanac kemijskih i energetskih transformacija na kraju dao koeficijent iskorištenju od 35 % ako se transportira tekući vodik, 58 % ako je vodik vezan u amonijaku, a 62 % vezan u metilcikloheksanu. U postupku pomoću amonijaka cijena m<sup>3</sup> vodika u Evropi iznosila bi 54 pfeniga, ali je amonijak otrovan pa bi bolje bilo prihvatiti metilcikloheksan gdje bi cijena m<sup>3</sup> vodika iznosila 70 pfeniga, odnosno 20 pfeniga po kWh. No to je dvaput do triput više nego što danas stoji vodik dobiven iz zemnog plina.

Projektom je predviđeno da bi postrojenje od 100 MW davalo godišnje 170 milijuna m<sup>3</sup> vodika odnosno 245 000 tona metilcikloheksana. Utovarna luka u Kanadi mogla bi biti luka Sept na ušću rijeke Sv. Lovrijenca, a istovarna Hamburg. Primjena tako dobivenog vodika bila bi mnogostruka. Sa 45 % uvezenog vodika moglo bi cijelu godinu biti u prometu 830 gradskih autobusa, vodik bi nadalje mogao služiti kao gorivo za male toplane i velike baterije gorivnih ćelija i na kraju oko 5 % dodavati zemnom plinu.

Kanada je vrlo zainteresirana za navedeni projekt, i spremna je potkraj stoljeća EZ-i dati na raspoloženje 25 000 do 30 000 MW iz hidroelektrana.

ÖZE, god. 41(1988), br. 11

Mrk.



Radna organizacija

**„ELKA”**

Tvornica električnih kabela  
s neograničenom odgovornošću

OOOR-a

Zagreb, Žitnjak bb

Tel.: 232-200

Telex: 21-193, P. O. B. 150

Telefax: 223-898

## **PROIZVODNI PROGRAM:**

Energetski kabele za napone:

- 1 kV — s termoplastičnom izolacijom
- 10 kV — s izolacijom od:
  - umreživog polietilena
  - etilen-propilena

20 kV — s izolacijom od:

- umreživog polietilena
- termoplastičnog polietilena

35 kV — s izolacijom od:

- umreživog polietilena
- etilen-propilena

Termoplastikom izolirani instalacijski vodovi i kabele,

Gumom izolirani instalacijski vodovi i kabele,

Brodski kabele izolirani etilen-propilenom i plaštom od neoprena,

Kabele i konektori za aerodromske instalacije,

Samonosivi kabelski snopovi Elkalex-1,

Telekomunikacijski kabele s izolacijom i plaštom od termoplastičnih materijala,

Telefonske montažne žice,

Optički kabele,

Specijalni vodovi i kabele,

Rudarski kabele,

Kabelski setovi s konektorima,

Lakirana žica,

Aluminijska, alu-čelična i užad iz aluminijske legure,

Čelična užad za dizalice, brodove i druge namjene,

Umreživi polietilen.

ČASOPIS ELEKTROPRIVREDE  
HRVATSKE

# energija

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Godište 38 (1989)

Zagreb 1989

Br. 4

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

## SADRŽAJ

<i>Kalan B.</i> : Primjena mikroračunala u termoenergetskim postrojenjima (Pregledni rad) . . . . .	283
<i>Alerić S.</i> : Metoda za izbor broja agregata (proizvodnih grupa) u hidroelektranama (Prethodno priopćenje)	289
<i>Potočnik V.</i> : Mogućnosti revitalizacije termoelektrana u SR Hrvatskoj (Prethodno priopćenje) . . . . .	295
<i>Tonković Z.</i> : Razdvajanje sistema UCPTe na zagrebačkom području (Prethodno priopćenje) . . . . .	301
<i>Štahan I.</i> : Neki pogledi na održavanje sklopnih aparatura visokog napona (Pregledni rad) . . . . .	309
<i>Mahmutćehajić R.</i> — <i>Hajdin S.</i> : Osvrt na razvoj i primjenu SF <sub>6</sub> prekidača (Stručni rad) . . . . .	313
<b>Rad Instituta za elektroprivredu u 1988. godini</b> . . . . .	323
<b>Vijesti iz elektroprivrede</b> . . . . .	340
<b>Iz strane stručne literature</b> . . . . .	343
<b>Nove knjige</b> . . . . .	346
<b>Oglasi</b> . . . . .	347

## IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

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 — EDITORIAL BOARD

Glavni urednik - Editor-in-chief: dr Zorko Cvetković, dipl. inž.  
Urednik - Editor: Zdenka Jelić, prof.

Urednici rubrika — Contributing Editors: »Energetski siste-  
mi«, Nikola Bilčar, dipl. inž. — »Hidroelektrane«, Kruno-  
slav Begović, dipl. inž. — »Termoelektrane i Toplane«, Mla-  
den Nadinić, dipl. inž. — Prijenos električne energije, Zden-  
ko Tonković, dipl. inž., Zagreb — »Razvod, distribucija i  
potrošnja električne energije«, Josip Antić i Mladen Ježić,  
dipl. inž., — »Ekonomika elektroprivrednih poduzeća, eko-  
nomskofinancijska i tarifna pitanja, te ekonomika poslova-  
nja«, dr Jure Šimović, dipl. oec. i Željko Vodopija, dipl.  
oec. — Tehnički urednik — Technical Editor: Branko Mališ  
— Lektor — Linguistic Adviser: Vladimir Strojny, prof. —  
Metrološka recenzija — Metrologic review: 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 60000  
dinara, a za poduzeća i ustanove 150000 dinara (za studente 30000)  
dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 10000.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

# 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

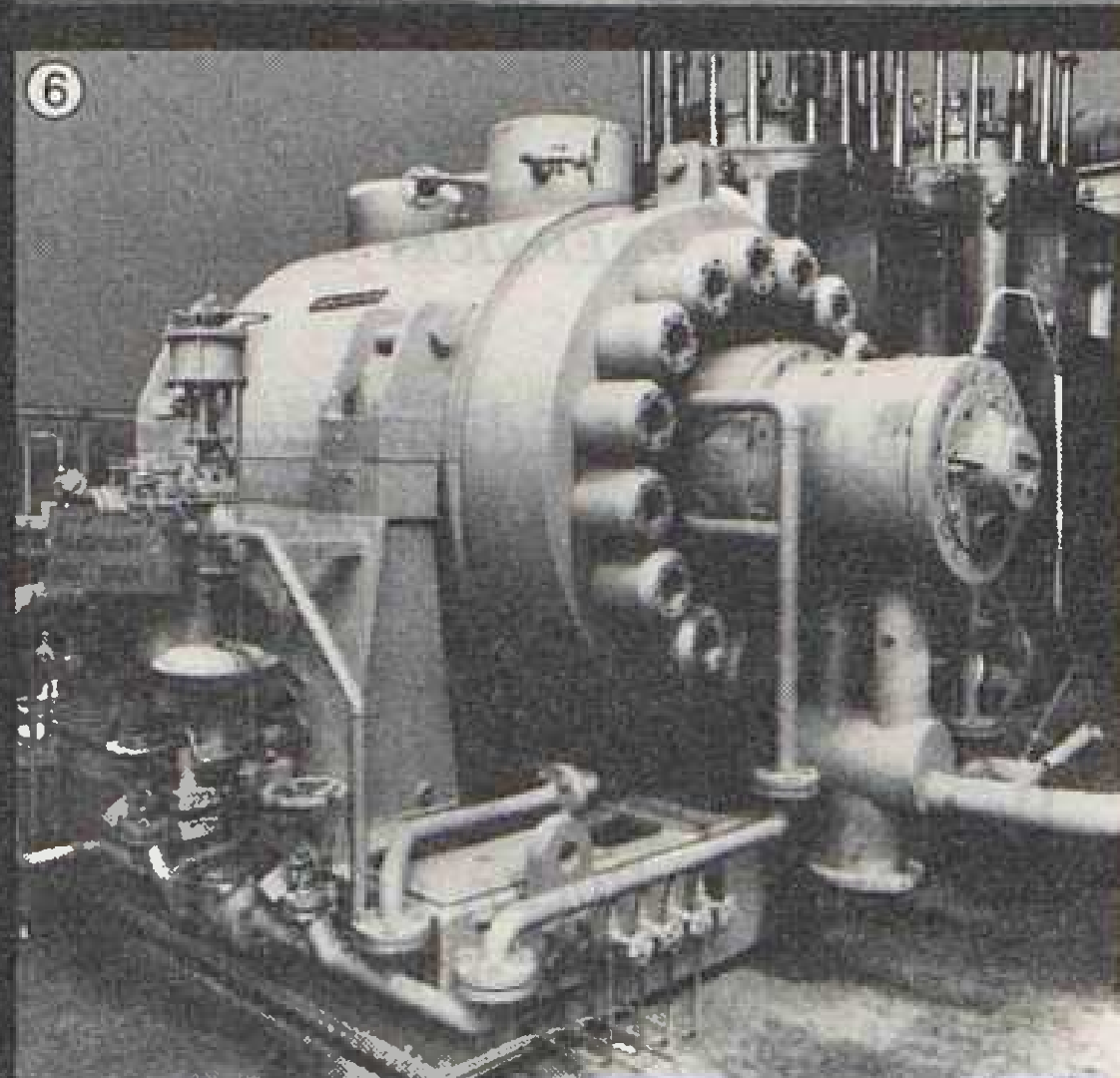
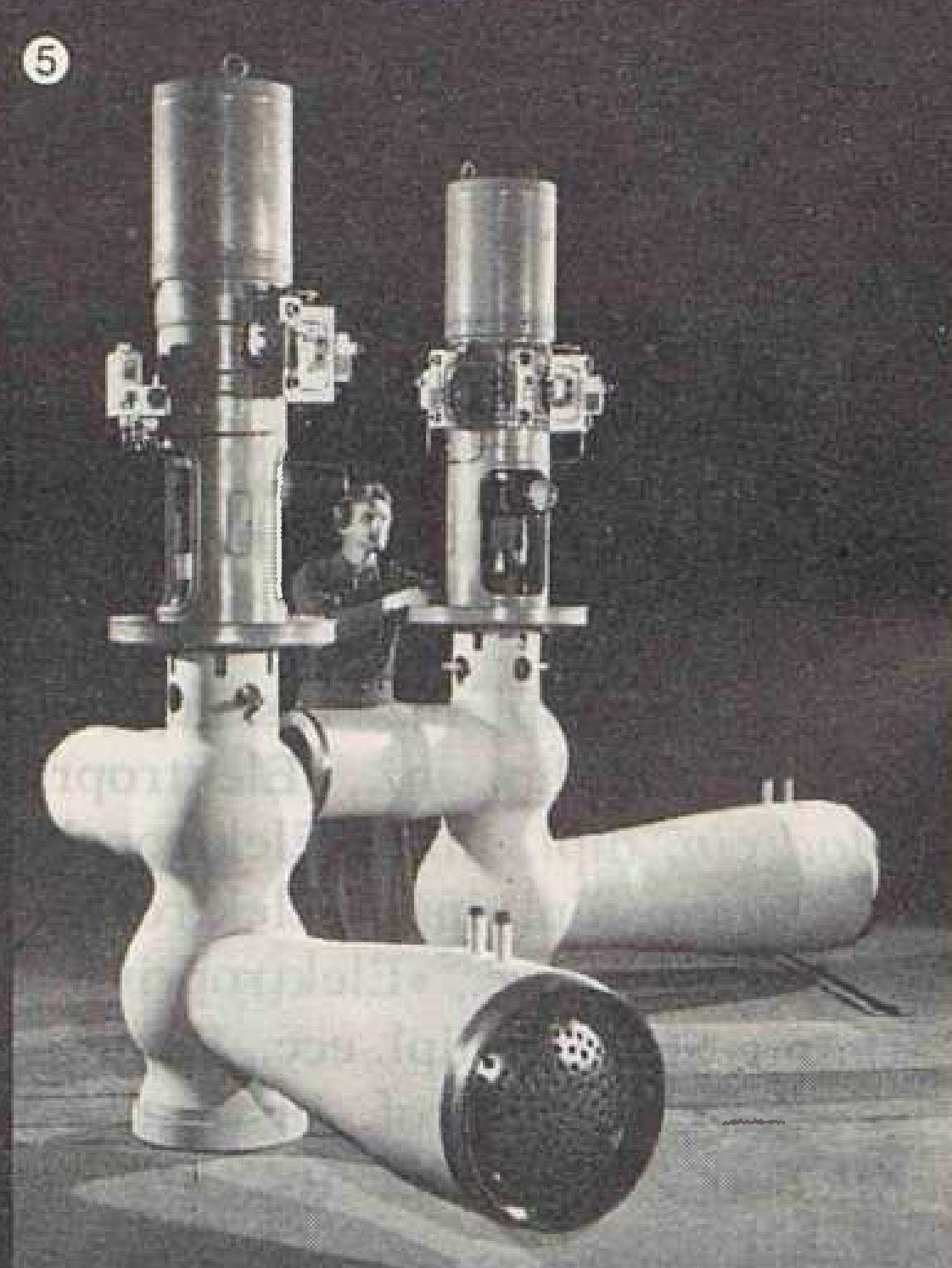
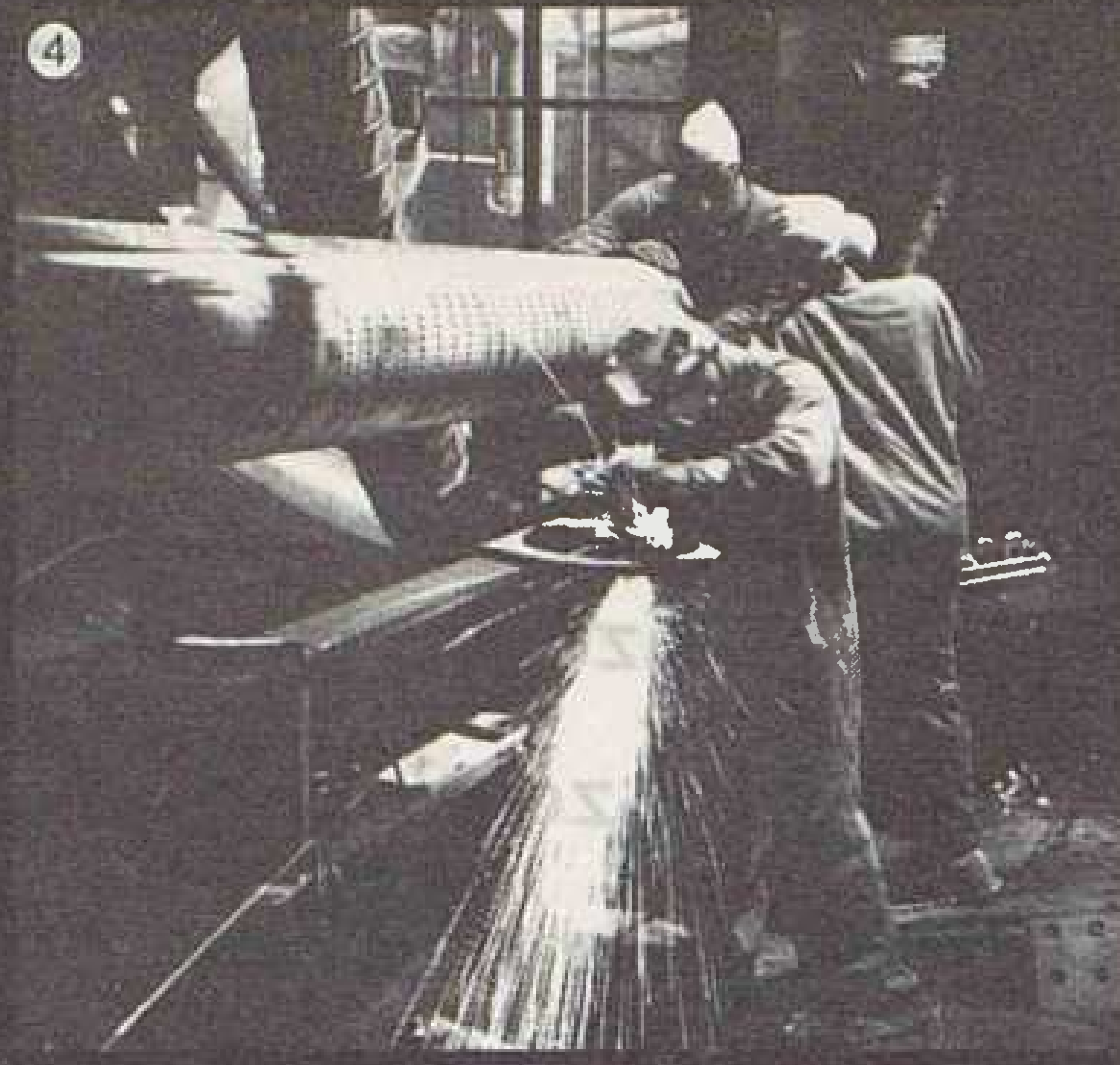
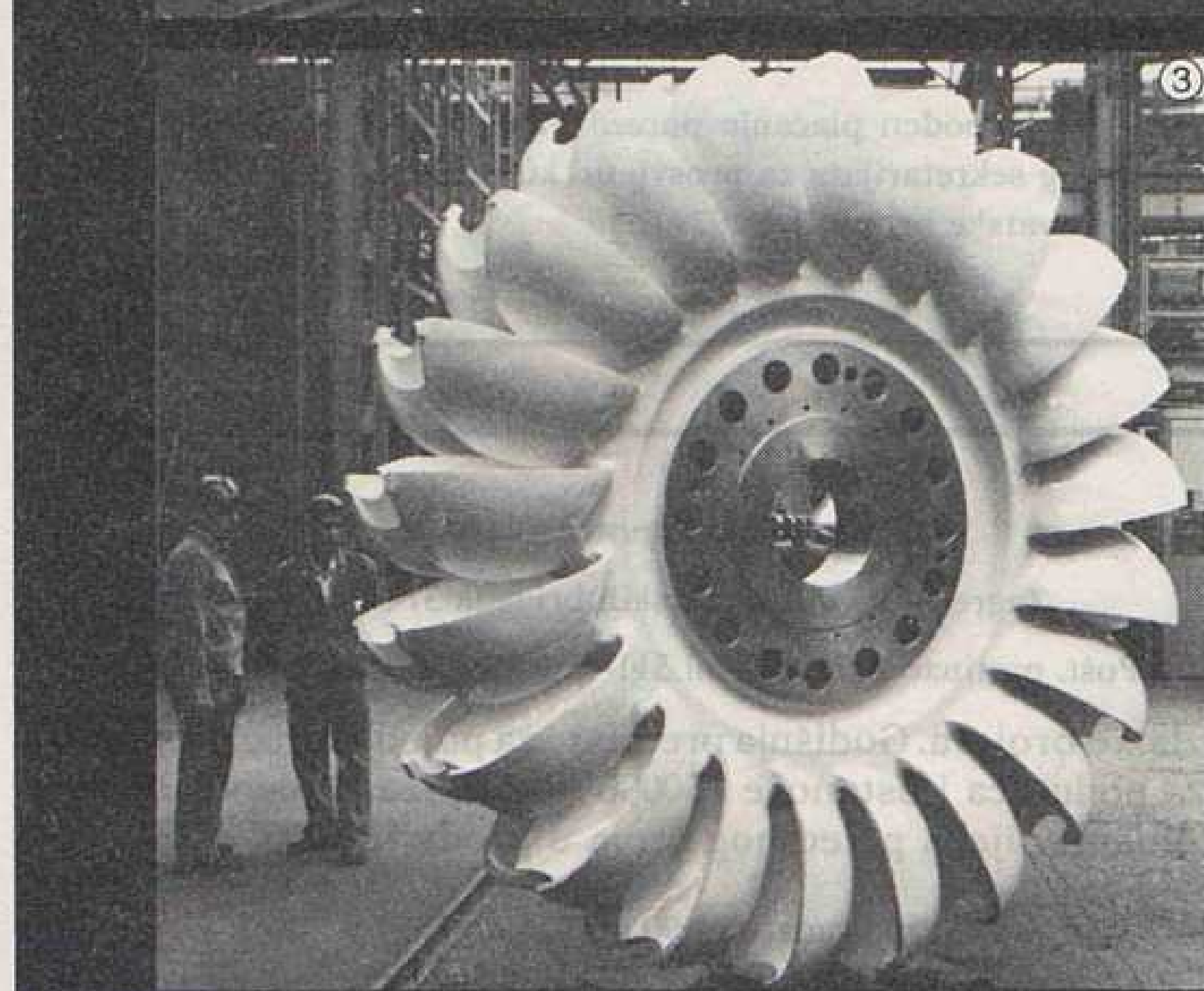
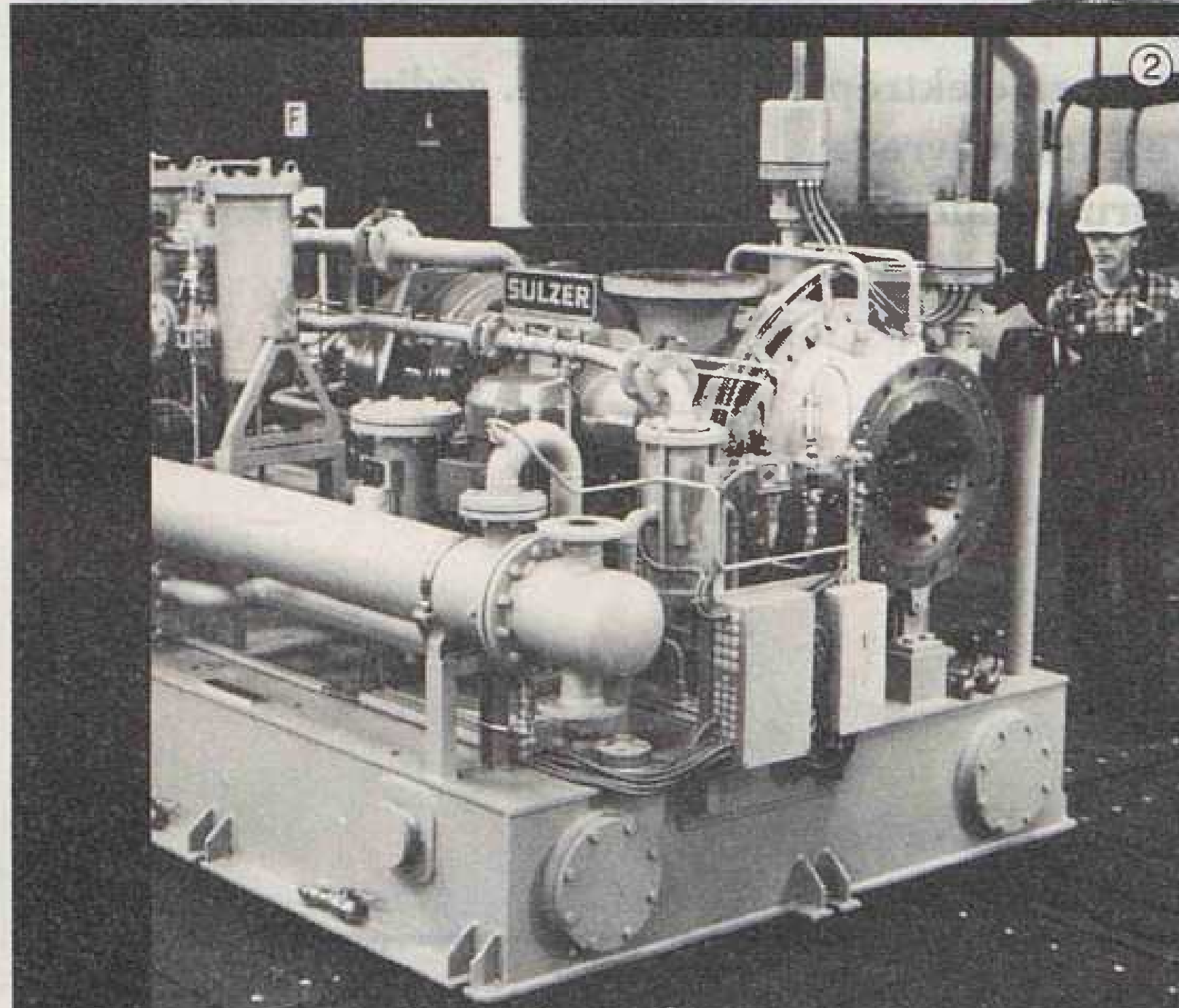
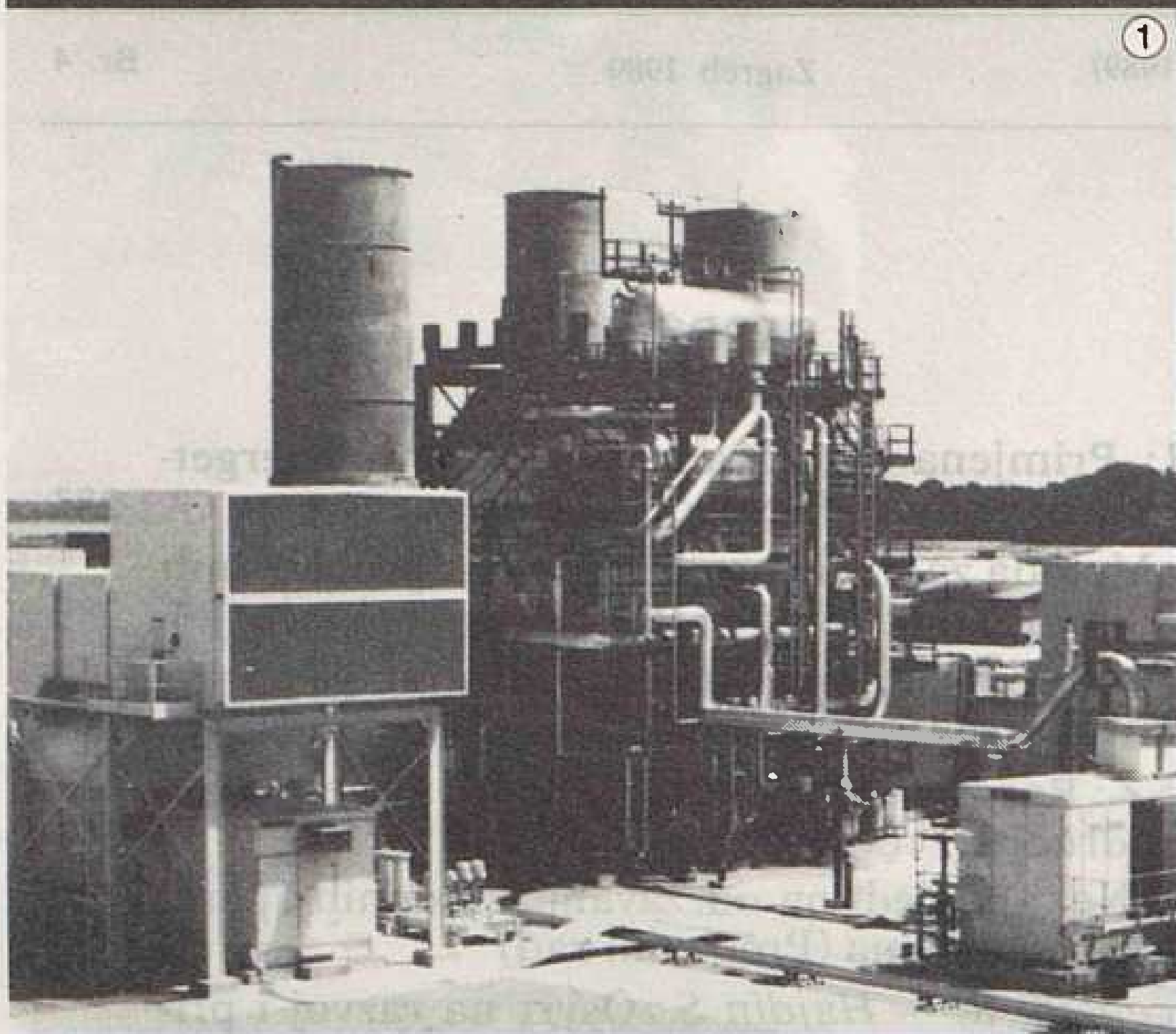
⑥ Kotlovska napojna pumpa za 600 MW-termoelektranu u Nizozemskoj.

## 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





# PRIMJENA MIKRORAČUNALA U TERMOENERGETSKIM POSTROJENJIMA

Mr. Boris Kalan, Zagreb

UDK 621.311.22:681.3  
PREGLEDNI RAD

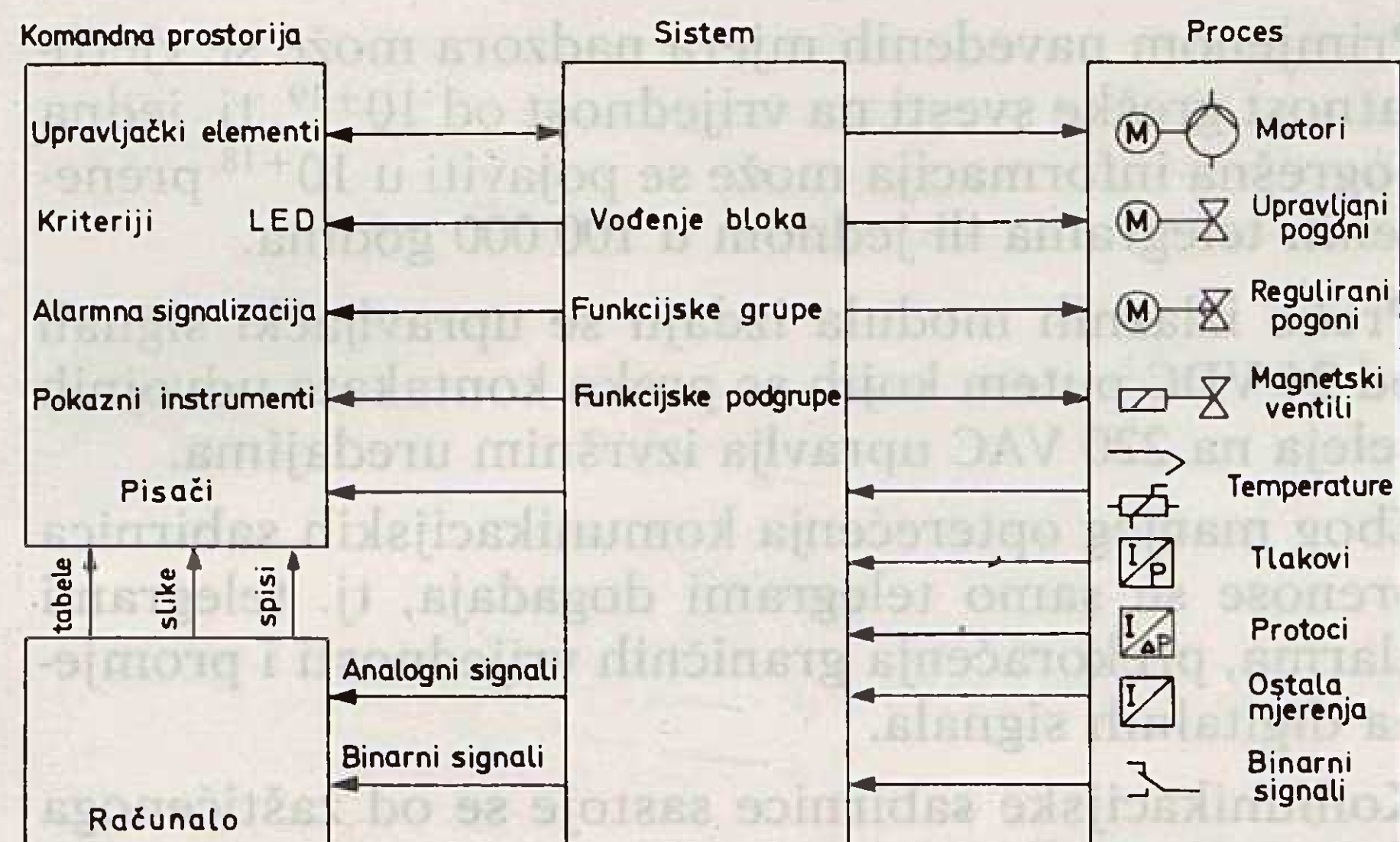
U članku je opisana primjena mikroručunala u termoenergetskim postrojenjima za funkcije nadzora, regulacije i upravljanja uz opis konfiguracije distribuiranog slobodno programiranog sistema i MM i funkcije.

**Ključne riječi:** mikroručunalo, termoenergetsko postrojenje, distribuirani sistem, automatika, procesiranje.

## 1. UVOD

Termoenergetsko postrojenje s visokim zahtjevima za pouzdanost i raspoloživost rada, sa složenim i međusobno povezanim tehnološkim procesima, sa strogim kriterijima režima rada, s velikim brojem stanja procesa i opreme s kojom se treba upravljati i koje treba nadzirati predstavlja područje primjene automatike s visokim stupnjem integriranog računarskog procesiranja.

Kao primjer kompleksnosti postrojenja može se navesti podatak da prosječno termoenergetsko postrojenje ima oko tisuću analognih mjerenja, više tisuća binarnih signala i nekoliko stotina pojedinačnih upravljanja izvršnim uređajima (slika 1).



Slika 1.

Zahtjev za nadzor i upravljanje ovako kompleksnih procesa s jednog mjesta, tj. iz komandne prostorije, i sa što manje pogonskog osoblja, može se ispuniti primjenom vrlo visokog stupnja sistema automatizacije s čvrstom koordinacijom procesnih signala i hijerarhijskom strukturom svih nivoa upravljanja.

Moderni sistemi automatizacije osnivaju se na koncepciji decentralizacije s digitalnom obradom i serij-

skim prijenosom podataka baziranim na slobodno programiranim 16-bitnim mikroručunalima.

Prednosti digitalnog sistema automatike ogledaju se u:

- sveobuhvatnoj prezentaciji procesnih podataka
- jednostavnom preprogramiranju i proširenju sistema
- vlastitom nadzoru sistema
- nadzoru svih komunikacijskih kanala
- mogućnošću nadzora i upravljanja tehnološkim postrojenjem s više fizički odvojenih upravljačkih mjesta.

Budući da karakteristike sistema automatike ovise o tehnološkim rješenjima pojedinih proizvođača, kao npr. SIMENS-TELEPERM ME, BBC-PROCONTROL, HB-CONTRONIC P, ASEA-PRO MASATER itd, u članku su opisani samo općeniti funkcionalni zahtjevi sistema.

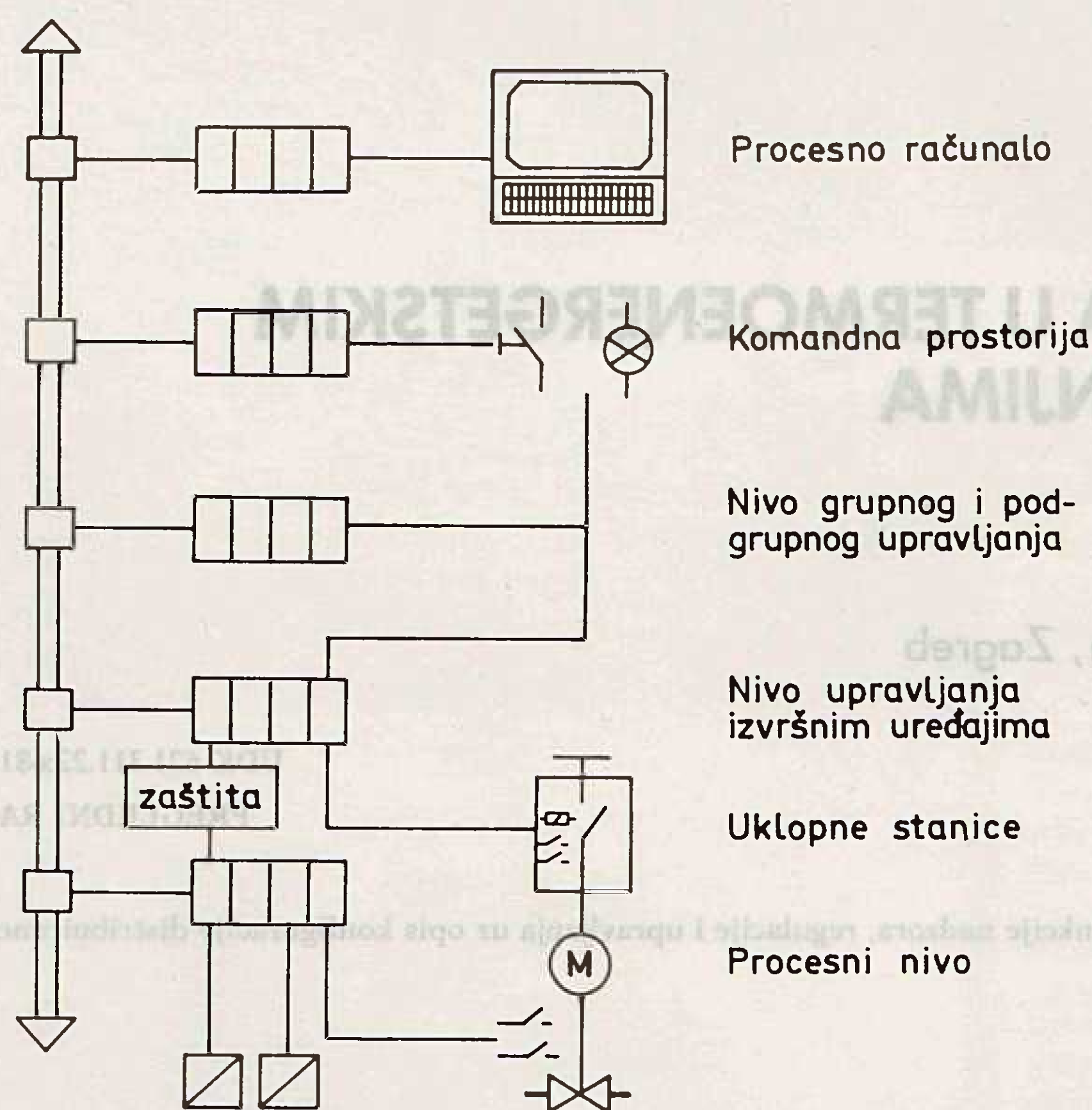
## 2. KONFIGURACIJA SISTEMA AUTOMATIKE

Sistem automatike sastoji se od niza mikroprocesorskih stanica međusobno povezanih s komunikacijskim sabirnicama (slika 2).

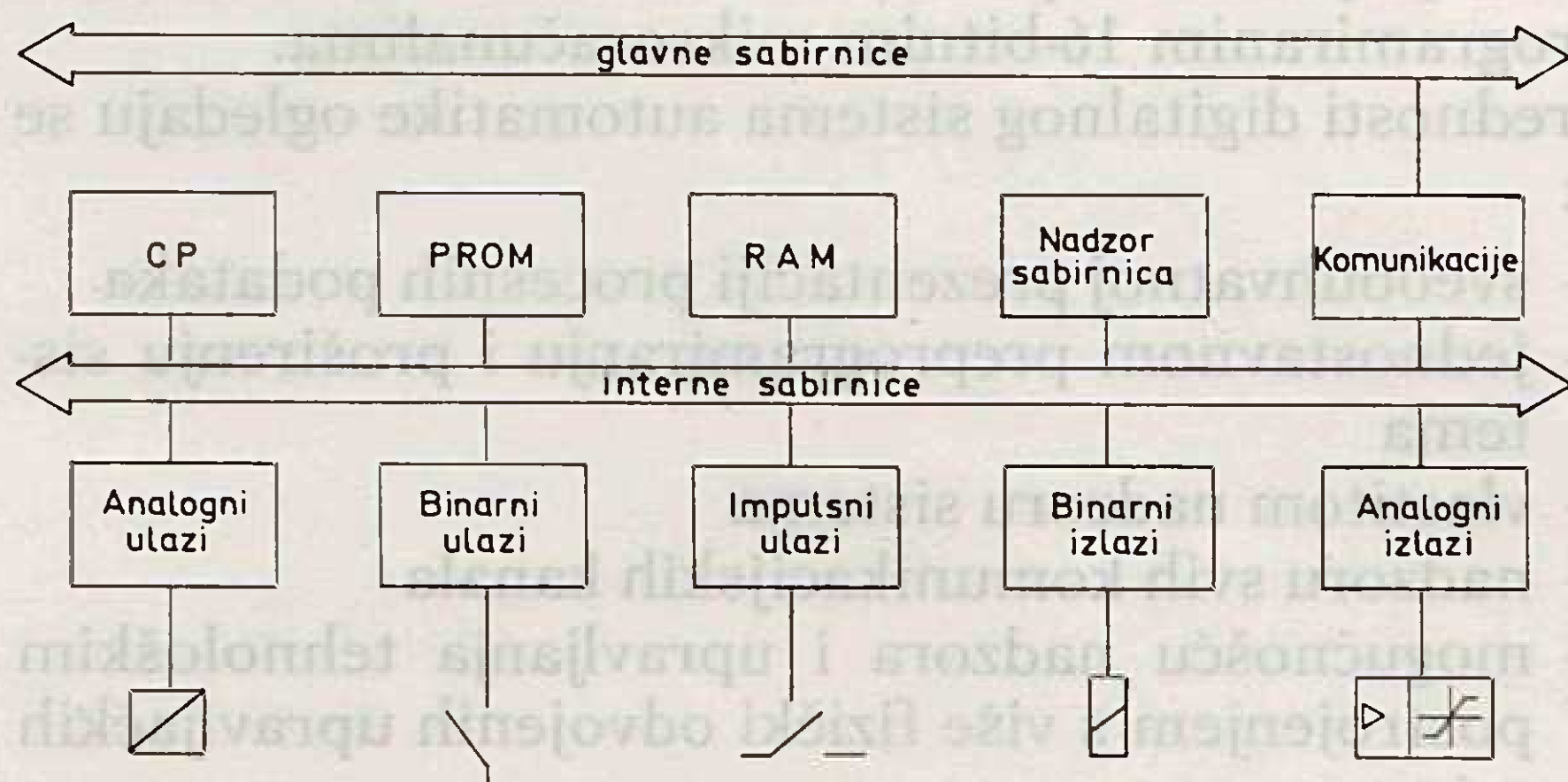
Mikroprocesorska stanica sastoji se od više modula koji su međusobno povezani internim komunikacijskim sabirnicama, kao i sabirnicom napajanja (slika 3).

Osnovni moduli su sljedeći:

- modul 16-bitnog procesora koji provodi funkcije proračuna, administracije i distribucije podataka, kao i kontrolu ostalih jedinica na internim sabirnicama
- modul PROM memorije (512 kB) koji sadrži programske elemente
- modul RAM memorije (128 kB) koji sadrži bazu podataka
- modul za nadzor komunikacijskih sabirnica



Slika 2.



Slika 3.

- moduli za komunikaciju s ostalim stanicama, poslužnim jedinicama i pisačem
- modul sata realnog vremena
- ulazno-izlazni moduli za analogne, binarne i impulsne signale.

Osnovne programske funkcije mikroprocesorske stanice jesu primarna obrada ulaznih signala, formiranje složenih signala, logičke kontrole, sekvencijalni algoritmi upravljanja, vremenske kontrole, unutarnji i vanjski nadzor, kao i lokalna komunikacija sa operaterom.

Nadzor i dijagnostika kvarova mikroprocesorske stanice provodi se putem automatskih programa za ispitivanje pojedinih modula, napajanja, internih sabirnica, komunikacija centralnog procesora s ostalim modulima, kao i samih programskih struktura. Kvarovi se induciraju na pojedinim modulima (LED), kao i na zaslonu nadzornog računala.

Programiranje se obavlja pomoću funkcijski orijentiranoga programskog jezika.

Uz mikroprocesorske stanice na komunikacijske sabirnice priključeno je i procesno računalo koje ima funkciju komunikacije operatera sa sistemom automatike, i to putem grafičke prezentacije podataka i izvještaja, prikaza alarma, događaja i prihvata naredbi operatera.

Za proračune raznih bilanci, stupnja djelovanja, kao i za korisničke aplikacije na višim programskim jezicima koristi se vanjsko računalo (npr. IBM PC ili  $\mu$ VAX) koje je putem asinhronne serijske veze priključeno na komunikacijske sabirnice ili mikroprocesorsku stanicu.

Za nadzor i održavanje sistema automatike koristi se posebna dijagnostička stanica koja se sastoji od zaslona, funkcijske tastature i tiskala. Nadzor sistema automatike sastoji se od detekcije ispada ulazno-izlaznih modula, ispada mikroprocesorske stanice i ispada komunikacijskih sabirnica. Putem dijagnostičke stanice moguće je kontrolirati pojedine dijelove programa, podešenja parametara i ulazno-izlaznih signala, kao i obavljati zahvate u sistemu, npr. simulacije, promjene parametara i testiranja programa. Mikroprocesorske stanice mogu biti povezane komunikacijskim sabirnicama u različitim konfiguracijama, npr. u seriji, zvijezdi, petlji, a najčešće se primjenjuje tzv. multidrop-konfiguracija kod koje su pojedine mikroprocesorske stanice zasebno priključene na glavne komunikacijske sabirnice.

Komunikacija se provodi tako da upravljački modul sabirnica ciklički adresira pojedine stanice, a u adresiranoj stanici se na riječ adrese dodaje riječ podatka u formi telegrama. Ostale stanice primaju telegram koji putem određenih programa koriste za svoje funkcije.

Sistem nadzora komunikacijskih sabirnica provjerava ispravnost svakog telegrama s obzirom na greške zbog mogućih vanjskih i unutarnjih smetnji.

Nadzor se osniva na sljedećim mjerama:

- kontroli vremenske tolerancije za promjenu svakog bita
- primjenom bita pariteta
- kontrolom amplitude signala
- kontrolom obrade svih bitova pojedine riječi.

Primjenom navedenih mjera nadzora može se vjerojatnost greške svesti na vrijednost od  $10^{+19}$ , tj. jedna pogrešna informacija može se pojaviti u  $10^{+18}$  prenesenih telegrama ili jednom u 100 000 godina.

Preko izlaznih modula izdaju se upravljački signali od 24 VDC putem kojih se preko kontakata udvojnih releja na 220 VAC upravlja izvršnim uređajima.

Zbog manjeg opterećenja komunikacijskih sabirnica prenose se samo telegrami događaja, tj. telegrami alarma, prekoračenja graničnih vrijednosti i promjena digitalnih signala.

Komunikacijske sabirnice sastoje se od zaštićenoga dvostrukog koaksijalnog kabla i imaju brzinu prijenosa od 153 kbita/sek [6] do 1 Mbit/sek [7].

Za veće udaljenosti koriste se modemi, a u uvjetima jakih električnih smetnji koriste se i optički kabeli. Za postizanje veće pouzdanosti i raspoloživosti rada termoenergetskih postrojenja koriste se sistemi s dvostrukim komunikacijskim sabirnicama, kao i konfiguracije s potpunom redundacijom i odgovarajućom izbornom logikom [6], ili sistemi u jednostru-koj konfiguraciji s rezervnim funkcijama nadzora i upravljanja izvedenim u »čvrstom ožičenju«.

### 3. MJERENJA

U termoenergetskim postrojenjima mjere se različite fizikalne veličine, npr. temperatura, tlak, protok, nivo, koncentracija, gustoća, težina, položaj izvršnog uređaja, brzina vrtnje, pomak osovine, vibracije i ja-ke strujne veličine.

Mjerni signali dovode se u obliku prirodnog analognog signala od 4 do 20 mA ili binarnog signala od 24 V na ulazne module pojedine mikroprocesorske stanice.

U ulaznim modulima mjerni se signali obrađuju i nadziru s obzirom na:

- kontrolu antivalencije i prekida vodiča za binarne signale
- filtriranje digitalnih signala (prigušenje titraja)
- nadziranje donje i gornje granice prirodnog analognog signala
- formiranje signala prekoračenja jedne ili više graničnih vrijednosti s histerezom
- proračunavanje, korigiranje i linearizacija
- formiranje izborne logike
- proračunavanje u inženjerskim jedinicama.

Mjerni signali s adresom i vremenskom oznakom kodiraju se u digitalnu formu telegrama koji je putem komunikacijskih sabirnica dostupan u cijelom sistemu.

Ulazni binarni signali galvanski se odvajaju putem optokaplera, dok se analogni signali skaniraju i putem multipleksorske i A/D jedinice kodiraju u digitalnu formu.

Za kodiranje analognog signala koristi se 12 bitova plus bit, 1 bit za predznak, što odgovara točnosti od 0,025 %.

Za kodiranje binarnih signala koristi se 1 bit, dok se za indicaciju položaja važnije opreme (npr. prekidači), za koju je potrebno indicirati svaki položaj, kao i međupoložaj, koriste 2 bita.

Impulsni signali za mjerenje akumuliranih vrijednosti (npr. električna energija) sumiraju se u digitalnu vrijednost koja se u određenim vremenskim intervalima ili po pozivu kodira u riječ od 12 bitova plus 1 bit za predznak.

Adrese pojedinih signala kodiraju se u riječi od 15 bitova, što omogućuje adresiranje do 1 300 signala u svakoj od maksimalno 20 mikroprocesorskih stanica [5].

Svaka riječ adrese ili signala sadrži također i kontrolne i dijagnostičke bitove, kao i bitove za kontrolu komunikacije.

Primjenom slobodno programiranog sistema svaka se mjerna vrijednost samo jednom unosi u sistem, gdje je na raspolaganju svim mikropcesorskim stanicama, pa se time uklanjaju problemi ranžiranja, raspodjele i prilagođivanja signala.

### 4. REGULACIJE

U skladu s hijerarhijskom strukturom sistema upravljanja, funkcije regulacije su riješene u pojedinim stupnjevima.

Na najvišem stupnju rješavaju se funkcije vođenja snage bloka, pa zatim funkcije koordinacije regulacije kotla i turbine te funkcije pojedinačnih upravljanja.

Funkcija vođenja snage bloka određuje postavne vrijednosti količine goriva, kao i postavne vrijednosti opterećenja i tlaka pare pred turbinom. Postavne vrijednosti su u funkciji od zadane vrijednosti opterećenja bloka, dozvoljenih brzina promjena opterećenja kotla i turbine, kao i režima rada bloka. Kroz funkciju vođenja bloka najčešće se realiziraju sljedeći režimi rada:

- prirodni klizni tlak
- modificirani klizni tlak
- otočni rad.

U režimu rada s prirodnim kliznim tlakom regulator opterećenja ne djeluje na regulacione ventile turbine koji su potpuno otvoreni. Tlak pred turbinom održava se na vrijednosti prirodnog kliznog tlaka, pa turbina nema mogućnosti brze promjene opterećenja.

Režim rada s modificiranim kliznim tlakom ostvaruje se pomakom statičke karakteristike prirodnog kliznog tlaka, tako da je u području opterećenja od 40 do 90% regulacijski ventil turbine prigušen, a u području od 90 do 100% opterećenja turbina radi s konstantnim tlakom. U takvom režimu rada turbina ima dodatnu rezervu za brze promjene opterećenja.

U režimu otočnog rada kotao radi na zadanom opterećenju, dok se razlika opterećenja regulira putem visokotlačnog mimovoda turbine. Promjenom postavne vrijednosti opterećenja bloka izjednačuju se opterećenja turbine i kotla.

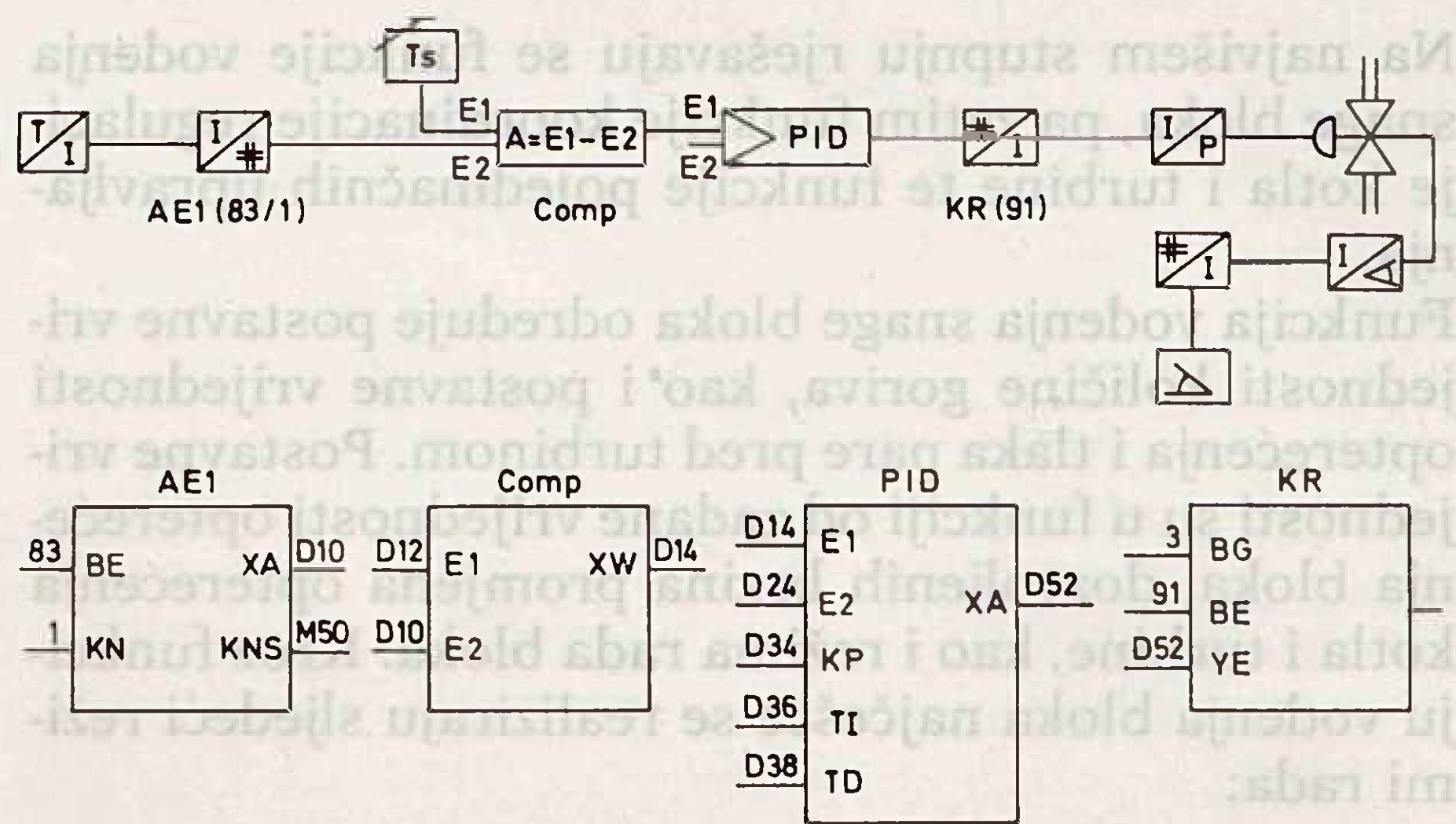
Niži nivoi regulacije, kao npr. regulacija količine goriva, regulacija zraka (dimnih plinova, regulacija napojne vode, regulacija temperature svježeg i međupregrijane pare, kao i regulacija turbine rade prema postavnim vrijednostima uređaja za vođenje bloka, ali su od njega nezavisne i funkcionalno autarkične. Funkcije regulacije rješavaju se u mikroprocesorskim stanicama koje preko komunikacijskih sabirnica imaju dostupne sve potrebne signale o vodećim i namještenim vrijednostima, kao i povratne mjerne signale iz tehnološkog procesa.

Mikroprocesorske stanice sadrže algoritme za pojedinačne i nadređene regulacije, kao i za nadzor odstupanja namještenih vrijednosti od stvarnih vrijednosti pojedinih reguliranih veličina.

Na primjeru jednostavne regulacije temperature jednog zagrijača (slika 4) prikazana je programska struktura pojedinih elemenata regulacije.

Mjerni signal temperature na izlazu zagrijača dovodi se na ulazni modul AE1 (utični broj 83), gdje se prirodni signal kodira u digitalnu formu i obrađuje. Stvarna vrijednost signala uspoređuje se s namještenom vrijednosti ( $T_s$ ) i dovodi na ulaz PID-regulatora. Izlazni signal regulatora dekodira se i dovodi na kontinuirani regulator položaja elektropneumatskog regulacijskog ventila KR(91).

Regulacijski krug se projektira, a ujedno i programira putem simboličkih elemenata u obliku kvadrata na koje se na lijevoj strani priključuju ulazni, a na desnoj strani izlazni signali.



Slika 4.

Signal stvarne vrijednosti temperature priključuje se na kanal br. 1 i utično mjesto broj 83 elementa AE1, u kojem se u svakom ciklusu signal aktualizira i šalje u digitalnom obliku na izlaz D10. U slučaju greške na analognom signalu pojavljuje se signal kvara na kanalu nadzora KNS, a regulacijski krug se prebacuje na ručni način rada.

Stvarna vrijednost signala D10 i namještena vrijednost D12 uspoređuju se u elementu COMP i regulacijska razlika D14 se dovodi kao namještena vrijednost na element regulatora PID. Stvarna vrijednost ulaznog signala regulatora postavljena je na nulu ( $E2 = 0$ ).

Parametri regulatora KP, TI i TD zadaju se na ulazima D34, D36 i D38. Izlazni signal regulatora je postavna vrijednost D52 za kontinuirani regulator položaja izvršnog uređaja.

Kao što se na primjeru vidi, primjenom diskretnih modularnih funkcija, projektiranje pojedinih sistema regulacije provodi se na nivou izrade pojedinih programskih struktura.

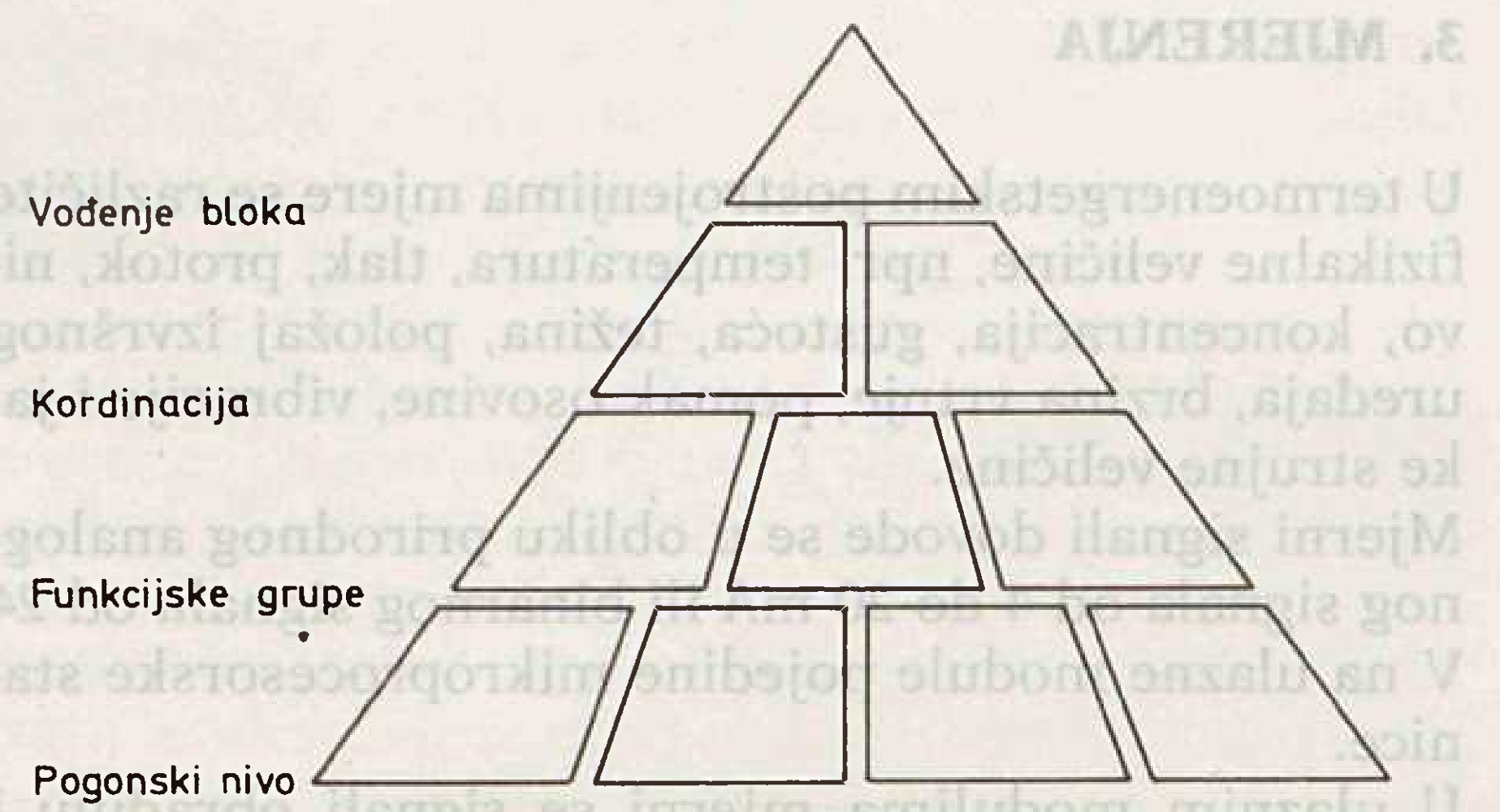
U toku optimiranja pojedinih krugova regulacije, kao i dokazivanja kvalitete regulacije, primjena digitalnog sistema omogućuje opsežno dokumentiranje odabranih konfiguracija mjernih veličina.

## 5. UPRAVLJANJE I ZAŠTITA

Upravljanje termoenergetskim postrojenjem realizirano je u hijerarhijskoj strukturi vođenjem bloka na najvišem nivou, putem koga se koordiniraju podređene regulacije i upravljanja dijelovima tehnološkog procesa (slika 5). Horizontalna struktura sistema upravljanja održava se u autarkičnom rješavanju pojedinih funkcija upravljanja.

Povezivanje pojedinih funkcija upravljanja realizira se u mikroprocesorskim stanicama putem određenih sekvencijalnih programa sa serijskom razmjenom podataka i kriterija.

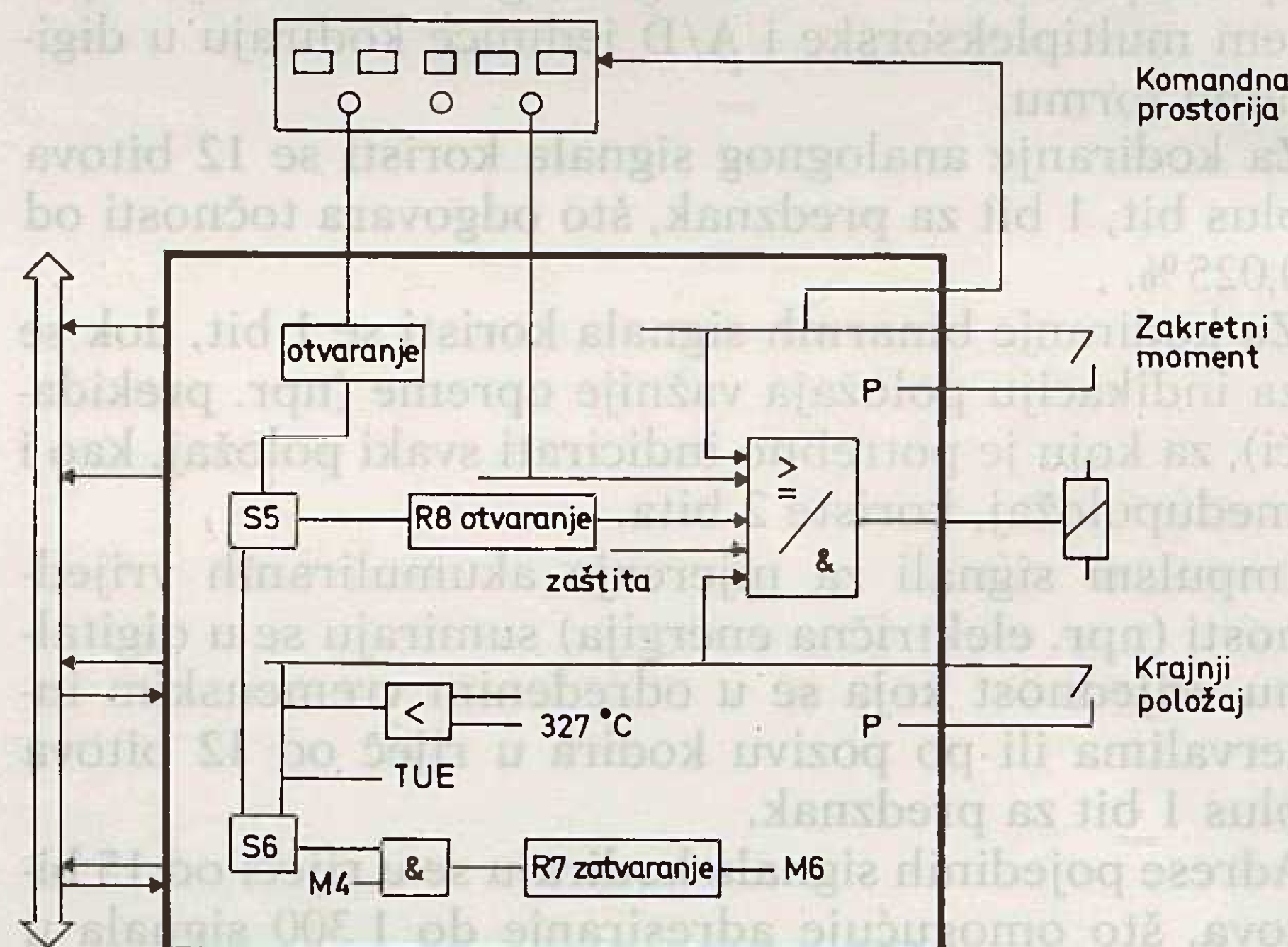
Operator putem ekrana s funkcijskom tastaturom ili putem klasičnih signalno-upravljačkih elemenata s potrebnim indikacijama za praćenje stanja postrojenja starta i obustavlja pojedine funkcionalne grupe, funkcionalne podgrupe i pojedine izvršne uređaje (upravljani i regulirani elektromotorni pogoni i magnetski ventili).



Slika 5.

Na primjeru upravljanja jednog ventila R8 prikazana je međuveza podgrupnog i pojedinačnog upravljanja (slika 6). Upravljanje se rješava u koracima, gdje svakom koraku prethode određeni kriteriji.

U koraku S5, koji se može i pojedinačno aktivirati, daje se signal »1« na pogonsko upravljački element za otvaranje ventila. Pogonskoupravljački element, koji se zbog sigurnosti realizira u »čvrstom ožičenju«, nadzire kritična stanja pogona putem zaštitnih izvršnih funkcija, isklopa kod krajnjeg položaja i isklopa kod prekoračenja zakretnog momenta. Mikroprocesorska stanica nadzire vremena trajanja pogona i krajnje položaje te signalizira pogonska i kvarna stanja.



Slika 6.

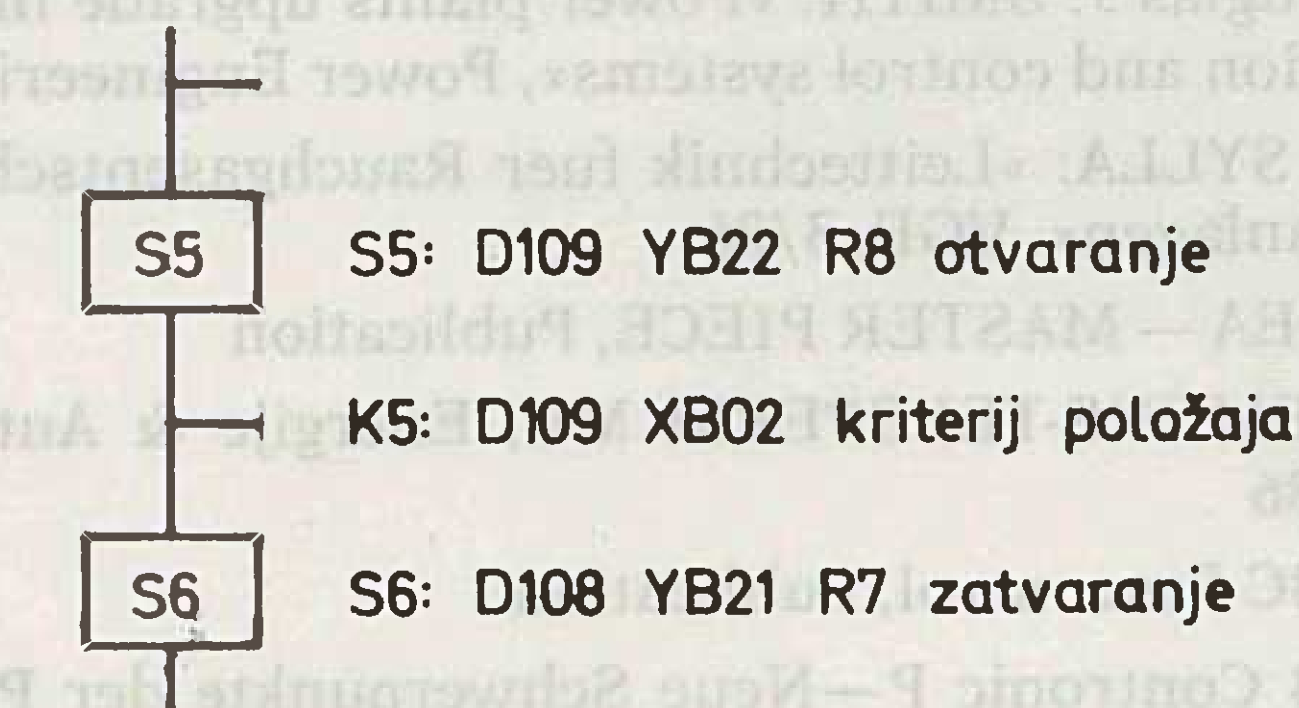
Pri postizanju krajnjeg položaja ventila ispunjen je prvi kriterij za korak 86. Usporedba stvarne i namještene vrijednosti procesne temperature ( $T_{327} \text{ °C}$ ) realizira se u elementu za drugi uvjet.

Zbog sigurnosti upravljanja nadzire se i vrijeme TUE, tako da u slučaju prekoračenja vremena sistema javlja poruku »Smetnja u koraku S5« s neispunjenjem kriterija.

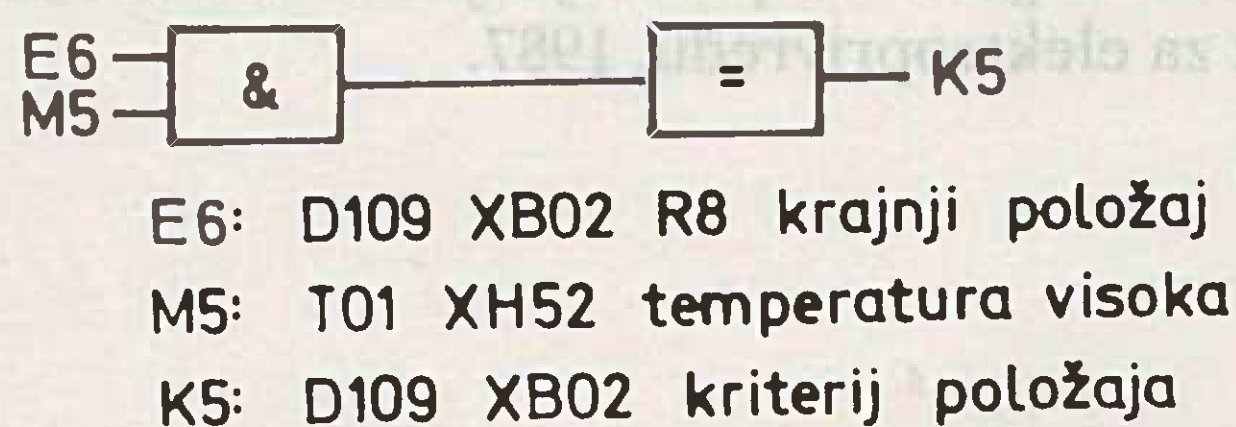
Pošto su ispunjeni svi kriteriji, prelazi se automatski na korak S6, nakon koga se naredbom M4 zatvara ventil R7.

Za projektiranje sekvencijalnih funkcija upravljanja koriste se grafički simbolički elementi programskog jezika. Na primjeru je prikazano projektiranje grube

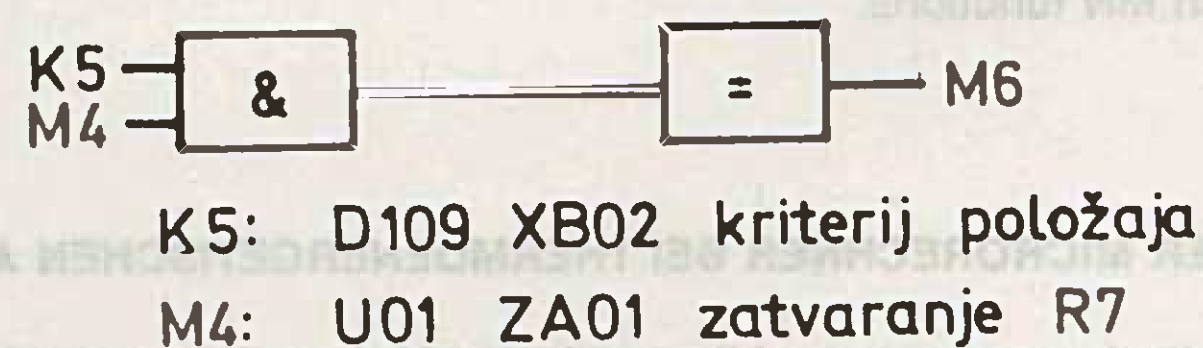
strukture programa upravljanja (slika 7a), kao i detaljne strukture kriterija (slika 7b) i pojedinog koraka (slika 7c) s potrebnim ulazno-izlaznim signalima.



a) gruba struktura upravljanja



b) struktura kriterija



c) struktura koraka

Slika 7.

Kao što se i na primjeru vidi, projektiranje funkcija upravljanja provodi se na nivou izrade pojedinih programskih struktura.

U slučaju ispada jednog od višestrukih pogona automatski se uključuje rezervni pogon uz minimalno odstupanje postavnih vrijednosti, dok se u slučaju ispada jednostrukog pogona opterećenje termoenergetskog postrojenja održava na najvišem mogućem nivou. Tek ispad više pogona može dovesti do ispada cijeloga termoenergetskog postrojenja.

U slučaju ispada dijela sistema upravljanja, npr. mikroprocesorske stanice, pogonsko stanje pojedinih izvršnih uređaja se i dalje održava. Regulacijski krugovi zadržavaju istu ili rezervnu namještenu vrijednost, dok se pomoću »čvrsto ožičene« logike automatske funkcije prebacuju na direktno upravljanje.

U slučaju ispada komunikacijske sabirnice upravljački modul sabirnica prepoznaje i indicira kvar, a autonomne funkcije regulacije i upravljanja realiziraju se na nivou izoliranih mikroprocesorskih stanica.

Svi potrebni podaci o tehnološkom procesu, kao i naredbe upravljanja koriste se u funkcijama zaštite koje su rješene na najnižem nivou upravljanja i koje su nezavisne od funkcija ručnog i automatskog upravljanja.

Funkcije zaštite trebaju u slučaju električnih ili mehaničkih grešaka, kao i nedozvoljenih stanja tehnološkog procesa uključiti ili isključiti odgovarajuće pogone, tj. dovesti ih u sigurno stanje i spriječiti njihovo daljnje automatsko ili ručno uključivanje.

Strogi kriteriji na pouzdanost i sigurnost pogonske opreme održavaju se i u zahtjevima za visoku pouzdanost sistema zaštite. Funkcije zaštite rješavaju se u logici »čvrstog ožičenja« ili putem slobodno programiranih sistema s redundantnom konfiguracijom. Na primjer, trostruka konfiguracija sistema sa dosljedno provedenom izbornom logikom 2 od 3 [6] omogućuje putem opsežnog hardverskog i softverskog nadzora internih funkcija, kao i tolerancije pojedinačne greške, vrlo siguran rad sistema zaštite.

## 6. NADZOR PROCESA

Za nadzor tehnološkog procesa koristi se procesno računalo koje ima funkciju komunikacije operatora sa sistemom.

Osnovna konfiguracija procesnog računala sastoji se od:

- centralnog procesora sa 2 MB memorije
- aritmetičkog procesora za klizni zarez
- jedinice za pohranu sadržaja memorije u slučaju gubitka napajanja
- jedinice sata realnog vremena
- jedinice disk-memorije veličine 66 MB s upravljanjem
- 2 jedinice diskete kapaciteta 512 kB
- 3 jedinice zaslona s funkcijskim tastaturama
- 3 tiskala
- jedinice za kopiranje slike zaslona.

Funkcije računala za nadzor su sljedeće:

- prikupljanje podataka iz procesa
- osvježavanje baze podataka
- prikaz na zaslonu i ispis na pisaču svih događaja u sistemu i tehnološkom procesu, tj. svih promjena binarnih signala, kao i graničnih promjena analognih signala s vremenskom rezolucijom od 10 ms
- prikaz na zaslonu upozoravajuće i kvarne signalizacije u odgovarajućoj boji
- formiranje liste nekoliko desetaka zadnjih događaja koja se inicira u slučaju određenog stanja (PMR lista)
- formiranje pogonskih dnevnih i mjesečnih protokola koji sadrže potrebne vrijednosti za praćenje stanja tehnološkog procesa
- formiranje protokola broja radnih sati pojedinih pogona
- formiranje protokola broja uklopa pojedinih pogona
- formiranje protokola stanja sistema automatike
- prikaz slika tehnološkog procesa s mjernim signalima
- omogućavanje komunikacije operatora s nadzorim računalom u obliku dijaloga
- indikacije kvara pojedinog modula, pretvarača, osjetila, kao i prekida vodiča.

Od tri zaslona na komandnom pultu jedan se koristi za prikaz funkcija alarma i događaja, a ostali se koriste za slobodnu komunikaciju operatora sa sistemom. U slučaju ispada zaslona za prikaz alarma putem određenog programa te se funkcije prebacuju na drugi zaslon.

## 7. ZAKLJUČAK

Zahtjevi za većom efikasnošću termoenergetskih postrojenja te konstruktivne izvedbe postrojenja s maksimalnim pogonskim parametrima i minimalnim mehaničkim rezervama reflektiraju se na većoj brzini rada, pouzdanosti i raspoloživosti funkcija automatizacije.

U rješavanju takvih zahtjeva moderni digitalni sistemi sa serijskim komunikacijama sve se više primjenjuju.

Prednost digitalnih sistema očituje se u opsežnom nadzoru internih funkcija, kao i u sveobuhvatnom i jednostanom prezentiranju sistemskih i procesnih podataka.

Budući da se ulazni mjerni signali samo jednom unose u sistem gdje su dostupni za sve potrebne funkcije, nestaju problemi ranžiranja, raspodjele i prilagođivanja signala, što se očituje u znatno smanjenom kabliranju.

Također, kao prednost digitalnog sistema iskazuje se i jednostavna mogućnost proširenja, kao i preprogramiranja pojedinih funkcija u toku pogona. Naime, često nisu u fazi projektiranja i proizvodnje sistema automatike poznate egzaktne karakteristike osnovne opreme s obzirom na interakcije pojedinih tehnoloških sistema, pa je potrebno u toku pretpogonskih ispitivanja obaviti mnoga podešenja, priključenja poremećajnih veličina i izmjene programskih struktura.

Stanoviti problemi, kao npr. sporiji odziv sistema u slučaju većih poremećaja u tehnološkom procesu ili u slučaju ispada pojedine komponente sistema automatike, mogu se rješavati optimalnim projektiranjem programskih struktura, primjenom redundantnih konfiguracija, kao i potpunim ispitivanjem simulacijom svih funkcija u fazi tvorničkih ispitivanja. Novi način komunikacije sa sistemom automatike zahtijeva i odgovarajuću pripremu i obuku pogonskog osoblja kojem je u većini slučajeva prikladnija komunikacija putem klasičnih analognih pokaznih instrumenata, signalnih tabloa, ručno/automatskih stanica, tipkala i prekidača.

Za postizanje pune svrhe primjene decentraliziranih digitalnih sistema potrebno je u fazi projektiranja, uz temeljito poznavanje tehnologije procesa i sistema, provesti i detaljnu ekonomsko-tehničku evaluaciju zadanih ciljeva.

## LITERATURA

- [1] M. CSERNY, F. MOETZ, M. MALZER: »Die Kraftwerks — Leittechnik«, OEZE, 9/87
- [2] K. PERTOLD, Z. VESEL: »Leittechnische Anlagen«, OEZE, 6/87

- [3] T. ALTHOFF, O. LINSENBRÄRTH, E. A. BALZERSEN: »Neue Leittechnik — Konfiguration im Einsatz bei DENOX-ANLAGEN«, VGB 8/88
- [4] Douglas J. SMITH: »Power plants upgrade instrumentation and control systems«, Power Engineering, 3/88
- [5] D. SYLLA: »Leittechnik fuer Rauchgasentschwefelungsanlagen«, VGB, 3/86
- [6] ASEA — MASTER PIECE, Publication
- [7] SIEMENS-TELEPERM ME, Energije & Automation, 1986
- [8] BBC Procontrol, Publication
- [9] HB Contronic P—Neue Schwerpunkte der Prozessführung, Instrumentierungs Trends, 6/88
- [10] B. KALAN, H. BEZLAJ, Đ. STANKOVIĆ: »Upravljanje elektroenergetskim postrojenjem TE Plomin 1,2«, Institut za elektroprivredu, 1987.

### APPLICATION OF MICROCOMPUTERS IN THERMAL POWER PLANTS

In the article is described the application of microcomputers in TPP's for functions of control and monitoring. Described is also configuration of distributed free programmed system with MN functions.

### ANWENDUNG DER MICRORECHNER BEI THERMOENERGETISCHEN ANLAGEN

Im Artikel wird die Anwendung der Microrechner bei thermoenergetischen Anlagen für die Bewachungsfunktion, Regulation und Lenkung erklärt. Es wird auch die Konfiguration des distribuierten, frei programmierten Systems und der MM Funktion beschrieben.

### ПРИМЕНЕНИЕ МИКРО ЭВМ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

В статье описано применение микро ЭВМ на тепловых энергетических установках с целью выполнения надзора, регулирования и управления с описанием распределенной свободно программированной системы и ММ и функции.

Naslov pisca:

**Mr. Boris Kalan, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb**  
**Proleterskih b. 37**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1989-04-11

# METODA ZA IZBOR BROJA AGREGATA (PROIZVODNIH GRUPA) U HIDROELEKTRANAMA

Mr. Slavko Alerić, Zagreb

UDK 621.311.21

PRETHODNO PRIOPĆENJE

U članku je prikazana metoda za izbor broja agregata u hidroelektranama. Ovaj izbor je baziran na nekoliko utjecajnih faktora, odnosno kriterija koji se energetske-ekonomski valoriziraju. Na kraju se sve uštede (koristi) i troškovi aktualiziraju u vijeku trajanja elektrane, te se lako uočava prednost izgradnje jedne varijante u odnosu na drugu.

**Glavne riječi:** hidroelektrana, proizvodna grupa, energija, vjerojatnost.

## 1. UVOD

Poznato je da hidroelektrane proizvode električnu energiju, a da za nju praktički ništa ne troše (troškovi goriva 0) i da je to s ekološkog stajališta danas najčišći oblik energije. Vodne snage, budući da pripadaju u obnovljive izvore energije, potrebno je što prije privoditi iskorištenju i realizaciji. Istina, hidroenergetska postrojenja su investicijski skuplja od npr. klasičnih termoelektrana, međutim, zbog njihova dužeg vijeka trajanja (50 i više godina) niske proizvodne cijene (i »čiste energije« ne zagađuju okolinu) imaju energetske-ekonomsku opravdanost izgradnje.

## 2. MOGUĆA PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U HE

Moguća proizvodnja električne energije neke hidroelektrane je njen glavni i osnovni pokazatelj.

O mogućoj proizvodnji električne energije u hidroelektranama napisano je i objavljeno mnogo članaka, referata, elaborata, studija i knjiga, a ovdje će se tek samo vrlo kratko napomenuti osnovna načela. Osnovna odrednica kod proračuna moguće proizvodnje hidroelektrana jest ta da se postigne što više varijabilne energije s najvećom snagom u najkraćem vremenu, ali da ne dođe do preljeva.

Na upravo spomenutom načelu načinjeni su programski paketi za elektroničko računalo (moguća proizvodnja hidroelektrana se računa za dugi hidrološki niz podataka — 40 godina — te s različitim osnovnom vremenskom jedinicom dan, tjedan, dekada ili mjesec) koji uvažavaju i druga ograničenja, npr. biološki minimum te sve druge specifičnosti koje se traže od određenog hidroenergetskog objekta. Moguća proizvodnja električne energije i snage hidroelektrana — kako je već rečeno — predstavlja osnovni parametar u kome su sadržane praktički sve pojedinosti, počevši od izdašnosti vodotoka, topografskih ka-

rakteristika i karakteristika agregata. Zato se proračunu moguće proizvodnje hidroelektrana pridaje ogromna i dužna pažnja.

## 3. KRITERIJI ZA IZBOR BROJA AGREGATA U HE

Nakon odabrane veličine izgradnje ( $Q_i$  odnosno  $P_i$ ) neke hidroelektrane, slijedeći logični korak, jest izbor broja proizvodnih grupa. Isto tako, kao što je potrebno i važno pravilno odrediti veličinu izgradnje neke hidroelektrane vrlo važno je odabrati i najpovoljniji broj proizvodnih grupa. Veličina izgradnje hidroelektrane određuje se iscrpnom i sveobuhvatnom energetske-ekonomskom analizom u elektroenergetskom sistemu, a isto tako treba provesti i energetske-ekonomsku analizu izbora broja proizvodnih grupa. Mora se reći da ima vrlo mnogo utjecajnih faktora koji uvjetuju izbor broja i veličine proizvodnih grupa u hidroelektrani. Utjecajni faktori ili kriteriji vrednovanja jedne, druge ili više proizvodnih grupa u hidroelektrani jesu:

- 3.1. — granična snaga s obzirom na tehnološke mogućnosti izrade
- 3.2. — hidraulički odnosi iskorištenja vodne snage i uloge elektrane u sistemu
- 3.3. — uvjeti elektroenergetskog sistema s uključenim proizvodnim grupama
- 3.4. — potrebna rezervna snaga u elektroenergetskom sistemu
- 3.5. — uvjeti transporta
- 3.6. — unifikacija proizvodnih grupa
- 3.7. — razlika proizvodnje u funkciji stupnja djelovanja
- 3.8. — osiguranje biološkog minimuma (vodoprivredni zahtjevi)
- 3.9. — vjerojatnost ispada (raspoloživost za pogon) — gubitak energije
- 3.10. — gubitak energije zbog remonta
- 3.11. — visina investicija za jedan, dva ili više agregata.

Nabrojani neki utjecajni faktori ili kriteriji za izbor proizvodnih grupa u hidroelektrani ne mogu se energetske-ekonomski valorizirati, npr. kriterij 3.1. i 3.5. Ako elektrostrojogradnja nije u mogućnosti izgraditi tako veliku snagu, onda se, jasno, mora ići na veći broj manjih jedinica. Makar u posljednje vrijeme industrija gradi vrlo velike snage, i do 1 000 MW. Isto tako, ograničenje zbog transporta (kriterij 3.5) može biti vrlo značajno za izbor veličine agregata. Ako su transportni protoci ograničeni s obzirom na gabarite postrojenja i težine, to se svakako mora uzeti u obzir. Ako se ipak odluči za velike agregate, onda se ide na rješenja s višedijelnim spiralama koje se zavaruju (spajaju) na lokaciji HE (gradilištu). Transport generatora u tom je slučaju odvojen, tj. transportira se u više dijelova (stator, rotor, namot).

### Kriterij 3.2. Hidrološki odnosi iskorištenja vodne snage i uloge elektrane u sistemu

Pod ovim kriterijem razumijevamo iskorištenje vodnih snaga (protoka), u kojem svakako treba voditi brigu da se iz raspoložive količine vode proizvede što više električne energije. Veće jedinice redovito imaju i veći (bolji) stupanj djelovanja. Međutim, ako je vodotok bujičav, tj. s velikim oscilacijama protoka te ako nema ili je vrlo mala akumulacija za regulaciju protoka pa se pred agregate postavlja zahtjev da preporučuju i male vode, korisno je ići na veći broj manjih jedinica.

### Kriterij 3.3. Uvjeti elektroenergetskog sistema s uključenim proizvodnim grupama

U literaturi se može naći, a i energetske-ekonomskim analizama odrediti, najpovoljnija veličina jedinica s obzirom na »veličinu« elektroenergetskog sistema. Tako se u literaturi nalazi podatak da je optimalna snaga jedinice 5-10 (najviše 10%) odnosno 8% od maksimalnog opterećenja.

### Kriterij 3.4. Potrebna rezervna snaga u elektroenergetskom sistemu

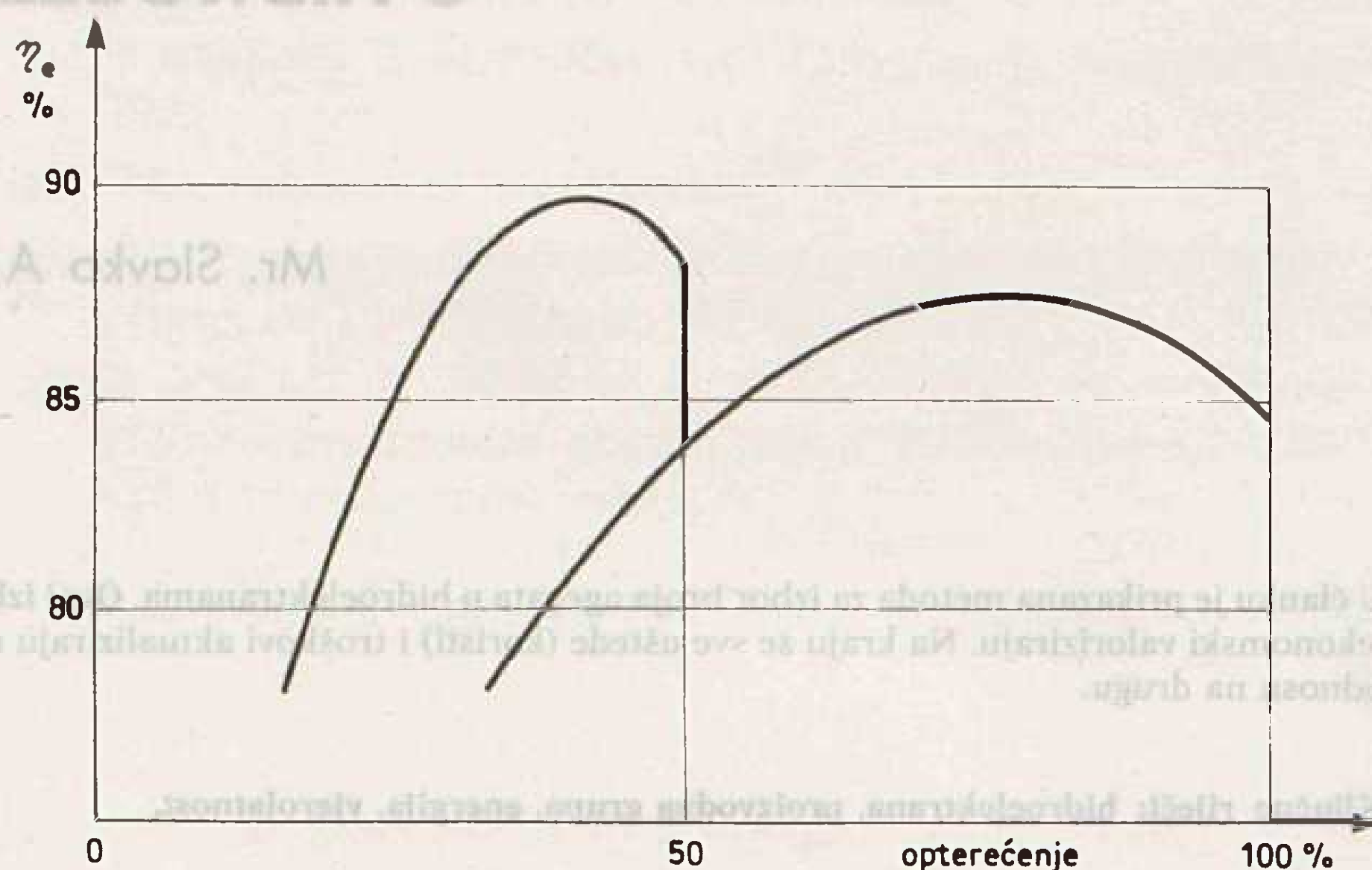
Što se tiče rezerve snage u elektroenergetskom sistemu, ona je (bar kod nas danas) veoma nedefinirana. Naime, pod pojmom rezervne snage kriju se najmanje tri (regulacijska, rotirajuća i hladna). Ovo je jedan problem koji bi svakako trebalo temeljito i detaljno obraditi. Istina problem rezerve izlazi iz okvira ovoga članka. Međutim, temeljna odrednica određivanja rezerve u sistemu svakako bi trebala biti da bude minimalna i dovoljna.

### Kriterij 3.6. Unifikacija proizvodnih grupa

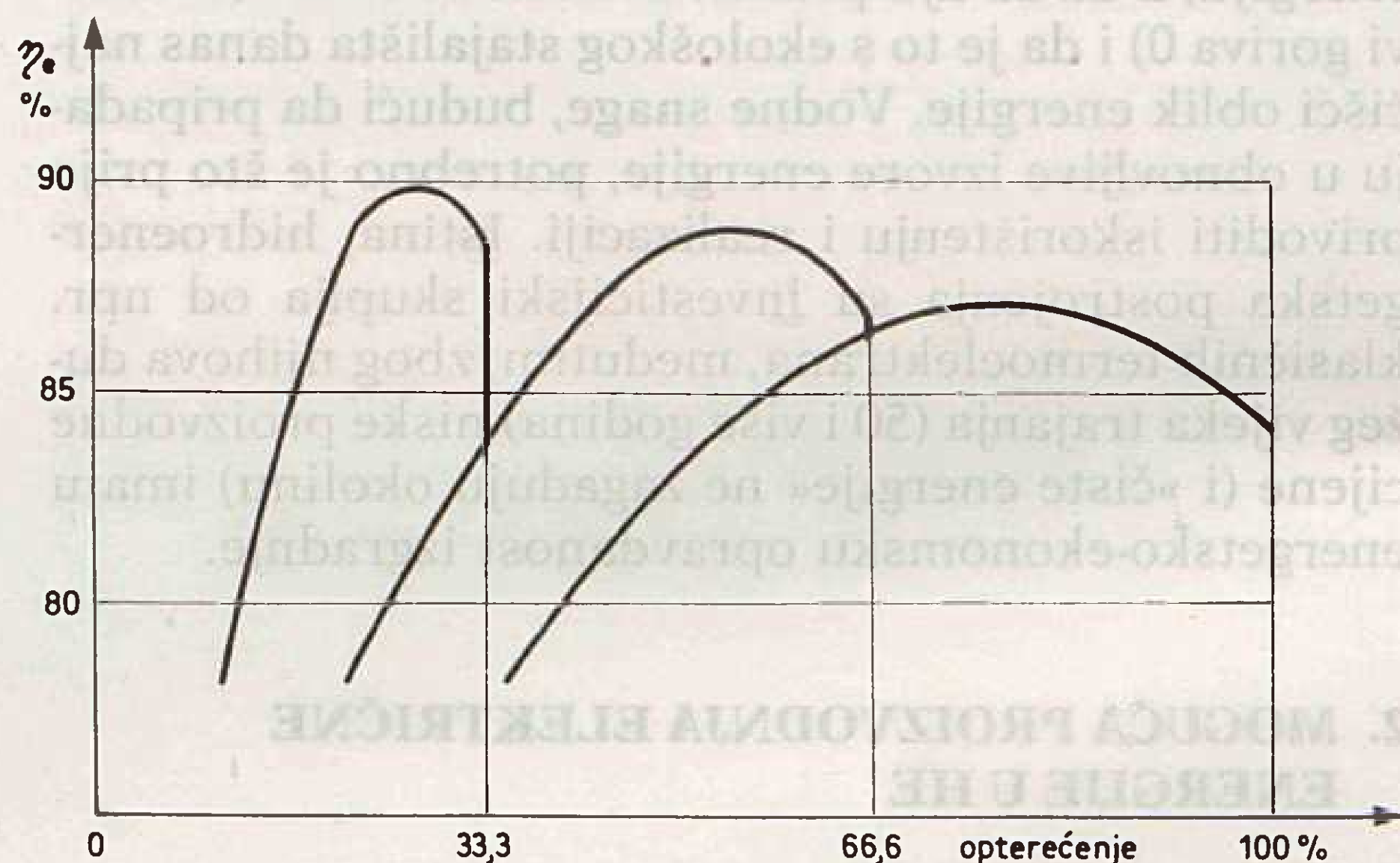
Svakako da treba težiti unifikaciji i standardizaciji opreme jer se mogu postići značajne uštede. Izgradnja hidroelektrana na nekom vodotoku u znatnoj se mjeri može unificirati, a uštede se postižu na projektiranju i konstrukciji.

### Kriterij 3.7. Razlika proizvodnje u funkciji stupnja djelovanja

Metodom za točnije izračunavanje moguće proizvodnje (uzima u obzir sve relevantne faktore) hidroelektrana moguće je odrediti realnu proizvodnju, pogotovo ako se računa sa srednjim dnevnim protocima.



Slika 1a. Stupanj djelovanja hidroelektrane s dva agregata ( $Q_{12} = Q_{13}$ )



Slika 1b. Stupanj djelovanja hidroelektrane s tri agregata ( $Q_{13} = Q_{12}$ )

Na sl. 1a i sl. 1b prikazan je stupanj djelovanja elektrane s dvije odnosno tri proizvodne grupe. Naravno, u oba slučaja je ista instalirana snaga — isti instalirani protok.

### Kriterij 3.8. Osiguranje biološkog minimuma (vodoprivredni zahtjevi)

U nekim slučajevima (u posljednje vrijeme sve više) postavlja se zahtjev Vodoprivrede ili DPZ da se mora u svakom trenutku osigurati određena količina vode nizvodno od pregradnog mjesta ili lokacije hidroelektrane. Ta količina se zove biološki minimum, koji može poslužiti u različite svrhe (vodovod, ribogojstvo, zaštita korita rijeke od erozije i dr.). Zato pri određivanju odnosno valorizaciji proizvodnih grupa treba uzeti u obzir i ovaj kriterij (ili ga eliminirati ako se ovaj zahtjev rješava posebnom grupom).



### Kriterij 3.9. Vjerojatnost ispada (raspoloživost za pogon) odnosno vjerojatnost pojave kvara proizvodne grupe

Budući da je ispad elektrane ili njezina dijela slučajna događaj, to se za ovu svrhu upotrebljava teorija statističke vjerojatnosti. Za ovu analizu potrebno je najprije poznavati pojedinačne vjerojatnosti ispada elektrane ili njezina dijela u ovom slučaju agregata, a tek onda prikladnim matematičko-statističkim algoritmom obraditi te slučajne događaje. Odmah se nameće misao da je potrebno formirati funkciju distribucije neplaniranih ispada jednog, dvaju ili više agregata. S obzirom na to da ispad jednog agregata ne ovisi o ispadu drugog agregata, može se računati upotrebom rekurzivne formule koja je slična binomnoj distribuciji (raspodjeli). Funkcija distribucije formira se sukcesivnim uključivanjem u račun jedne po jedne elektrane (agregata). Radi ilustracije navest će se jedan primjer. U tablici 1 navedeni su podaci s kojima će se ilustrirati formiranje funkcije distribucije, a u tabl. 2 će se navesti rezultati.

Tablica 1.

Broj elektrane	Snaga MW	Vjerojatnost elektrane da je	
		sposobna ( $p$ )	nesposobna ( $q$ )
1	200	0,80	0,20
2	200	0,80	0,20
3	100	0,90	0,10

Uočljivo je da je suma vjerojatnosti  $p+q=1$ , što je i normalno jer elektrana samo i može biti u ta dva stanja ili da je sposobna za pogon, vjerojatnost  $p$ , odnosno nesposobna za pogon (kvar), vjerojatnost  $q$ . Formiranje funkcije distribucije počinje uključivanjem u sistem elektrane broj 1 iz tabl. 1. Funkcija distribucije za taj slučaj opisana je s vjerojatnosnim stanjima elektrane 1. Dakle, kada je elektrana broj 1 sposobna za pogon, snaga izvan pogona jednaka je nuli, a vjerojatnost toga događaja je  $P_1(0)$  koja je jednaka vjerojatnosti da je elektrana broj 1 sposobna za pogon  $P_1(0) = 0,80$ .

U drugom slučaju, kada elektrana broj 1 nije sposobna za pogona — snaga izvan pogona jednaka je instaliranoj snazi elektrane broj 1, znači 200 MW — a pripadna vjerojatnost toga događaja je

$$P_1(200) = 0,20$$

Funkcija distribucije — kada je samo elektrana broj 1 u sustavu — prikazana je u tabl. 2 kolona 2.

Promatra li se sustav s dvije elektrane, potrebno je proračunati sva moguća stanja (kombinacije) u kojima se može naći elektrana broj 1 i elektrana broj 2. Naravno, nadovezujući se na prethodni korak kada je u sustavu promatrana samo elektrana broj 1, kada su obje elektrane sposobne za pogon, snaga izvan pogona,  $X$  (MW) bit će jednaka nuli, a pripadna vjerojatnost toga događaja dobiva se produktom vjerojatnosti koje karakteriziraju pojedinačne događaje, dakle

$$P_2(0) = P_1(0) \cdot p_2 = 0,80 \cdot 0,80 = 0,64$$

gdje je:

$p_2(X)$  — vjerojatnost da će  $X$  MW biti izvan pogona u sustavu s dvije elektrane

$P_1(X)$  — vjerojatnost da će  $X$  MW biti izvan pogona u sustavu s jednom elektranom

$p_2$  — vjerojatnost da je elektrana broj 2 sposobna za pogon.

Sljedeća dva moguća događaja rezultiraju 200 MW izvan pogona (iste instalirane snage elektrane broj 1 i broj 2): elektrana broj 1 izvan pogona, elektrana broj 2 u pogonu; i elektrana broj 1 u pogonu, a elektrana broj 2 izvan pogona. Vjerojatnost tih događaja je:

$$P_2(200) = P_1(200) \cdot p + P_1(0) \cdot q_2 = 0,2 \cdot 0,8 + 0,8 \cdot 0,2 = 0,32$$

dok vjerojatnost da obje elektrane budu izvan pogona (400 MW) jest:

$$P_2(400) = P_1(200) \cdot q_2 = 0,2 \cdot 0,2 = 0,04$$

Funkcija distribucije neplaniranih ispada za dvije elektrane prikazana je u koloni 3 tabl. 2.

Uključivanje elektrane broj 3 u sustav vrši se na upravo opisani način, a rezultat proračuna funkcije distribucije kada se promatraju tri elektrane u sustavu prikazan je u koloni 4 tabl. 2.

Opći oblik rekurzivne formule za dodavanje bilo kojeg broja elektrana jest:

$$P_n(y) = P_{n-1}(y) \cdot P_n + P_{n-1}(Z) \cdot q_n \quad \text{za } Z \geq 0$$

$$P_n(y) = P_{n-1}(y) \cdot P_n \quad \text{za } Z < 0 \quad \text{uz } Z = y - x$$

gdje je:

$y$  — snaga MW izvan pogona  
 $x$  — instalirana snaga  $n$ -te elektrane.

Tablica 2. Distribucija neplaniranih ispada

Snaga izvan pogona $X$ , MW	Vjerojatnost događaja		
	$P_1(X)$	$P_2(X)$	$P_3(X)$
0	0,80	0,64	0,576
100	0,00	0,00	0,064
200	0,20	0,32	0,288
300	0,00	0,00	0,032
400	0,00	0,04	0,036
500	0,00	0,00	0,004

Rekurzivna formula — za formiranje funkcije distribucije — koristila bi se kad bi se agregati u elektrani razlikovali po instaliranom protoku (snazi) i po vjerojatnosti ispada. Međutim, u hidroelektrani je praktički uvijek jednak protok (ista instalirana snaga) svih agregata, a vjerojatnost ispada (prema raspoloživim podacima) također je jednaka za sve agregate. Prema tome, funkcija distribucije neplaniranih ispada odvijat će se točno po binomnoj raspodjeli. Izraz za binomnu raspodjelu je:

$$B_{(n,r)} = \binom{n}{r} p^{n-r} \cdot q^r$$

gdje je:

$p$  — vjerojatnost da elektrana odnosno agregat radi (vjerojatnost sposobnosti)

$q$  — vjerojatnost da elektrana odnosno agregat ne radi (vjerojatnost ispada)

$n$  — broj agregata

$r$  — broj nesposobnih agregata.

Budući da su s faktorima  $p$  i  $q$  definirana moguća stanja (navedena prije) u kojem se može naći elektrana ili agregat, dakle radi ili ne radi, suma  $p$  i  $q$  mora biti jednaka »1« ( $p + q = 1$ ).

### Kriterij 3.10. Gubitak energije zbog remonta

Remont agregata u hidroelektranama odvija se u razdoblju malih voda, Normalno da je gubitak proizvodnje minimalan ili »0« (nula) ako su u HE ugrađena dva ili više agregata. Međutim, ugradnjom jednog agregata postoji mogućnost gubitka energije (proizvodnje), ali ako se držimo načela obavljanja remonta u periodu niskih vodostaja odnosno sušnom razdoblju, količinu vode možemo stokirati u akumulaciju pa s tog naslova ne bi bilo gubitka proizvodnje. Međutim, ako se radi o hidroelektrani koja mora ispuštati biološki minimum ugradnja jednog agregata neminovno iziskuje gubitak energije.

### Kriterij 3.11. Visina investicija za jednu, dvije ili više proizvodnih grupa

Investicijska ulaganja s porastom broja agregata u načelu rastu, premda su neki troškovi investicija neovisni o broju proizvodnih grupa. Zato je vrlo važno (koliko je to moguće) odrediti točne težine odnosno troškove izgradnje za različiti broj proizvodnih grupa. Razlika u investicijskim ulaganjima (izgradnja npr. tri proizvodne grupe u odnosu na dvije ili jednu proizvodnu grupu) mora se opravdati ili neopravdati ostalim dodatnim energetskega efektima iz prethodnih kriterija.

## 4. ENERGETSKO-EKONOMSKA ANALIZA ZA RAZLIČITI BROJ PROIZVODNIH GRUPA U HE

U prethodnoj točki navedeno je jedanaest (11) kriterija za izbor broja agregata u hidroelektranama. Ovdje treba reći, makar su navedeni pojedinačno, da ih je u konkretnom proračunu nemoguće tako promatrati, već se promatraju zajednički. Na primjer, energetskega efekt (moguća proizvodnja) računa se istodobno uz uvažavanje i stupnja djelovanja i osiguranja biološkog minimuma. Promatrajući kriterije 3.7 do 3.10, može se zaključiti da se radi uglavnom o energetskim efektima koje uz određenu cijenu goriva (alternativno rješenje) možemo pretvoriti u novčane jedinice, koje se kasnije mogu komparirati s razlikom investicijskih ulaganja. Isto tako, uz uvažavanje energetskih efekata i uključivanjem različitih varijanti izgradnje promatranog elektroenergetskog objekta u elektroenergetski sistem (svi kriteriji osim kriterija 3.1, 3.5 i 3.11) dobiju se novčane vrijednosti koje se

mogu uspoređivati s razlikom u investicijskim ulaganjima.

Na kraju, kad se dođe do novčanih vrijednosti, postoje dva pristupa proračunu:

- proračun s prosječnim godišnjim troškovima,
- proračun s aktualiziranim troškovima.

#### a) Proračun s prosječnim godišnjim troškovima

Jedan od pokazatelja rentabilnosti nekog elektroenergetskog objekta je njegova proizvodna cijena električne energije. Poznavanjem investicijske vrijednosti ( $IHE - 10^6$  d), troškovne kvote ( $QHE$ ) i godišnje proizvodnje ( $WG - GWh$ ) električne energije, mogu se odrediti stalni godišnji troškovi, a nakon toga i proizvodna cijena. Dakle,

$$\frac{IHE \cdot QHE}{WG} = PC \text{ (d/kWh)}$$

gdje je:

$IHE$  — investicijska vrijednost HE ( $10^6$  d)

$QHE$  — kvota godišnjih troškova (%/100)

$WG$  — godišnja proizvodnja električne energije (GWh)

$PC$  — proizvodna cijena na pragu elektrane (d/kWh)

Proračuna li se proizvodna cijena dodatne električne energije, dobit će se:

$$\frac{DI \cdot QHE}{DWG} = DPC$$

gdje je:

$DI$  — razlika u investicijskim ulaganjima ( $10^6$  d), npr.  $I_2 - I_1$  (dvije i jedna proizvodna grupa)

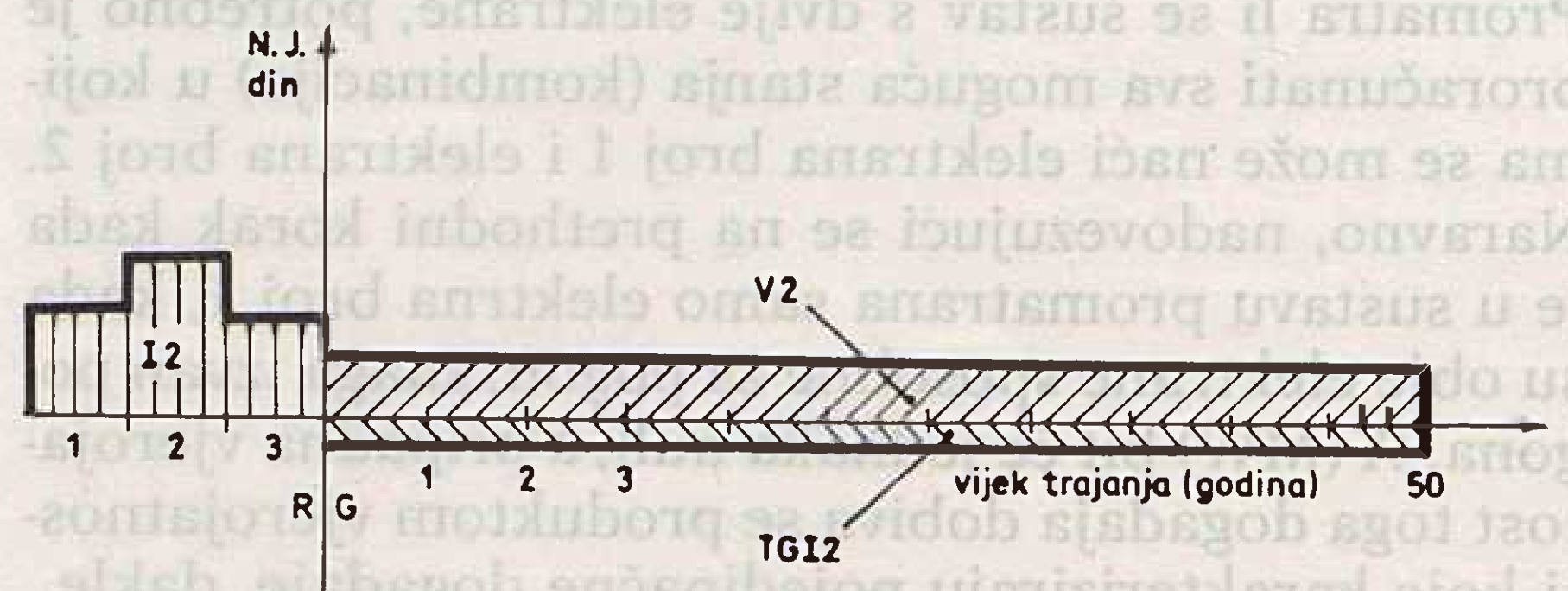
$DWG$  — analogno kao za  $I$  (razlika u godišnjoj proizvodnji) (GWh)

$DPC$  — proizvodna cijena dodatne električne energije na pragu elektrane.

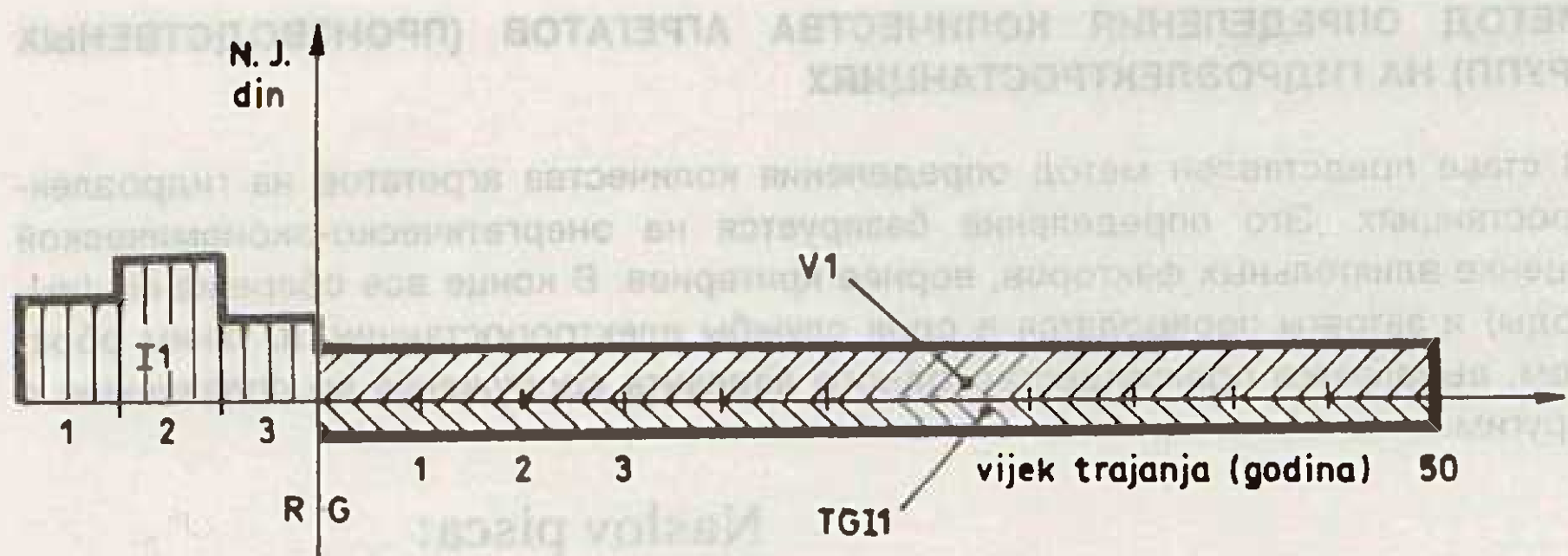
Nejednadžba  $DPC < PC$  upućuje na povoljnost, u ovom slučaju dvije nad jednom proizvodnom grupom.

#### b) Proračun s aktualiziranim troškovima

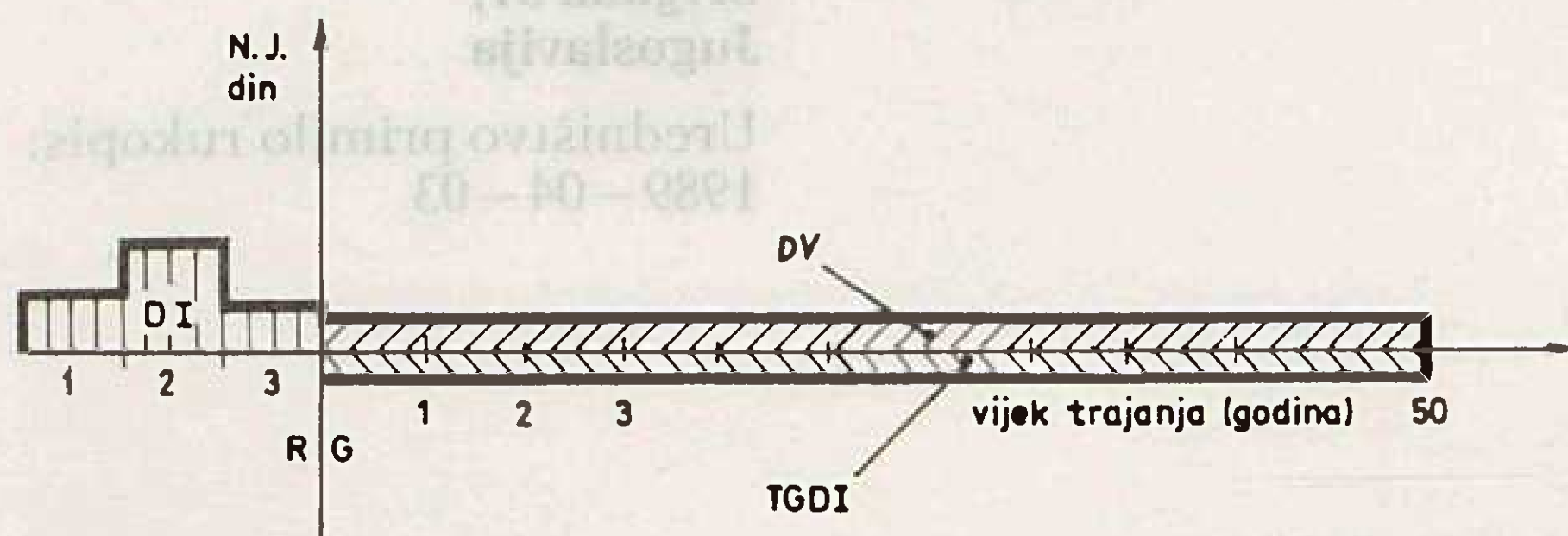
Da se provede proračun s aktualiziranim troškovima i uštedama, moguća su dva pristupa koja daju isti rezultat. Ako se promatraju npr. dva agregata, potrebno je uzeti njihovu investiciju i proizvodnju (sl. 2) (isto tako ako se promatra jedan agregat s investicijom i proizvodnjom sl. 3), gdje se od proizvodnje ostvaruje



Slika 2. Vremenski dijagram investicija i troškova za slučaj 2 agregata u HE



Slika 3. Vremenski dijagram investicija i troškova za slučaj jednog agregata u HE



Slika 4. Vremenski dijagram rasporeda razlika investicija i troškova u HE

korist ( $V_2$ ), koja je ista u svim godinama perioda eksploatacije (životni vijek agregata npr. 50 godina), a od investicija ostvaruje se godišnji trošak (tekuće održavanje, plaće i dr.) ( $TG_2$ ) (sl. 2). Svodenjem, dakle, investicija, koristi i troškova na referentnu godinu te usporedbom s drugom alternativnom (jedan agregat) dobit će se uvid u rentabilnost jednoga ili drugoga pothvata. Isti rezultat dobije se ako se proračun provede s razlikama. Na sl. 4. prikazan je vremenski dijagram, gdje  $DI$  znači razliku u investicijama,  $TGDI$  godišnje troškove od investicija i  $DV$  godišnji iznos koristi od energije (ušteda). Primjer proračuna prikazat će se po ovome drugome pristupu uz sljedeće oznake:

razlika u investicijama	— $DI$ ( $10^6$ d)
ukupna razlika u proizvodnji cijena proizvodnje (energije)	— $DWG$ (GWh)
diskontna stopa	— $ds$ (%)
stopa stalnih troškova (održavanje)	— $SSO$ (%)

Sadašnja (aktualizirana) vrijednost računa se prema sljedećem izrazu:

$$SV = DV \frac{(1 + ds)^{n-1}}{ds(1 + ds)^n}$$

gdje je:

$SV$  — sadašnja novčana vrijednost ( $10^6$  d)

$DV$  — novčana vrijednost energije ( $10^6$  d —  $DWG \cdot C$ )

$ds$  — stopa aktualizacije (diskontna stopa)

$n$  — broj godina eksploatacije (50 godina).

Godišnji troškovi tekućeg održavanja iznose:

$$TGDI = DI \cdot SSO / 100,$$

dok se ukupne aktualizirane koristi mogu izračunati iz ovog izraza:

$$AK = \frac{(1 + ds)^n - 1}{ds(1 + ds)^n} (DV - TGDI) - \sum_{m=1}^m \frac{I_m (1 + ds)^m}{(1 + ds)^m}$$

gdje je:

$AK$  — ukupna aktualizirana korist (ušteda) ( $10^6$  d)

$\sum_{m=1}^m I_m (1 + ds)^m$  — svodenje razlika investicija na referentnu godinu

$m$  — broj godina izgradnje promatrane hidroelektrane.

Vremenski dijagrami koristi i ušteta prikazani su na sl. 2. do sl. 4.

Uvrštavanjem brojčanih vrijednosti u prethodni izraz izračuna se aktualizirana vrijednost svih koristi i troškova. Ako je  $AK$  (aktualizirana ili sadašnja vrijednost) veća od »0«, isplativo je ići na veći broj proizvodnih grupa. Obrnuto, ako je  $AK < 0$ , nema energetske-ekonomskog opravdanja ići na veći broj proizvodnih grupa u promatranoj hidroelektrani.

## 5. ZAKLJUČAK

U članku je prikazan nov i suvremen postupak kojim se određuje najpovoljniji broj proizvodnih grupa u hidroelektrani (broj agregata). Navedeni postupak zahtijeva opsežnu kvalitetnu i sveobuhvatnu analizu kako prilika u elektroenergetskom sistemu, tako i same hidroelektrane kao dijela toga sistema. Vrlo važno je odrediti ulogu, značenje i doprinos promatranog elektroenergetskog objekta (različitih varijanti) u elektroenergetskom sistemu, a zatim ekonomskim postupcima valorizirati pojedinu promatranu varijantu izgradnje, naravno u cijelom vijeku eksploatacije.

## LITERATURA

- [1] H. POŽAR: »Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima« (prvi i drugi svezak), Informator, Zagreb, 1983. i 1985.
- [2] K. BEGOVIĆ: »Hidroenergetska postrojenja — Uvod u probleme izbora opreme«, DELIT, Sisak, 1986.
- [3] S. ALERIĆ: »Simulacijski model za određivanje troškova goriva« termoelektrana u elektroenergetskom sustavu«, Elektrotehnički fakultet Zagreb, 1979. (Magistarski rad)
- [4] D. S. JOY, R. T. JENKINS: »A probabilistic model for estimating the operating cost of an electric power generating system«, OAK Ridge National Laboratory, 1978.
- [5] I. PAVLIĆ: »Statistička teorija i primjena«, Panorama, Zagreb, 1965.
- [6] S. ALERIĆ, N. BILČAR, N. KOMERIČKI, I. POSAVEC: »Izbor veličine izgradnje i broja agregata u HE Tisne Stine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1987.
- [7] D. HORVAT: »Vodne turbine«, knjiga I, drugo izdanje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1965.

**A METHOD FOR CHOICE OF PRODUCTION GROUPS IN HPP'S**

In the article is presented a method for choice of production groups in HPP's. The method is based on some energy-economy related criteria with cost benefit calculation for plant design life. A list of preferred solutions is presented as a result.

**METHODE FÜR DIE WAHL DER ZAHL DER AGGREGATE (HERSTELLUNGSGRUPPEN) IN DEN WASSERKRAFTWERKEN**

Hier beschreibt man die Methode mit der man die Zahl der Aggregate bei Wasserkraftwerken bestimmt. Diese Auswahl basiert auf einigen einflußreichen Faktoren bzw. Kriterien die energetisch — wirtschaftlich bewertet werden. Am Ende werden alle Einsparungen (Nutzen) und Ausgaben aktualisiert während der Lebensdauer des Kraftwerkes, so daß man die Vorteile einer Variante im Vergleich zur anderen leicht erschließen kann.

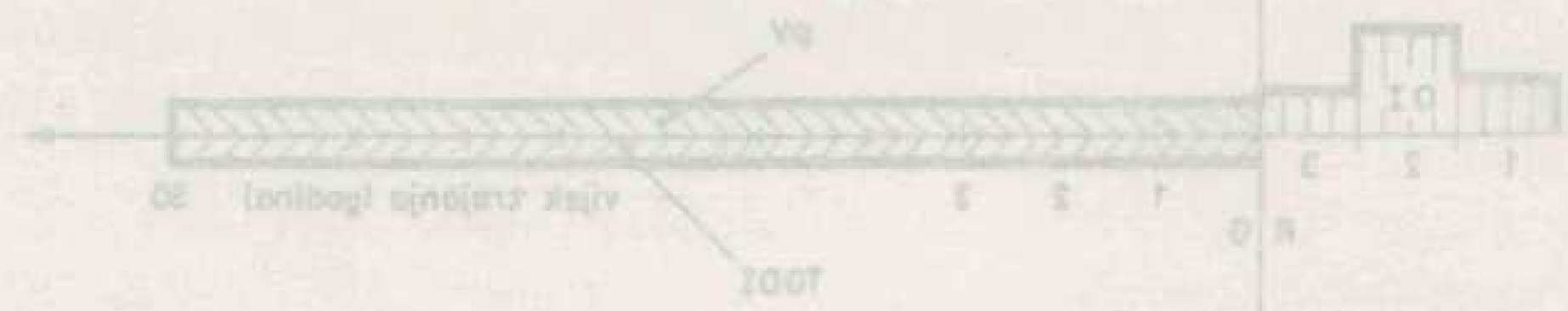
**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА АГРЕГАТОВ (ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ГРУПП) НА ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ**

В статье представлен метод определения количества агрегатов на гидроэлектростанциях. Это определение базируется на энергетическо-экономической оценке влиятельных факторов, вернее критериев. В конце все сбережения (выгоды) и затраты переводятся в срок службы электростанции, и таким образом, выявляется преимущество одного варианта сооружения по сравнению с другим.

Naslov pisca:

**Mr. Slavko Alerić, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb, Proleterskih**  
**brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1989 – 04 – 03



Sl. 4. Vremenski dijagram rasporeda težišta investicija i troškova u HE

korist (V2), koja je ista u svim godinama perioda eksploatacije (životni vijek agregata npr. 50 godina), a od investicija ostvaruje se godišnji trošak (tekuće održavanje, plaće i dr.) (TGD) (sl. 2). Svodenjem, dakle, investicija, koristi i troškova na referentnu godinu te usporedbom s drugim alternativnom (jedan agregat) dobije se uvid u rentabilnost jednog ili drugog zahtjeva. Isti rezultat dobije se ako se proračun provede s težištima. Na sl. 4. prikazan je vremenski dijagram gdje V1 znači težište u investicijama, TGD godišnje troškove od investicija i DV godišnji iznos koristi od energije (uštede). Pristup proračuna prikazan će se po ovome drugome pristupu uz sljedeće oznake:

- V1 (10<sup>6</sup> d) — težište u investicijama
- DWG (GWh) — ukupna težište u proizvodnji
- C (d/kWh) — cijena proizvodnje (energije)
- ds (%) — diskontna stopa
- SSO (%) — stopa stalnih troškova (održavanje)

Sadašnja (aktualizirana) vrijednost računa se prema sljedećem izrazu:

$$SV = DV \frac{(1 + ds)^n - 1}{ds(1 + ds)^n}$$

- gdje je:
- SV — sadašnja novčana vrijednost (10<sup>6</sup> d)
  - DV — novčana vrijednost energije (10<sup>6</sup> d)
  - DWG — stopa aktualizacije (diskontna stopa)
  - ds — stopa aktualizacije (diskontna stopa)
  - n — broj godina eksploatacije (50 godina)

Godišnji troškovi tekućeg održavanja iznose:

$$TGD = DV \cdot SSO / 100$$

dok se ukupne aktualizirane koristi mogu izračunati iz ovog izraza:

$$AK = \frac{(1 + ds)^m - 1}{ds(1 + ds)^m} (DV - TGD) - \frac{1}{ds(1 + ds)^m}$$

- gdje je:
- AK — ukupna aktualizirana korist (isteds) (10<sup>6</sup> d)

LITERATURA

[1] H. POZAR: «Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima» (prvi i drugi svezak), Informator, Zagreb, 1983.

[2] K. BEGOVIĆ: «Hidroenergetski postrojenja — Uvod u probleme izbora opreme», DELO, Sisak, 1986.

[3] S. ALERIĆ: «Simulacijski model za određivanje troškova goriva» termoelektrana u elektroenergetskom sustavu, Elektrotehnički fakultet Zagreb, 1979. (Magistarski rad)

[4] D. S. JOY, R. T. JENKINS: «A probabilistic model for estimating the operating cost of an electric power generating system», OAK Ridge National Laboratory, 1978.

[5] I. PAVLIĆ: «Statistička teorija i primjena», Panorama, Zagreb, 1965.

[6] S. ALERIĆ, N. BILČAR, N. KOMERIČKI I FOŠA VEC: «Izbor veličine izgradnje i broja agregata u HE Tisne Stine», Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1987.

[7] D. HORVAT: «Vodne turbine», knjiga I, drugo izdanje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1965.

# MOGUĆNOSTI REVITALIZACIJE TERMoeLEKTRANA U SR HRVATSKOJ

Mr. Vladimir Potočnik, Zagreb

UDK 621.311.22

PRETHODNO PRIOPĆENJE

U članku se daje pregled termoelektrana SR Hrvatske s osnovnim karakteristikama i razmatraju efekti revitalizacije termoelektrana s osvrtom na njenu ekonomičnost.

**Glavne riječi:** termoelektrane, revitalizacija — obnova.

## 1. UVOD

U novije vrijeme revitalizacija starijih energetske objekata, uključivši i termoelektrane, postala je interesantna u razvijenim zemljama, a i kod nas.

Termoelektrane na fosilna goriva uobičajeno su se planirale za pretpostavljeni vijek trajanja od 25 do 30 godina. Nakon toga očekivalo se da će biti nadomještene novim jedinicama, koje bi trebale pokrivati porast opterećenja, a ujedno i proizvesti jeftiniju energiju. Ta očekivanja se zbog nižeg porasta opterećenja, visokih kamata, porasta troškova izgradnje i nezvjesne zakonske regulative nisu ispunila. Zbog toga raste prosječna starost postojećih termoelektrana i elektroprivreda se interesira za produženje vijeka trajanja postrojenja na 50–60 godina ili više.

Istraživanja koja je EPRI provela u SAD pokazale su da je produženje vijeka trajanja starijih termoelektrana u mnogim slučajevima ekonomičnije od izgradnje novih, jer se gotovo redovito radi o znatno nižim investicijama (2 do 4 puta, pa i više) po jedinici snage [1]. Stoga je revitalizacija starih termoelektrana postala jedna od strateških mjera za zadovoljavanje porasta konzuma, pored izgradnje novih elektra i nabave energije, koje mnoge elektroprivredne organizacije u SAD i drugdje ozbiljno razmatraju.

U SR Hrvatskoj je u 8 termoelektrana instalirano 17 blokova ukupne nominalne snage oko 1 300 MW, u izgradnji je još jedan blok snage 210 MW, a u industrijskim energanama je instalirano oko 26 turboagregata ukupne snage oko 260 MW. U tablici 1. prikazan je broj i snaga blokova termoelektrana SR Hrvatske starijih od 20 godina u 1990. odnosno 2000. godini. Kao što se vidi, trenutno ima 5 blokova snage 375 MW kandidata za revitalizaciju, a do 2000. godine te brojke će narasti na 16 blokova snage 1 250 MW.

Odluka o revitalizaciji zasniva se uglavnom na ekonomskim razlozima (niža cijena energije). Neki od odlučujućih faktora su pritom granice rezervi, pretkazivanje porasta opterećenja, financijske okolnosti, goriva i starost.

**Tablica 1. Broj blokova termoelektrana SR Hrvatske starijih od 20 godina**

Snaga bloka (MW)	Broj blokova		Ukupna snaga (MW)	
	1990.	2000.	1990.	2000.
< 100	3	11	40	265
100 – 200	1	2	125	245
200 – 300	1	2	210	420
> 300	—	1	—	320
Ukupno	5	16	375	1 250

U sklopu revitalizacije obuhvaćene su i mjere modernizacije radi povećanja pouzdanosti i ekonomičnosti blokova, kao npr. pretvaranje kondenzacionih blokova u toplifikacijske, osiguranje dovoljnih količina ili zamjena goriva itd.

## 2. PREGLED TERMoeLEKTRANA U SR HRVATSKOJ

Pod termoelektranama u širem smislu podrazumijevaju se:

- TE: termoelektrane s kondezacionim parnim turbinama
- TE-TO: termoelektrane-toplane s kondezacijsko-oduzimnim ili protutlačnim turbinama, uključivši industrijske TE-TO (energane)
- PTE: plinsko-turbinske termoelektrane
- KTE: kombi termoelektrane s plinskoturbinskim i partnoturbinskim agregatima
- NE: nuklearne elektrane.

Trenutna slika elektroenergetskih kapaciteta SR Hrvatske prikazana je u tablici 2. Vrijednosti proizvodnje i korištenja za 1987. godinu su orijentacijske, kao i podaci za industrijske energane.

Kao što se vidi iz tablice 2, termoelektrane na tekuće i plinovito gorivo su se vrlo malo koristile, što pokazuje i slika 1 [2].

mi [1, 3, 5] koji se baziraju na pogonskim podacima i ispitivanjima.

U SR Hrvatskoj, kao i drugdje, i dosada su bile prisutne određene aktivnosti na revitalizaciji termoelektrana [1, 4], a u toku su i planovi za daljnje aktivnosti.

Stanje u pojedinim termoelektranama je sljedeće:

### 3.3.1. TE Sisak

Snižen je tehnički minimum na bloku 1, a isto se planira i na bloku 2. Planirani su i djelomično provedeni zahvati rekonstrukcije na kotlu bloka 1 da bi se produžio vijek trajanja [6]. Dosada je blok 1 radio oko 90 000 sati, a projektni vijek trajanja je 100 000 sati.

### 3.3.2. TE Rijeka

U početnoj je fazi planiranje dovoda zemnog plina iz jadranskog podmorja da bi se omogućilo povećanje korištenja raspoloživog kapaciteta.

### 3.3.3. TE-TO Zagreb

Osim brojnih zahvata rekonstrukcije na kotlovima bloka 1 i 2, rekonstruirana je i turbina bloka 2 iz oduzimno-kondezacione u oduzimno-protutlačnu zbog povećanja ekonomičnosti. Na bloku 3 se planira dodavanje oduzimanja tehnološke pare zbog povećanja ekonomičnosti i korištenja instalirane snage.

### 3.3.4. EL-TO Zagreb

Budući da se tu radi o relativno novijim blokovima, dobro koncipiranim, nije bilo nekih značajnijih zahvata.

### 3.3.5. TE-TO Osijek

Radi se o novijem bloku, koji se nažalost zbog prethodno spomenutih razloga vrlo skromno koristi.

### 3.3.6. KTE Jertovec

Ova elektrana je 1973/74. rekonstruirana na mazut, a 1975. pretvorena u kombi TE dodavanjem plinsko-turbinskih agregata s ispušnim kotlovima. S obzirom na cijene i raspoloživost tekućih i plinovitih goriva njezino korištenje je vrlo skromno (od 1976 do 1987. prosječno 7,5% godišnje). Kako se planira ponovno korištenje zagorskih ugljena na toj lokaciji, razmatraju se i mogućnosti revitalizacije postojeće elektrane primjenom izgaranja ugljena u lebdećem sloju ili rasplinjavanja ugljena.

### 3.3.7. PTE Osijek

Iz navedenih razloga ta elektrana se vrlo malo koristila, tako da je tu revitalizacija nužna. Moguće rješenje je pretvaranje u kombi-elektoranu uz osiguranje dovoljnih količina plina.

### 3.3.8. TE Plomin

U TE Plomin, s više od 90 000 pogonskih sati, izvedene su brojne rekonstrukcije na kotlovskom postrojenju sa ciljem prilagođavanja neadekvatnog kotla specifičnostima istarskog kamenog ugljena s niskim talištem šljake i mnogo sumpora. Rekonstruirano je i turbinsko postrojenje (ležajevi, ST-kućište, brtveni sistem). Usprkos time zahtvima snaga bloka ostaje snižena za oko 20% ispod nominalne snage. Planirani su i novi zahvati, npr. priključivanje na odsumporavanje dimnih plinova u okviru bloka 2, koji je u izgradnji, a razmatra se i mogućnost rekonstrukcije kotla na loženje plinom.

## 3.4. Ekonomičnost revitalizacije

Ekonomičnost revitalizacije neke stare termoelektrane u usporedbi s izgradnjom novog objekta može se u prvom koraku približno procijeniti metodom usporedbe troškova, odnosno cijene energije [7].

Općenito su godišnji troškovi proizvodnje energije:

$$T = T_s + T_p \quad |d/g| \quad (1)$$

gdje su:

$T_s$  — stalni troškovi

$T_p$  — promjenjivi troškovi.

Cijena proizvedene energije iznosi:

$$C = \frac{T}{E} \quad |d/kWh| \quad (2)$$

gdje je:

$E$  |kWh/g| — godišnja proizvodnja energije.

Uvođenjem odgovarajućih izraza dobivamo:

$$C = \frac{I_{sp} \cdot q}{t_N} + f \cdot C_g \cdot W \quad (3)$$

$$C = C_s + C_p \quad (4)$$

Značenje pojedinih članova:

$I_{sp}$  |d/kW| — specifična investicija

$q$  |1/g| — godišnja troškovna kvota

$t_N$  |h/g| — godišnje korištenje snage

$f$  |—| — faktor ostalih promjenjivih troškova

$C_g$  |din/MJ| — cijena goriva na pragu TE

$W$  |MJ/kWh| — specifični potrošak topline goriva

$C_s$  |din/kWh| — udio stalnih troškova u cijeni energije

$C_p$  |din/kWh| — udio promjenjivih troškova u cijeni energije.

Označimo li s indeksom »o« sve veličine novog objekta, a s indeksom »r« veličine revitaliziranog objekta dobijamo:

$$C_o = \frac{I_{spo} \cdot q_o}{t_{No}} + f_o \cdot C_{go} \cdot W_o \quad (5)$$

$$C_r = \frac{I_{spr} \cdot q_r}{t_{Nr}} + f_r \cdot C_{gr} \cdot W_r \quad (6)$$

Razlika cijena energije

$$\Delta C = C_o - C_r \quad (7)$$

Za:

$\Delta C > 0$  revitalizacija se isplati

$\Delta C < 0$  revitalizacija se ne isplati.

## Primjer

Usporedba nove TE snage 300 MW na ugljen s revitaliziranom TE snage 200 MW na mazut i plin.

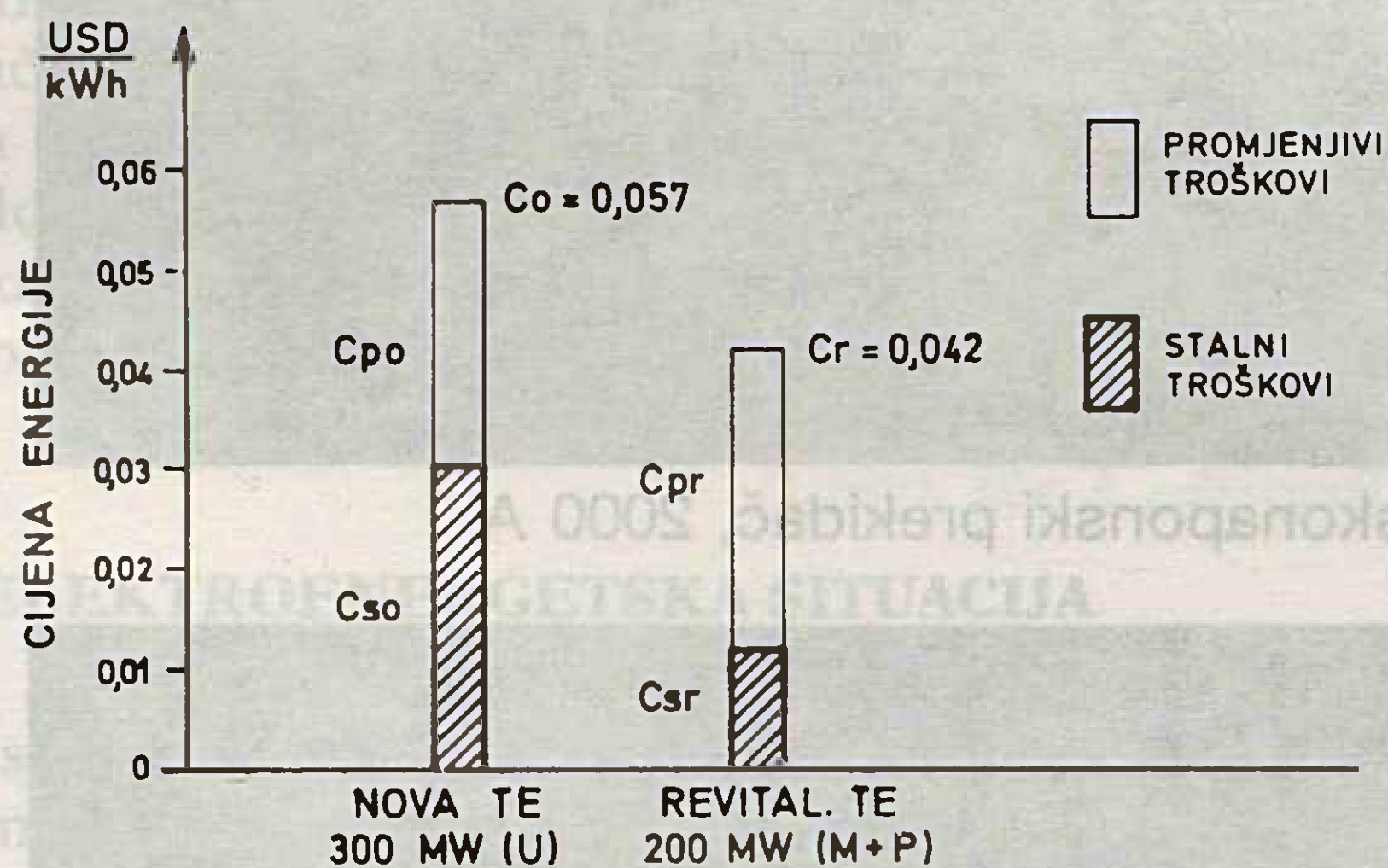
U tablici 4. dane su pretpostavljene vrijednosti osnovnih parametara izraza [5] i [6], te cijene energije kao rezultat proračuna.

**Tablica 4. Vrijednosti parametara za usporedbu nove i revitalizirane TE (primjer)**

Parametar	Nova TE 300 MW (U)	Revitalizirano TE 200 MW (M + P)
Specifična investicija (USD/kW)	$I_{spo} = 1200$	$I_{spr} = 300$
Godišnja troškovna kvota (1/g)	$q_o = 0,15$	$g_r = 0,2$
Godišnje korištenje snage (h/g)	$t_{No} = 6000$	$t_{Nr} = 5000$
Faktor ostalih promjenjivih troškova (—)	$f_o = 1,05$	$f_r = 1,05$
Cijena goriva na pragu TE (USD/MJ)	$C_{go} = 0,0022$	$C_{gr} = 0,003$
Specifični potrošak topline (MJ/kWh)	$W_o = 11,5$	$W_r = 9,5$
Cijena energije (USD/kWh)	$C_o = 0,057$	$C_r = 0,042$

S obzirom na visoku inflaciju naše valute usporedba je provedena u američkim dolarima.

Rezultati usporedbe odnosno cijene energije nove i revitalizirane TE prikazani su na slici 4.



**Slika 4. Usporedba cijene energije nove i revitalizirane TE (primjer)**

Kao što se vidi iz slike 4, u ovom konkretnom primjeru revitalizacija postojeće TE se isplati jer daje nižu cijenu energije u odnosu na novu TE. U slučaju revitalizacije s pretvaranjem kondenzacijskog bloka u toplifikacijski mogu se postići i bolji rezultati.

## 4. ZAKLJUČAK

Revitalizacija termoelektrana u širem smislu obuhvaća produženje vijeka trajanja starijih termoelektrana, njihovu modernizaciju i povećanje ekonomičnosti te povećanje korištenja.

S obzirom na slabo korištenje termoelektrana na tekuće i plinovito gorivo, kao i na pad cijena tekućih goriva na svjetskom tržištu od 1986. godine, jedan od

važnih zadataka revitalizacije termoelektrana u SR Hrvatskoj je i osiguranje većih količina tekućih i plinovitih goriva za rad termoelektrana.

U našim uvjetima visoke inflacije revitalizacija termoelektrana ukazuje se kao povoljna alternativa izgradnji određenih novih elektrana.

## LITERATURA

- [1] R. B. DOLEY, J. D. BYRON: »Lebensdauerverlängerung von fossilbefeuerten Kraftwerken«, VGB Kraftwerkstechnik, 8/1987.
- [2] A. ČESAREVIĆ: »Pristup i potrebe produženja radnog veka termoelektrana u Jugoslaviji«, JUGEL 8. Savjetovanje o termoelektranama, Opatija 10, 1988.
- [3] B. STANIŠA, R. AKŠAMIJA: »Povećanje ekonomičnosti i produženje vijeka trajanja parnih turbina u eksploataciji«, Kongres o energiji, Opatija, 04. 1988.
- [4] V. POTOČNIK: »Reenergetizacija starih parnih termoelektrana«, Energija 24 (1975), 9–10
- [5] H. MARTENS, G. PRANTL, A. ROSSELET, P. SCHLEPP: »Lifetime predictions are improved by residual life analysis, Modern Power Systems, 03. 1987.
- [6] Z. PLETIKOSIĆ: »Stanje materijala strojarske opreme i revitalizacija bloka 1 TE Sisak«, JUGEL 8. savjetovanje o termoelektranama, Opatija 10. 1988.
- [7] TAG — Technical Assessment Guide, EPRI Palo Alto, USA, Special Report, May 1982.

## SOME POSSIBILITIES FOR TPP'S REVITALISATION IN SR CROATIA

In the article is presented a review of TPP's in SR Croatia with technical characteristics as well as discussion about TPP's revitalisation in relation to investment policy.

## MÖGLICHKEITEN DER REVITALISIERUNG DER WÄRMEDIAKTWERKE IN DER SR CROATIEN

Im Artikel gibt man eine Übersicht der Wärmekraftwerke mit ihren Grundcharakteristiken. Man bespricht die Effekte der Revitalisierung der Wärmekraftwerke mit einem Rückblick auf ihre Wirtschaftlichkeit.

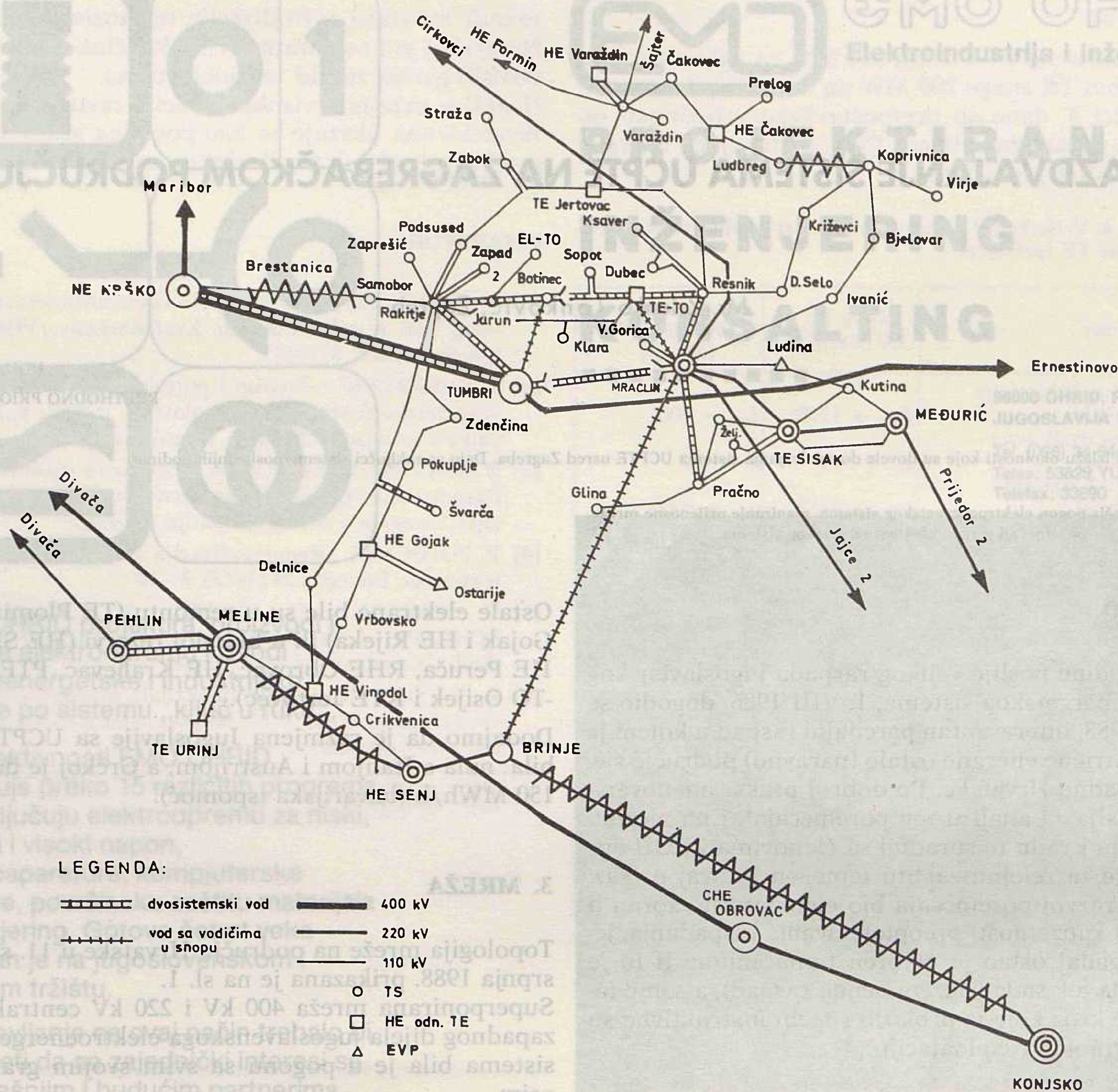
## ВОЗМОЖНОСТИ ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В СР ХОРВАТИИ

В статье приводится обозрение тепловых электростанций СР Хорватии с основными характеристиками и рассматривается эффект возобновления электростанций с учетом его экономичности.

Naslov pisca:

**Mr. Vladimir Potočnik, dipl. inž.**  
Elektroprojekt, 41000 Zagreb,  
Proleterskih brigada 37,  
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:  
1989–04–06



Slika 1. Dio prijenosne mreže Hrvatske, 6. VII. 1988.

#### 4. SLIJED GLAVNIH DOGAĐAJA

Koristiti ćemo kratice KRd za Kronološku registraciju događaja i LD za Listu događaja. Oznaka vremena znači sat: minuta: sekunda: milisekunda. Glavni događaji mogu se pratiti na registriranim veličinama na vodovima iz RTP Divača prema Melini (sl. 2) i Redipugli (sl. 3) te Pehlinu (sl. 4) i Padricianu (sl. 5). Na sl. 6. dana je razmjena sa Austrijom. Na sl. 7 je registracija tokova djelatne i jalove snage na vodu Cirkovce-Mraclin. Konačno, na sl. 8. su djelatna i jalova snaga registrirani na generatoru NE Krško, kao i frekvencija sistema. Sva ova dokumentacija je iz EGS-a.

Zbog ispitivanja na DV 400 kV Krško-Maribor dana je, poslije posebne provjere i pripreme i po uobičajenoj proceduri, suglasnost za njegovo isključenje i vod je u 10:19 iskopčan (vrijeme EGS). Prosječno je prenosio u tom 11. satu oko 500 MW. Nastali deficit slovenskog dijela sistema podmiruje se iz Mraclina, Melina/Pehlina i UCPTe. Desetak minuta prije njegova isključenja u Hrvatskoj je smanjena proizvodnja da

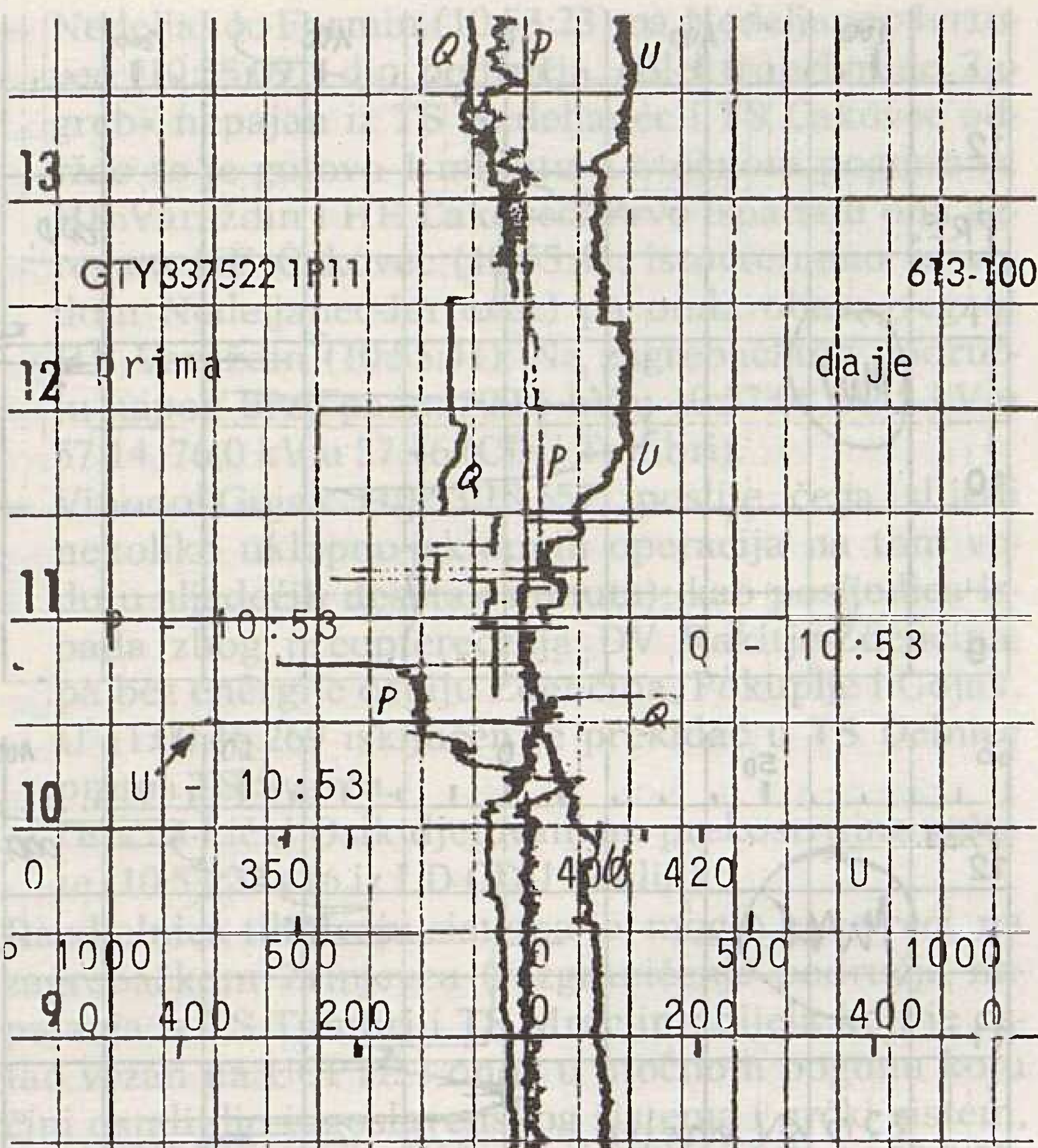
bude što mekši udar snage iz NE Krško (također smanjene), a zatim je postupno vraćana na planirano angažiranje.

Na zagrebačkom području rad NE Krško praktički na TS Tumbri opterećuje vodove evakuacije (Botinec, Rakitje; 10:20:32) i petlju 110 kV Rakitje ... Jertovec ... Resnik: energija se prenosi iz područja Tumbra u područje Mraclina jedinom mogućom stazom (podsjetimo da je mreža sekcionirana). Zbog rasterećenja iskopčan je DV 110 kV Resnik-Jertovec (u 10:48 po lokalnom vremenu, a desetak minuta kasnije ponovno je uključen). Visoko se opterećuje i DV 110 kV Nedeljanec-Formin (118 MW u 10:48:53), a u mreži 220 kV DV Mostar-Zakučac (275 MW u 10:23:32).

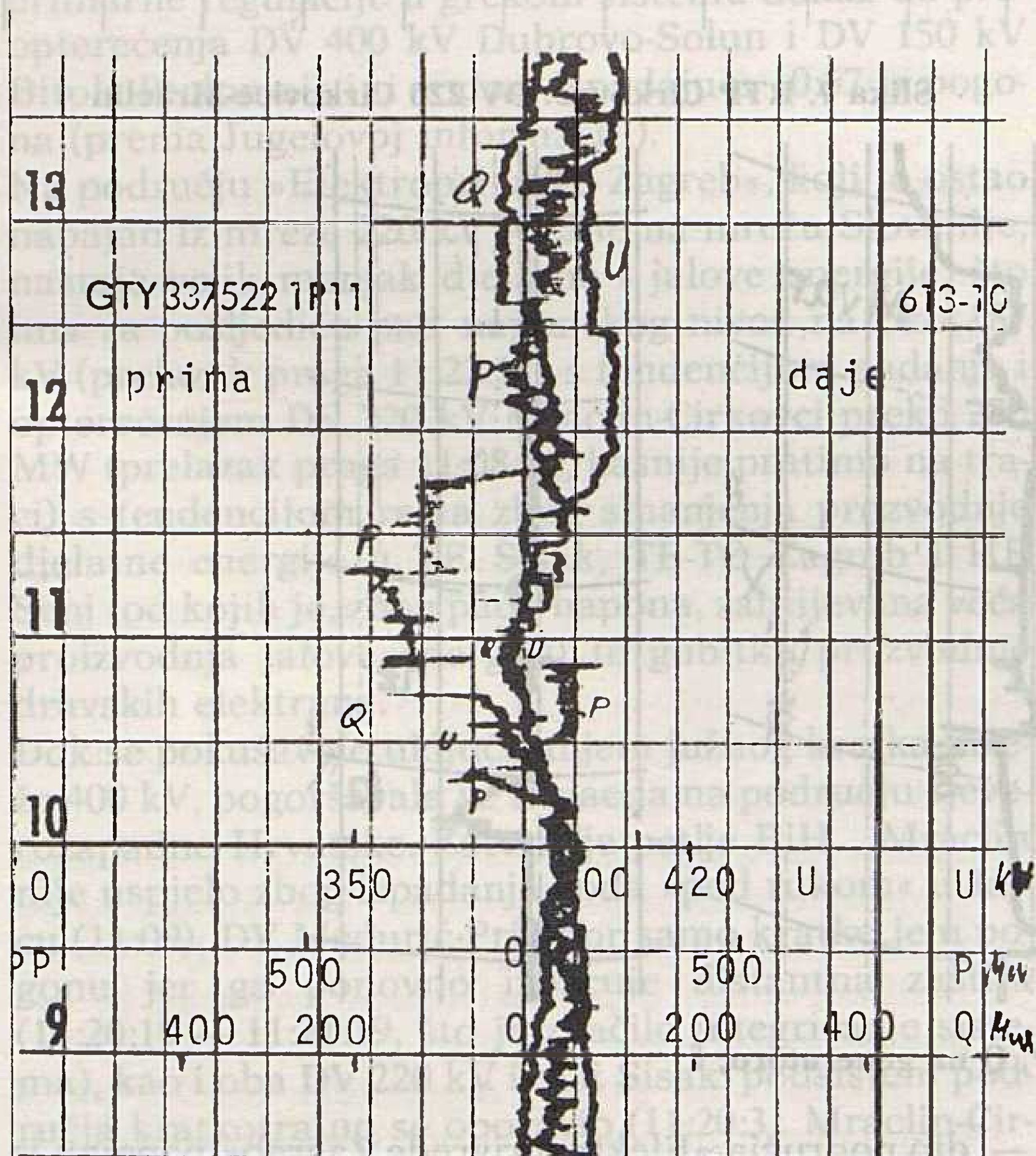
Iskapčanjem DV Krško-Maribor tokovi snaga se raspodijele na raspoložive vodove: dijelom na južnu trasu po 400 kV a dijelom na pravac 220 kV BiH ... Mraclin-Cirkovci. Nema indikacija o bilo kakvim pogonskim poteškoćama.

U 10:49:39 obostrano je ispao djelovanjem distantne zaštite DV 220 kV Prijedor-Međurić, a njegov teret preuzima, prema dosadašnjim iskustvima, električki



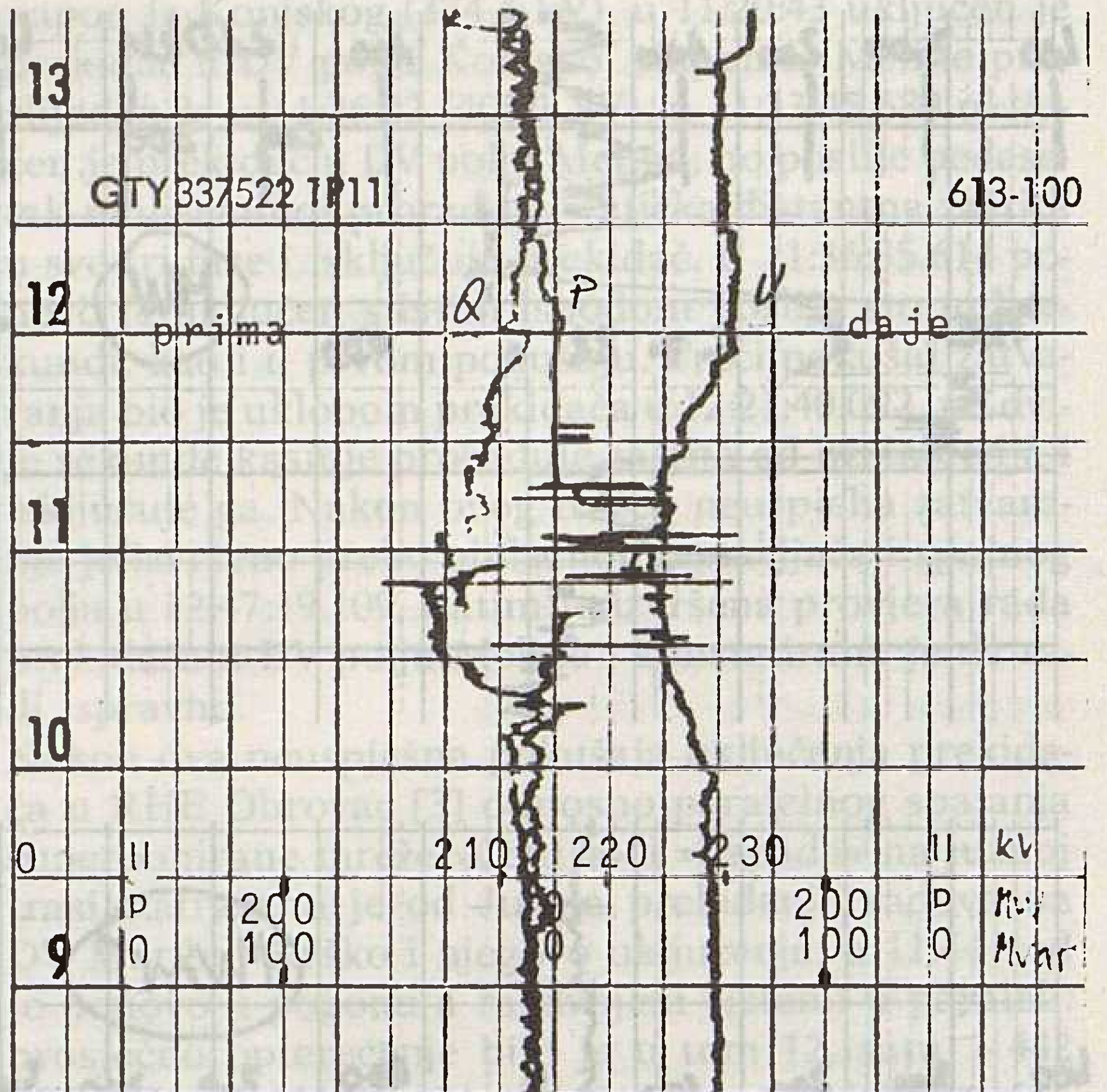


Slika 2. RTP Divača: DU 400 kV Divača-Melina

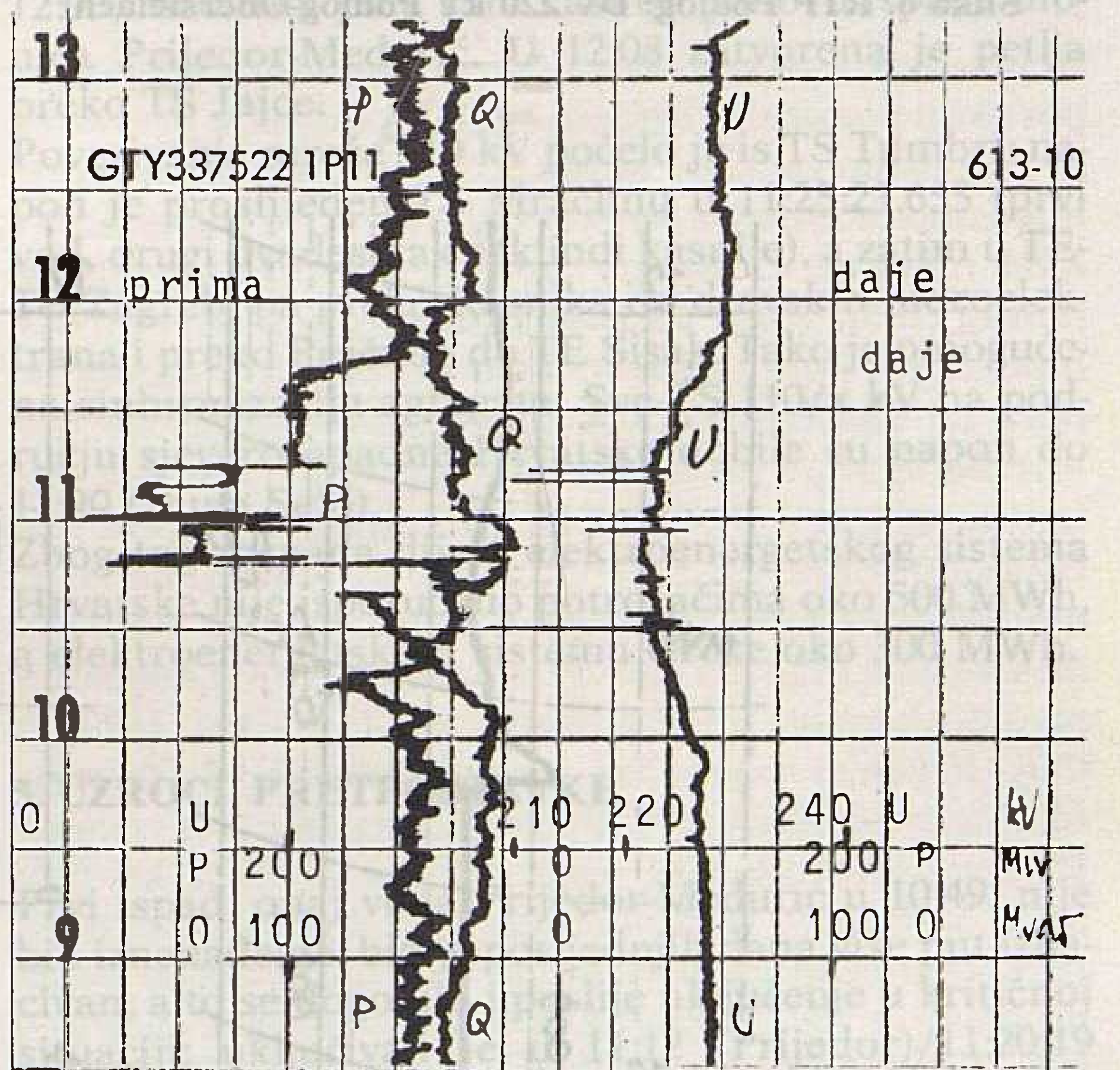


Slika 3. RTP Divača: DV 400 kV Divača-Redipuglia

paralelni DV 220 kV Jajce-Mraclin. U 11. satu zabilježena je snaga na vodu Prijedor-Međurić 63 MWh/h, –46 Mvarh/h. Nemamo nikavih registracija s interkonektivnih dalekovoda »Centar« – »Zapad« pa ne možemo kvantificirati trenutne veličine prijenosa. Na DV 110 kV Našice-Podravska Slatina signal opterećenja pojavljuje se u 10:49:43 (550 A, 5 s; podatak »Elektroslavonije«). U RHE Obrovac napon pada na



Slika 4. RTP Divača: DV 220 kV Divača-Pehlin



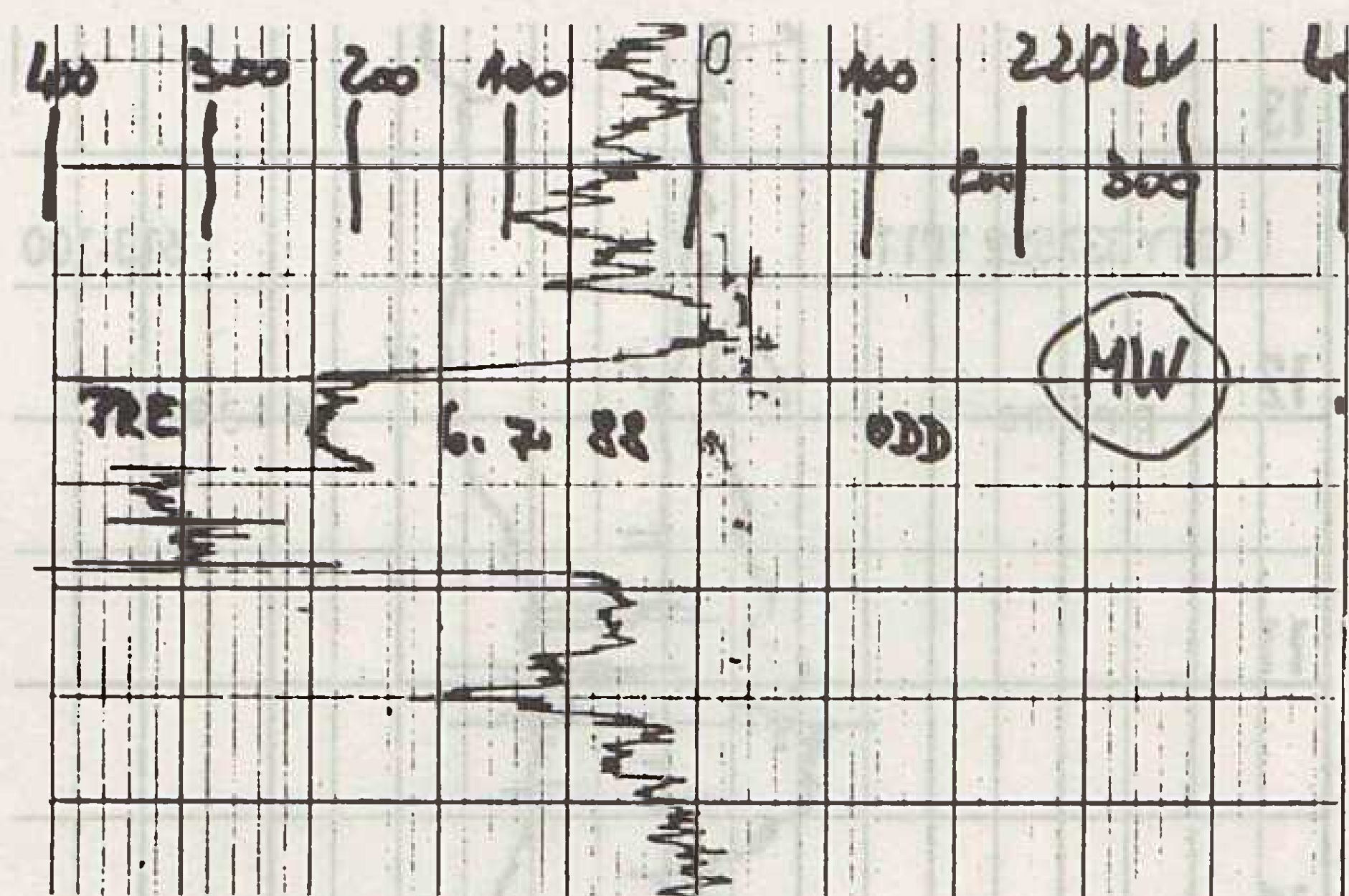
Slika 5. RTP Divača: DV 220 kV Divača-Pedriciano

380 kV (10:49:34 prema korigiranom vremenu iz LD CDU Vrboran).

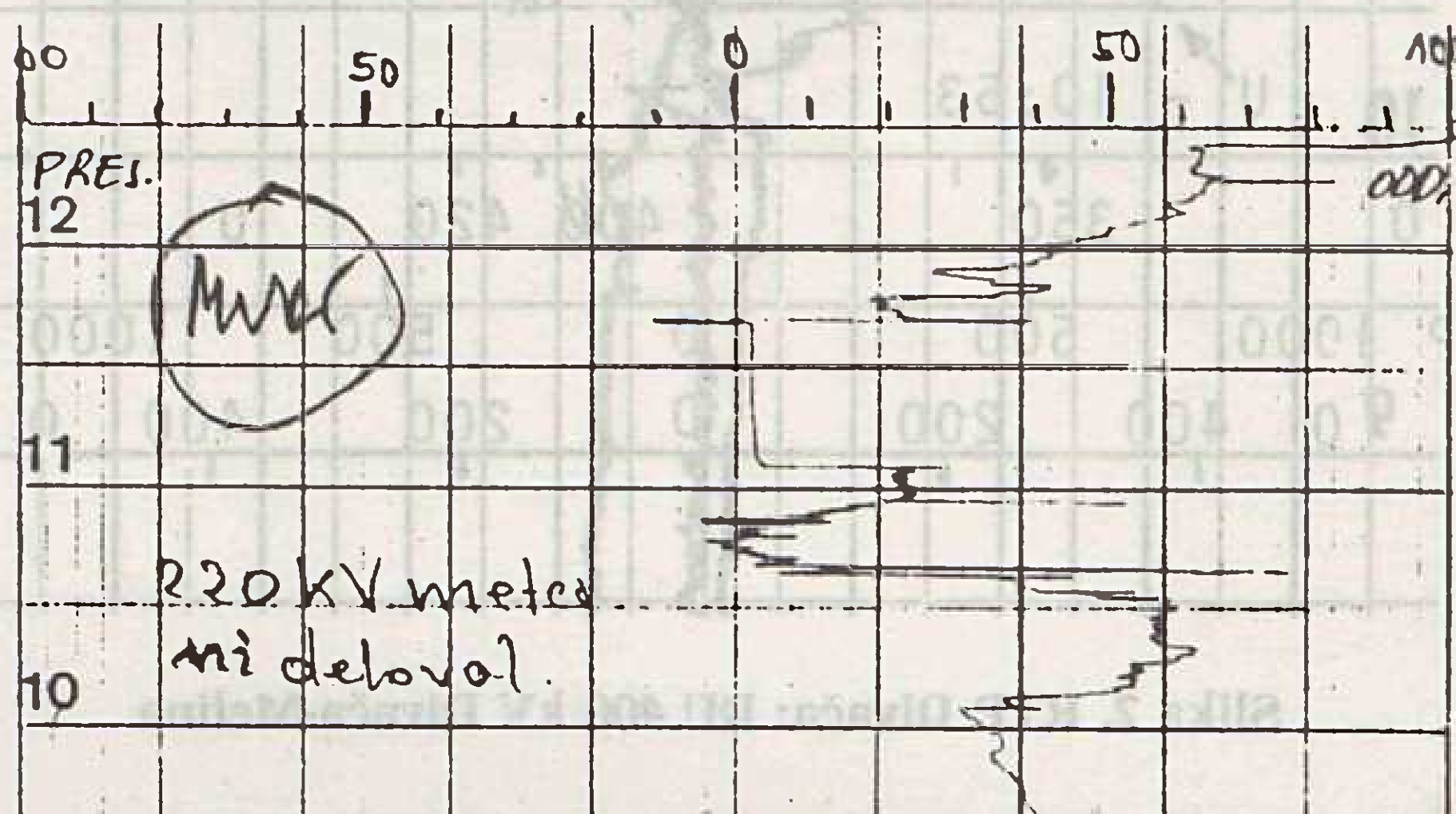
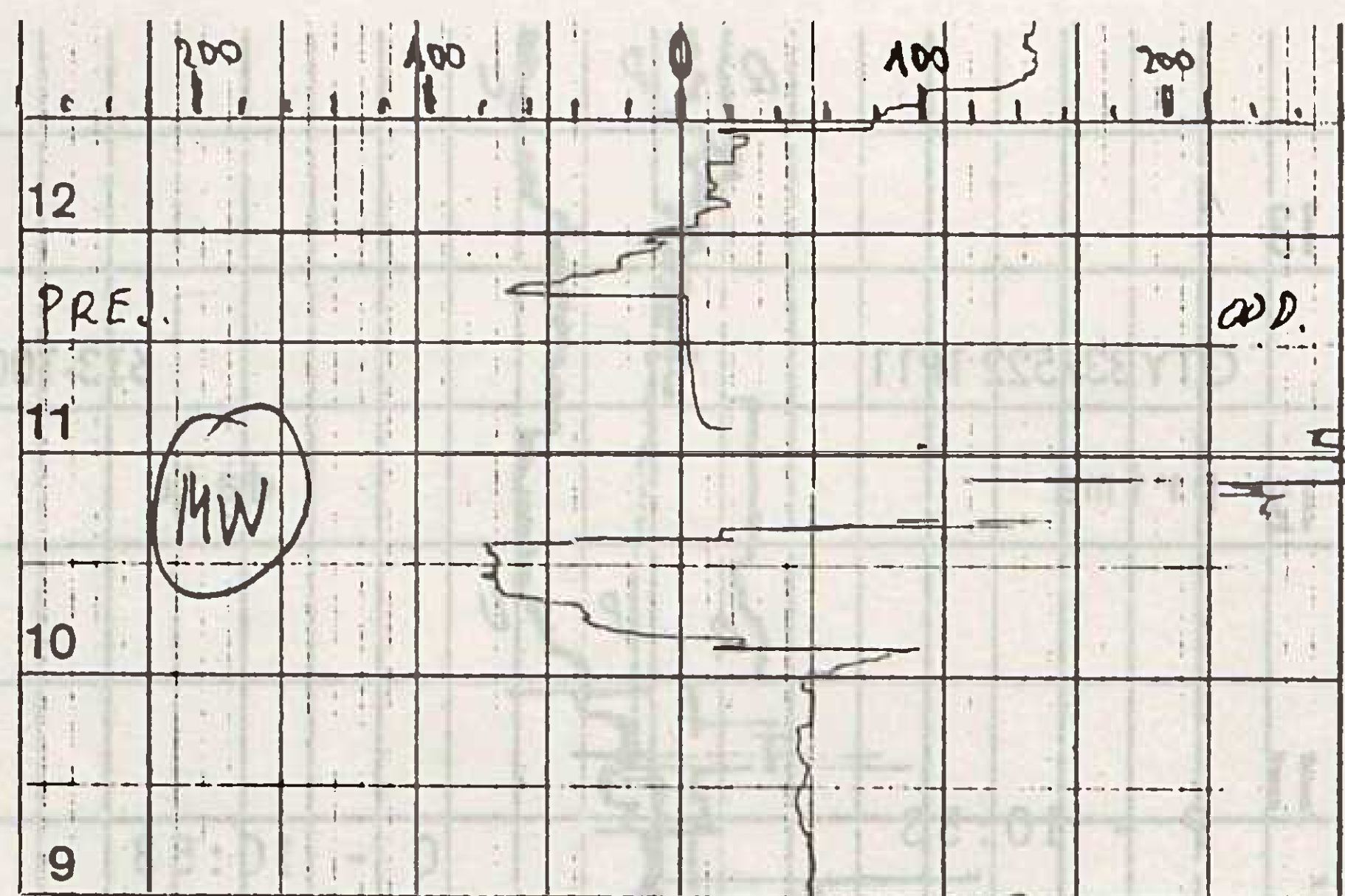
Zatim se zbiva centralni događaj u cijelom tom slijedu. Oko 10:53:22 ispada južni potez 400 kV Konjsko ... Divača sljedećom kronologijom:

- 10:53:22.401 Konjsko-Obrovac
- .446 Obrovac-Melina
- .450 Obrovac-Konjsko
- .466 Melina-Divača
- .502 Melina-Obrovac.

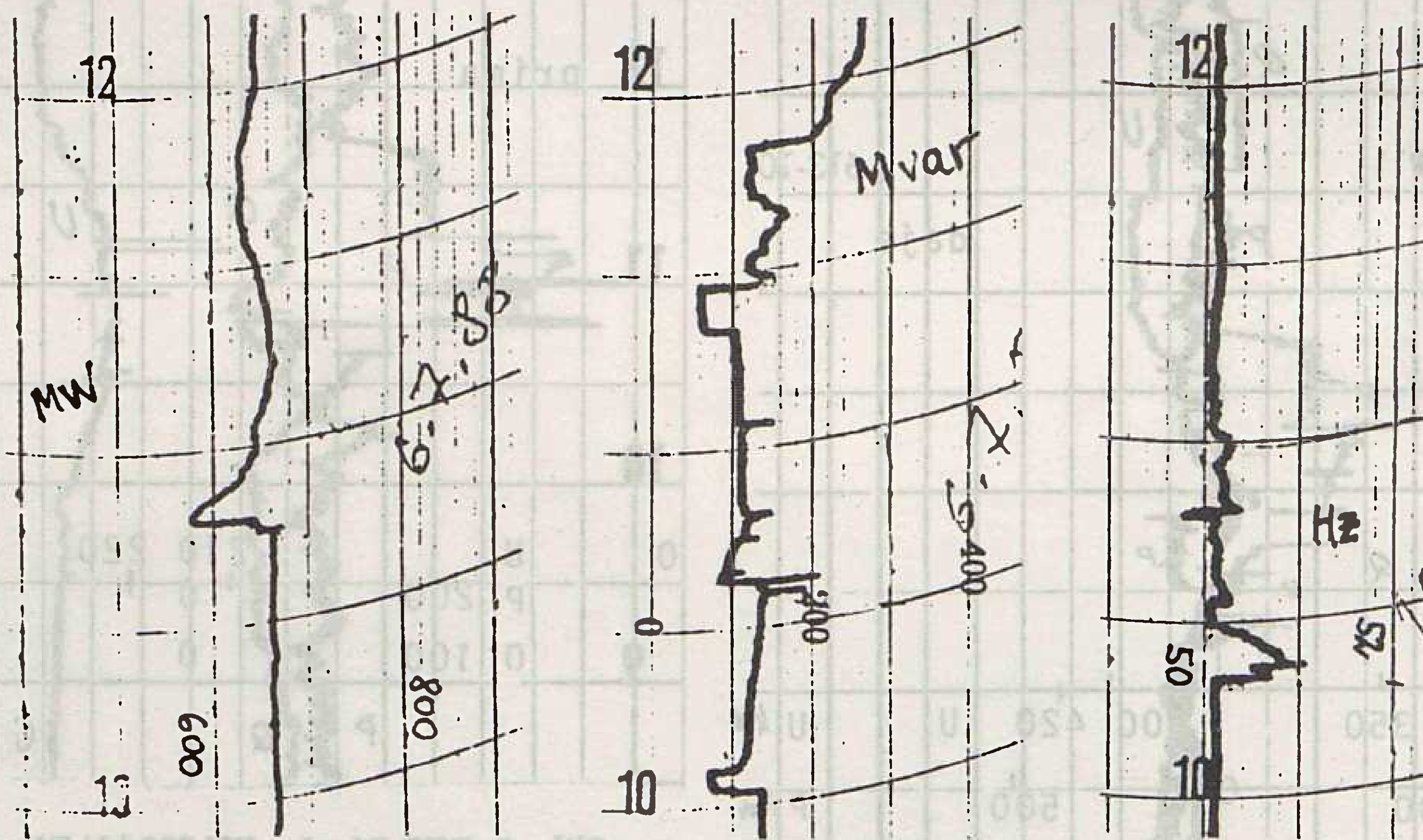
Gubitkom južnog pravca tranzit energije prema »Zapadu« se prebacuje na potez 220 kV Jablanica-Jajce-



Slika 6. RTP Podlog: DV 220 kV Podlog-Obersielach



Slika 7. RTP Cirkovce: DV 220 Cirkovce-Mraclin



Slika 8. NE Krško, P, Q na generatoru; f

-Mraclin-Cirkovci, i zbog preopterećenja ispada dionica Jablanica-Jajce u 10:54 (prema zapisu dispečara BiH). Istovremeno ispada i DV 220 kV Mostar-Zakučac (10:53:52.996).

Navedenim ispadima elektroenergetski sistem Jugoslavije podijeljen je na dva dijela:

— vezana na UCPTÉ preko mreže Slovenije ostala su područja »Elektroprivrede Rijeka« i dio područja »Elektroprivrede Zagreb« (napajan iz serijski spojenih TS 220/110 kV Međurić, Sisak i Mraclin a dodajmo i Senj, radijalno priključenih na Cirkovce),

— dio područja »Elektroprivrede Zagreb« napajan iz TS Tumbri i s radijalno priključenom NE Krško ( $f=50,5$  Hz u 10:54:24) te područja »Elektroprivrede Dalmacije« i »Elektroslavonije« ostala su vezana s preostalim dijelom elektroenergetskog sistema Jugoslavije i onim Grčke.

Vodovi 110 kV koji vežu jedan i drugi dio sistema ispadaju zbog preopterećivanja:

— Našice-Podravska Slatina (10:52:31.211, poslije čega slijedi još nekoliko uklopno-isklopnih operacija),

- Nedeljanec-Formin (10:53:23) pa Nedeljanec-Jertovec (10:55:09); dio područja »Elektroprivrede Zagreb« napajan iz TS Nedeljanec i TS Čakovec održao se je gotovo 1 minutu u otočnom pogonu sa HE Varaždin i HE Čakovec. Prvo ispadaju oba agregata HE Čakovec (10:55:41, istovremeno sa vodom Nedeljanec-Jertovec) pa onda oba agregata HE Varaždin (10:55:41). Na zagrebačkom području napon brzo pada: 100,6 kV u 10:57:08, 92,5 kV u 57:14, 76,0 kV u 57:46 (CDU Tumbri).
- Vinodol-Gojak (10:53:18.557, poslije čega slijedi nekoliko uklopno-isklopnih operacija na tom vodu u sljedećih desetak minuta); kao posljedica ispada zbog preopterećenja DV Rakitje-Zdenčina, pa bez energije ostaju Zdenčina, Pokuplje i Gojak. U 11:00:46.269 isključen je prekidač u TS Delnice prema TS Švarča.
- Otočac-Lički Osik djelovanjem prekostrujne zaštite (10:53:22.416 iz LD CDU Pehlin).

Razdjelnica tih dvaju sistema je, moglo bi se reći, na zagrebačkom Zrinjercu (razgraničenje područja napajanja iz TS Tumbri i TS Mraclin): dijela koji je ostao vezan na UCPT E i onog u otočnom pogonu koju čini ostali dio jugoslavenskog sistema i grčki sistem, frekvencija u ovom izoliranom dijelu bila je 50,9 Hz u toku desetak minuta. Zbog viška snage i djelovanja primarne regulacije u grčkom sistemu dolazi do preopterećenja DV 400 kV Dubrovo-Solun i DV 150 kV Bitola-Ptolomais i ti vodovi ispadaju u 10:57 iz pogona (prema Jugelovoj informaciji).

Na području »Elektroprivrede Zagreb«, koji je ostao napajan iz mreže 220 kV vezane na mrežu Slovenije, nastaje velik manjak djelatne i jalove energije, što ima za posljedicu pad naponskog nivoa na oko 187 kV (prelazak praga 11:22:11) s tendencijom padanja i opterećenjem DV 220 kV Mraclin-Cirkovci preko 270 MW (prelazak praga 11:08:11, kasnije pratimo na traci) s tendencijom rasta zbog smanjenja proizvodnje djelatne energije u TE Sisak, TE-TO Zagreb i HE Senj (od kojih je, zbog pada napona, zahtijevana veća proizvodnja jalove energije) te gubitka proizvodnje dravskih elektrana.

Dok se pokušavalo uključivanjem južnog kratka mreže 400 kV, pogoršavala se situacija na području sjeverozapadne Hrvatske. Zatvaranje petlje BiH... Mraclin nije uspjelo zbog ispadanja voda »pod rukom« u Jajcu (11:09), DV Međurić-Prijedor samo kratko je u pogonu jer ga ponovno izbacuje distantna zaštita (11:20:19 — 11:21:19, što je značilo integriranje sistema), kao i oba DV 220 kV iz TE Sisak: podsistem područja kratkotrajno se oporavio (11:20:31 Mraclin-Cirkovci -145 MW), no gubitkom te podrške DV Cirkovci-Mraclin se 28% preopterećuje i ispada. Čvorišta napajanja Mraclin, Međurić i Sisak ostaju bez napona (11:22:14.278). Elektrane u ovom dijelu sistema koji je ostao izoliran i od Jajca/Prijedora i od Cirkovaca nisu mogle nadoknaditi izgublenu snagu, održati frekvenciju i napon (TE Sisak, TETO Zagreb i HE Senj).

S obzirom na uočenu moguću opasnost za ispad voda Prijedor-Međurić odmah se pristupilo zatvaranju južnog poteza. Aktivnosti i vremena navodimo videna iz obrovačkih LD i KRD. U 11:18:50 prosljeđen je

napon iz Konjskog (374,4 kV), u 11:20:43 uključen je prekidač u DV polju Konjsko. Napon iz Meline prosljeđen je u 11:26:02 (405,1 kV), u 11:33:45.680 uključen je prekidač u DV polju Melina, no poslije pedesetak milisekundi prorađuje statička distantna zaštita u sve tri faze i isključuje prekidač. U 11:36:35.614 ponovo je uključen s istim ishodom poslije sto milisekundi, kao i u prvom pokušaju. Treći pokušaj zatvaranja bio je uklopom prekidača u 12:21:40.092, no dvije sekunde kasnije prorađuje zaštita od nesimetrija i isključuje ga. Nakon ovog trećeg neuspjeha zatvaranje je izvršeno preko obilaznog rastavljača i spojnog polja u 12:47:19.109. Zatim je izvršena provjera rada prekidača u DV polju Meline i konstatirano je da radi ispravno.

Nakon dva neuspješna pokušaja uključivanja prekidača u RHE Obrovac [3] odnosno paralelnog spajanja superponirane mreže »Centra« i »Zapada« na južnoj trasi, zatraženo je od Jugela prekidanje radova na DV Maribor-Krško i njegovo uključivanje; u 11:44 vod je ponovo u pogonu a razdvojeni sistemi u paraleli: prosječno opterećenje bilo je u tom 12. satu – 442 MW. DV 400 kV Divača uključen je u 11:14:43 (korigirano vrijeme LD TS Melina).

Pravac 220 kV Cirkovci ... Prijedor zatvoren je u 12:03, međutim pola sata kasnije ponovo ispada dijonica Prijedor-Međurić. U 12:08 zatvorena je petlja preko TS Jajce.

Povezivanje mreže 110 kV počelo je is TS Tumbri: napon je prosljeđen TS Mraclinu u 11:25:23.655 (prvi vod, drugi dvadesetak sekundi kasnije), a zatim u TE-TO Zagreb, pa preko Resnika do dravskih hidroelektrana i preko Pračnog do TE Sisak. Tako je omogućena sinhronizacija agregata. Sve TS 110/x kV na području sjeverozapadne Hrvatske dobile su napon do 12:20 (Dugo Selo).

Zbog tog raspada dijela elektroenergetskog sistema Hrvatske nije isporučeno potrošačima oko 500 MWh, a elektroenergetskom sistemu Grčke oko 300 MWh.

## 5. UZROCI, PRETPOSTAVKE

Prvi ispad, onaj voda Prijedor-Međurić u 10:49, nije bio iznenađenje: bio je posljednjih dana više put izbacivan, a to se dogodilo i poslije uključivanja u kritičnoj situaciji: uključivan je u 11:12 (Prijedor)/11:20:19 (Međurić), a minutu kasnije obostrano ispada, ponovo u 11:54/11:59, da bi pola sata kasnije ispao (u oba slučaja lokator kvara pokazuje 18 km), 18:50/18:57 kada je definitivno ukopčan. Da li je prorade distantne zaštite u 1° uzrokovao povećani provjes zbog visokih dnevnih temperatura i preskok faza (8, pa 4)-zemlja?

Za praktički istovremeno izbacivanje pet prekidača na južnom kraku prstena 400 kV na području Hrvatske u 10:53:22 s registriranim redosljedom nismo našli koherentno tumačenje. U TS Melina u trenutku kvara KRD nije radio kao ni osciloperturbograf, dok u RHE Obrovac imamo KRD i LD tek od trenutka prorade zaštite; tako se kombiniranjem postojećih raspoloživih registracija i logičkom nadogradnjom može steći predodžba o zbivanjima.

Lokator kvara ukazivao je na smetnju u predjelu Like, 92 km udaljeno do TS Melina odnosno 47 km od RHE Obrovac, no prema izvještaju ekipe s terena ustanovljeno je da je trasa čista.

U TS Konjsko distantna zaštita proradom u 2° trolno isključuje prekidač na vodu za Obrovac i onaj na istom vodu u RHE Obrovac putem VF impulsa. Isto je djelovanje u TS Melina na vodu za RHE Obrovac (trolno pobuđena distantna zaštita u 2°, isključenje prekidača na drugom kraju voda VF impulsom, ako se isključi međutjecaj od strane Konjskog) i isključenje prekidača u DV polju Divača — no bez ikakvog traga u Divači. Baš isključenje ovog posljednjeg prekidača, i to prema zabilježenim vremenskim sekvencama, iskače iz svake slike.

Da li su ova trolna isključivanja proradom distantne zaštite u 2° izazvana trolnom »neidentificiranim smetnjom«? Presedan postoji, navodimo bez iscrpnijeg istraživanja: na DV 400 kV Divača-Melina djelovala je zaštitna trolno u 1° sa obostranim izbacivanjem prekidača 10. III i 14. VII 1988; lokatori su ukazivali na područje oko republičke granice. Na trasi nije ništa nađeno (pregledana je samo sa slovenske strane), pa je vod ponovno ukopčan bez posljedica. Slično i na DV 400 kV Divača-Redipuglia 16. III. 1988.

Ili je uzrok u nekom strmom propadu napona koji je povukao pogonsku impedanciju u područje proradne za distantno zaštitu? Mogu li to biti isključivanja/uključivanja kondenzatorskih baterija u TS Bilice KB3 i KB4 (ukupno 22 Mvar) malo prije izletanja južnog poteza (10:42 KRD TS Bilice, pa sekundu kasnije manipulacije samo sa KB4)? Prorada protunjihajnog zavora na elektrostatičkoj zaštiti indicirala bi na razmjerno sporiju promjenu napona, kao i prorada distantne zaštite u 2°. U KRD iz TS Konjsko napon je u DV polju Bilice 197,5 kV (10:52:43 korigirano na vrijeme RDC-a) a desetak sekundi kasnije već je u DV polju Orlovac 155,5 kV. Četiri sekunde kasnije angažiranje jalove snage u HE Zakučac je 127,9 Mvar. U LD iz CDU Vrboran zabilježeni su naponi u RHE Obrovac malo pred isključenje (10:53:13 korigirano na vrijeme RDC-a): 357,1 kV (DV polje Konjsko), 354,2 kV (DV polje Melina) — da li samo kao posljedica preusmjerenja tokova na južni potez? Za tezu propada napona govore bi i trolne pobude distantne zaštite u RP 110 kV Obrovac (11:53:22, obrovački KRD), pa u TS Biogradu na vodovima prema Bilicama i Zadru (10:54:30.587 do .620, KRD TS Bilice; pa opet poslije dvije sekunde u 32.622 do .651) te u TS Bilice prema Biogradu (32.890 do .907, KRD TS Bilice; neke od tih prorada javljat će se i desetak minuta kasnije), te na vodovima 110 kV Gračac-L. Osik (10:53:21.545 do .671 CDU Pehlin) i Gračac-Obrovac (10:53:21.835 do .923 CDU Pehlin). Na registraciji napona u TS Bilice na 110 kV i 30 kV kao i u TLM Ražine na 0,9 kV razabiru se parazitski »flikeri«. U tom duhu moguće je interpretirati i registraciju osciloperturbografom u TS Konjsko. Na ovoj su snimci, na kojoj se događaj hvata već u poremećaju, fazni naponi oko 40% od nazivnih dok se ne isključi prekidač u Konjskom; isključenjem napon poraste na nazivni kroz dvije periode (u

slučaju troponog kvara pao bi na nulu) dok VF impuls ne izbac i prekidač u Obrovcu. Do isklopa fazne struje su simetrične. Zaštita u TS Mostar bila je pobuđena u DV polju Konjsko u sve tri faze (10:53:32.60 do .72), kao i u DV polju Zakučac: ova je i proradila i isključila prekidač, pola sekunde kasnije ponovo uključuje pa izbacuje dok vod nije ponovo u 11:03:56.990 u pogonu. Treba napomenuti da je isključenje voda Mostar-Zakučac tridesetak sekundi poslije ispada južnog poteza. Pola sata kasnije još se dva puta javlja trolna pobuda zaštite u 2° na vodu za Konjsko, možda u vezi s nekim novim titrajem napona (vezujemo i prorade distantne zaštite u mreži 110 kV zadarsko-šibenskog područja).

No za razliku od Mostara, u Divači nije ništa zabilježeno (na dva KRD-a) niti je zaštita pobuđena! Možda je trebalo pitati kod ENEL-a koji u Redipugli ima vrlo osjetljive uređaje (po informaciji dispečera »Elektroprimorske« u Divači). Tako propad napona ne možemo uhvatiti na oba krajnja čvorišta južnog kraka (Divača, Mostar). Zbunjujuća je i činjenica da je relativno spori propad napona, o kakvom bi se ovdje moglo raditi, obično u sistemu izazvan »nabacivanjem« tereta ili ispadanjem generatora — što ne bi moglo proći nezapaženo. Naponska sistola osjetila bi se i ostalom dijelu sistema.

## 6. ZAKLJUČAK

Iskapčanje voda Krško-Maribor nije 6. VII. ujutro pobuđivalo sumnje. Prijenos na »Zapad« bio je oko 266 MW, razmjena sa UCPT E (sa svim vodovima u pogonu) oko nule, NE Krško u pogonu. No latentna prisutnost kvarova ili disfunkcija u bezbrojnim aleatoričkim kombinacijama i s neočekivanim posljedicama iskazala se i ovaj put, »eksperimentalno« potvrđujući između 10:19 (isklop Krško-Maribor) i 12:47 (zatvaranje južnog poteza) — sa karakterističnim rezovima u 10:49 (ispad Prijedor-Medurić), 10:53 (ispad južnog poteza) i 11:22 (black out dijela zagrebačkog područja) — neke konstatacije iz aktualne problematike planiranja i eksploatacije prienosne mreže uočene kroz praksu i studije:

- mreža 220 kV ne može biti relevantan izvor napajanja sjeverozapadne Hrvatske. Neophodna su pojačavanja sistema: sa TS Žerjavincem i DV 400 kV Melina-Tumbri u promatranom kvaru ne bi ovo područje ostalo bez energije,
- za sekcionirani pogon zagrebačke mreže, pa ni djelomično, još nisu ostvareni osnovni preduvjeti, iako njegovu potrebu nameće realnost postojeće mreže,
- o tehničkoj mogućnosti otočnog pogona podsistema (konkretno: podravsko-međimurskog) trebat će stvoriti decidirani stav; neka već izvršena i obrađena pilotska ispitivanja dala su očekivane i neohrabrujuće rezultate.[4]

Bilo bi korisno ovakve suglasnosti za iskapčanje dalekovoda superponirane mreže kakva je tražena 6. VII. ubuduće provjeravati instant-analizom na računskom stroju!

U praktički istovremenoj akciji pet prekidača čini nam se nespornim, bez obzira na uzrok, da barem jedan nije korektno proradio (ponavljamo: bazirano na zabilježenom redoslijedu — ako je to van sumnje). Prekidači u RHE Obrovac isključeni su iz Konjskog i iz Meline (nije bilo vlastite akcije u čvorištu), i to je u kontradikciji sa zapisima u LD RDC-a — i čini se da bi cijeli taj kompleks koji podrazumijeva informatiku i veze trebalo prokontrolirati. Zaštite su najvjerojatnije dobro postavljene iako prema proračunskim konstantama, no praksa bi ta podešenja već demantirala. Ipak, šteta je da konstante nisu izmjerene npr. pri mjerenju prenapona na južnom potezu. Da li bi u mreži 400 kV trebalo aktivirati trolno ponovno uklapanje (naravno sa sinhročekom)?

Fond podataka dalje je degradiran prema onom skromnom kojim smo raspolagali prilikom analize raspada 1. VIII. 1986. kako u Hrvatskoj, tako i u susjednim republikama. Nema npr. registrirajućih tražaka na vodovima superponirane mreže (osim iz EGS-a, no i tu parcijalno: nema npr. registracija s vodova incidentnih sa NE Krško), cjelovite dokumentacije KRD-a i osciloperturbografa, itd. Postmortem uređaj u RDC-u također nije proradio i prilikom traženja greške zapisi su poništeni. No u ovom velikom poremećaju sa svega nekoliko varijabli (tj. grana u pogonu) lako je dešifrirati uzročno-posljedično rastakanje sistema.

Zašto se dva sistema (UCPTE i izolirani dio jugoslavenskog sistema + grčki) nisu mogla spojiti u RHE Obrovac? Za odgovor bit će dovoljno navesti postavljenje automatske sinhronizacije DV Konjsko i Meline u RHE Obrovac pa da sve bude objašnjeno:  $\Delta U = 10\%$ ,  $\Delta \Phi = 15^\circ$  i, posebno naglašavamo,  $f = 0,003$  Hz (!). Tek poslije ovog događaja postavilo se pitanje kako postaviti tu sinhronizaciju, čime se vraćamo na ponavljano upozorenje da se elektroenergetski sistem premalo konzultira u pogledu opreme (izbora, nabave, eksploatacije).

## 7. POGOVOR

Treba naglasiti da se raspadima sistema ne treba pristupati senzacionalistički niti sumnjičavo: u jednoj tako kompliciranoj megastrukturi kao što je to elektroenergetski sistem, s mnogobrojnim i raznorodnim komponentama, veliki poremećaji nisu neočekivan događaj. Ono što bi eventualno trebalo primijetiti, to je njihova relativna učestalost i naš stoički mir s kojim ih prihvaćamo. Danas je jugoslavenski elektroenergetski sistem razvijen i s moćnom pozadinom: na njegovu razvijenost ukazuju i uzroci kvarova. Malo treba do njegove potpune tehnološke zrelosti, do jednolikog stupnja sigurnosti u svim njegovim dijelovima — i tome treba konvergirati i odgovarajući intelektualni softver, tehnologiji pridružiti odgovarajuću logiku, i sve promatrati dinamički u interaktivnom razvoju.

U više ili manje iscrpnim analizama poremećaja posljednjih godina rekli bismo da smo uglavnom ekstrasirali uzroke i otkrili »krizna žarišta« te preporučili dobru preventivu. Međutim, nikakva se terapija

ne poduzima, a objektivno se teško što i može učiniti u realnim okolnostima. Tako smo mogli biti brzo gotovi s preporukama povodom našeg posljednjeg poremećaja: predložili smo samo citirati zaključke iz ranijih analiza (naravno: sve neizvršene). Primijetimo usput dobre rezultate prakse u Hrvatskoj da se za analizu značajnijih događaja formiraju radne grupe. One su, u nužno kooperativnom radu stručnjaka različitih profila i resorskih opterećenja, djelovale prosvjetiteljski i vjerujemo da su u svom ozračju pridonijele unapređenju vođenja sistema i otvaranju novih spoznaja. Njihovu čvrstu jezgru trebalo bi ostaviti fiksnom da se što više racionalizira rad i postigne kvaliteta (korištenjem »minutnog rada« u smislu akvizicije znanja i akumuliranog iskustva), a u varijabilnom dijelu popunjavati stručnjacima prema problemu i području.

Ponovimo da naš sistem karakteriziraju dvije duge longitudinale: Ernestinovo...Maribor i Konjsko...Divača; jedna je samo ograničeno rezerva drugoj, a mreža 220 kV ne može u tom smislu podržavati onu 400 kV: pravci su uglavnom paralelni i padom one višeg napona u uvjetima »narušenog zdravlja« ruši se i ona nižeg napona. Dakle, u eksponiranijoj topološkoj ili elektroenergetskoj situaciji mreža 220 kV nije redundancija mreži 400 kV.

Otežavajuća okolnost dalje je izrazita prijenosna uvjetovanost ovako razvijenog sistema: na jednoj strani potrošnja (s ograničenim mogućnostima podrške prijenosa), a na drugoj proizvodnja (s još daljom incidencijom: Obrenovac/Ugljevik odnosno Mostar). NE Krško ne spominjemo: kada je mreža u maksimumu svoje prijenosne funkcije obično je u remontu.

Bez ulaganja, bez izgradnje, nemamo mnogo manevarskog prostora, a i on je sve uži zbog ograničavajućeg ekonomskog faktora (tendencija tretiranja elektrana na tekuće gorivo kao vršnih) i splasnjavanje dobre volje naših susjeda s kojima smo u paralelnom radu da toleriraju nekorektno ponašanje u tom radu (povlačenje jalove snage).

S vezom na Kainachtal snažno će se učvrstiti periferija našeg sistema, i trebalo bi odmah nastaviti s odgovarajućim unutrašnjim razvojem. Jer za prijenosnu mrežu to je ekvivalentno uključivanju velikog izvora! U prijenosu je relevantan parametar snaga a ne energija, koja u svojoj bilanci razmjene može i treba biti oko nule, no zato postoje razmjene snage u oba smjera već prema aktualnoj situaciji.

Izgradnja mreže je uostalom jedina opcija koja će omogućavati premoštavanje nadolazećeg razdoblja našeg elektroenergetskog deficita. U promišljanju takvog razvoja i njegovih konzekvenci u prvi plan izbijaju veličine »iz sjene«: argument modula napona i imaginarna komponenta snage. Sjetimo se njihova fundamentalnog značenja u radu sistema: (a) tok djelatne snage između dva čvorišta uglavnom determinira kut modula napona, i (b) tok jalove snage određen je razlikom napona. Zato je nužno naglasiti, uz izgradnju vodova i postrojenja kao samo po sebi razumljivo, potrebu systemske kompenzacije — koja je bitno različita od one krajnjih potrošača (o čemu imamo živo svjedočanstvo 1. VIII. 1986) i koja je s

posljedicama multiplikativnog djelovanja. Ulogu jalove snage treba stalno preispitivati zbog njene promjenjivosti i kontradiktornosti u real time i u dinamici razvoja sistema, po naponskim nivoima i u cjelini (ilustrirajmo npr. sa dva čvorišta po trasi udaljena 20 km, no električki vrlo daleka: u Mraclinu donekadna kompenzator/kondenzatori, a u Tumbrija prigušnica).

Tek tako evoluiran sistem bit će dovoljno fleksibilan za naše ljetne (n-2) — što se danas preporuča kao kriterij planiranja sa pozicije jalovih snaga, i (n-x), što je naša ljetna praksa. Dotada sav teret ostaje na dispečerima, ili šire, na sektorima eksploatacije, na njihovoj umješnosti i snalažljivosti.

Jer sistem vodimo daleko od onoga kako je planiran (famozni i različito ponderirani n-1) i, treba naglasiti, nekorektno je u našim konkretnim uvjetima ocjenjivati ga u eksploataciji po kriterijima planiranja. To su dvije različite razine promatranja (konceptijski i metodološki), a govoriti o njihovom prožimanju i preklapanju (kako, što, kada) daleko je od pretenzija ovoj prikaza. U sličnoj liniji kritičkoj propitkivanja (praksa vs. teorija) iz perspektive održavanja valorizirajući činjenicu da nam se većina poremećaja događala ljeti, dubiozan je propis o dimenzioniranju vertikalne udaljenosti fazni vodič-uzemljeni dijelovi na temelju  $+40^\circ$ ; ili bitno povećati sredstva za održavanje!

Iz tog korpusa problema i zbivanja bilo bi korisno osvjetlili i black out dijela sistema »Istoka« tjedan dana poslije našeg poremećaja: onaj 12. VII. 1988. opet iniciran ispadom jednog vitalnog dalekovoda u podne (»Mladost«-Ernestinovo pri prijenosu 765 MW). Ili isti poremećaj godinu dana ranije 24. VII. 1987: ispad DV »Mladost«-Ernestinovo pri prijenosu 705 MW, koji je prouzročio dijeljenje jugoslavenskog elektroenergetskog sistema u dva dijela: istočni sa suficitom od oko 1 100 MW i frekvencijom 50,4 Hz i zapadni s dijelom talijanske mreže (odvojene od interkonekcije UCPTA) s deficitom 1 100 MW i frekvencijom 49 Hz.

Otkrivali smo i rješavali neprigušene elektromagnetne oscilacije (kraj 71, VI 72, VI 73, IV 74), primarnu regulaciju i podfrekventno rasterećenje (što je izbilo u prvi plan 1980, 8. XII), pa jalovu snagu i vođenje pogona (1986, 1. VIII). Svako od ovih područja je planet sam po sebi sa svojim kontinentima. Globalno, gotovo da bi se moglo reći da nam je jasan scenarij sljedećeg raspada.

Nakraju pitamo se stidljivo, u sebi: da li nam je i organizacija primjerena (u realnim uvjetima različito osposobljenih centara)? Ili antitezom to isto na drugi način: imamo li dobre i adekvatne aktivne i dinamičke ekvivalente ostalih okolnih podsistema? Ovako je sindrom Titanik prepoznatljiv i u vođenju pogona: dok u BiH npr. ispadaju dalekovodi smanjujući sigurnost tranzita, u ZEOH-ovom RDC-u ta se opas-

nost ne osjeća do zadnjeg časa (kada je obično već kasno za korektivne akcije po propisanoj proceduri). Trebalo bi, dakle, drugačije formirati logične funkcionalne cjeline, transrepublički. Vjerojatno će se to riješiti TSU-om. A do tada?

#### LITERATURA

- [1] U sastavu: Božidar Kolega (predsjednik), Velimir Hanga, Nenad Puljić, Zdenko Tonković.
- [2] Z. TONKOVIĆ: »Sekcioniranje gradske mreže 110 kV na primjeru šireg zagrebačkog područja, Energija, Zagreb, br. 6, str. 631-633.
- [3] Južni potez zatvara se naime u RHE Obrovac. Sažetak studije o pogonu južne magistrale prstena »Nikola Tesla« dan je u članku Z. TONKOVIĆ: Aspekti visokih napona u sistemu sa posebnim osvrtom na uklapanje voda Konjsko-Obrovac-Melina, Elektroprivreda, Beograd, br. 1-2, 1984, str. 28-33.
- [4] Z. TONKOVIĆ, Đ. STANKOVIĆ: »Rad HE Čakovec na izolirani konzum«, VII savjetovanje o hidroelektranama i pumpnoakumulacionim hidroelektranama Jugoslavije, Opatija, 1988, R. 2. 28.

#### DISCONNECTION OF UCPTA SYSTEM IN THE AREA OF ZAGREB CITY

In the article are described circumstances that resulted in UCPTA disconnection in the area of Zagreb city. Presented are conclusions based on operational disturbances of electric power system in recent years.

#### TEILUNG DES SYSTEMS UCPTA AUF DEM ZAGREBER GEBIET

Im Artikel werden die Umstände die zur Teilung des Systems UCPTA mitten in Zagreb führten. Man spricht über die Erfahrungen aus den Fehlschlägen im jugoslawischen elektroenergetischen System in den letzten Jahren.

#### РАЗЪЕДИНЕНИЕ СИСТЕМЫ УЦПТЭ В ЗОНЕ Г. ЗАГРЕБА

В статье приводятся обстоятельства, вызвавшие разъединение системы УЦПТЭ посреди г. Загреба. Излагаются, выведенные на основании нарушений работы югославской ЭЭС в последние годы.

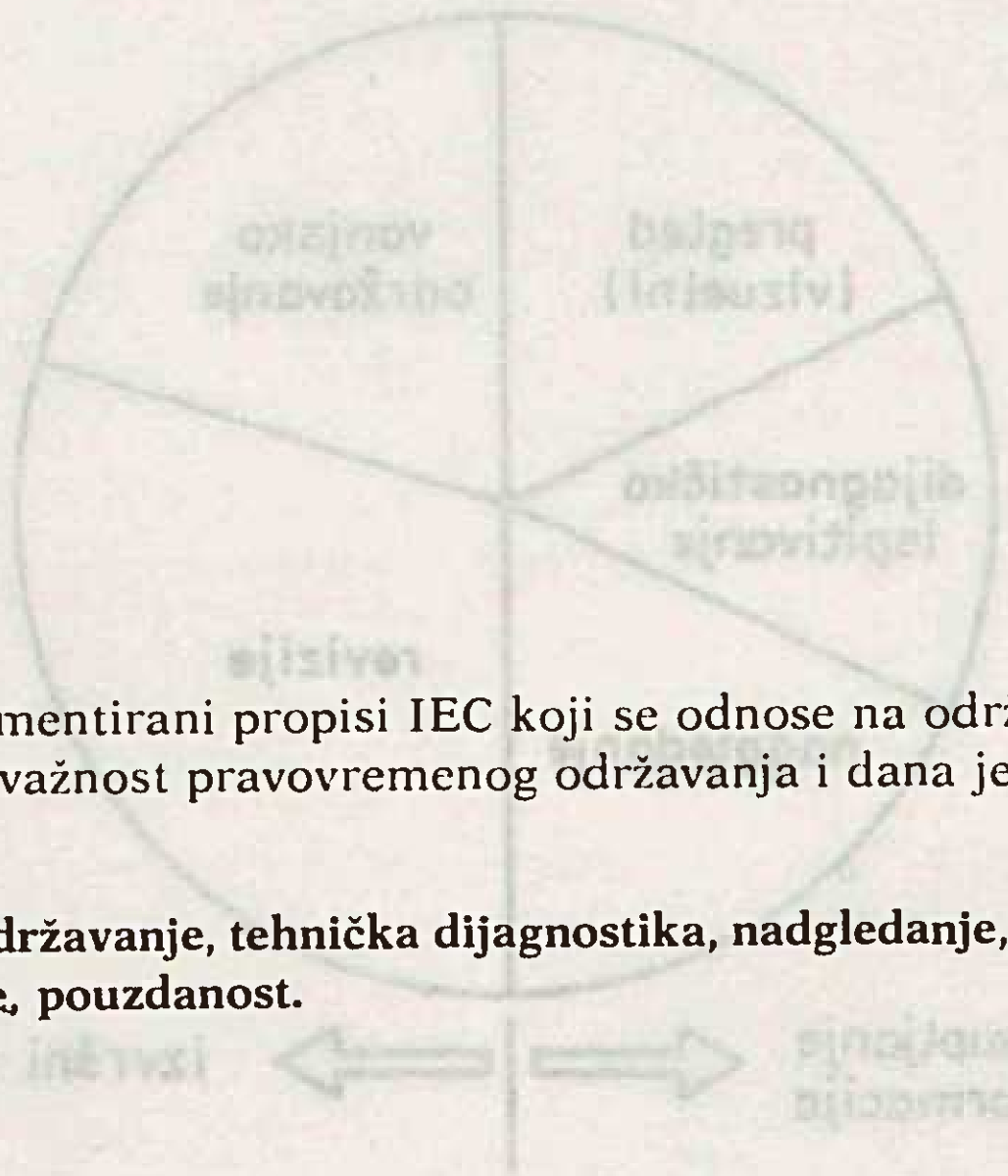
Naslov pisca:

**Mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivrdu,**  
**41000 Zagreb, Proleterskih**  
**brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1989-04-26

# NEKI POGLEDI NA ODRŽAVANJE SKLOPNIH APARATURA VISOKOG NAPONA

Ivan Štahan, Zagreb



Prikazani su i komentirani propisi IEC koji se odnose na održavanje, kao i nova klasifikacija održavanja s obzirom na nove tehnologije. Upozorava se na važnost pravovremenog održavanja i dana je nova terminologija i definicije koje se odnose na održavanje.

**Ključne riječi:** održavanje, tehnička dijagnostika, nadgledanje, sklopne aparature, pouzdanost.

## 1. UVOD

Sklopna aparatura visokog napona, a to znači prekidači, rastavljači, mjerni transformatori, njihovi međusobni spojevi zajedno s mjerenjem, zaštitom, signalizacijom i upravljanjem, bilo slobodnostojeća ili metalom oklopljena i plinom izolirana, mora proći pet faza od zamisli do kraja životne dobi. Te su faze: projektiranje, konstrukcija, proizvodnja, ispitivanje i održavanje. Dok se o prve četiri faze sve zna i one su opisane kroz propise i preporuke, o održavanju se piše relativno malo, a velik dio pouzdanog rada aparata ovisi o održavanju. Osim definicija iz dijela održavanja [1, 2, 3, 4], propisi IEC donose samo »vodič za održavanje prekidača visokog napona« [5] u kojem su detaljnije opisane obveze proizvođača, ali ne i obveze korisnika. Radi toga korisnici na osnovi preporuka proizvođača sami izrađuju upute za održavanje, kao što je Pravilnik o održavanju rasklopne opreme JUGEL-a. Međutim, proizvođači svake godine rade na novijim pouzdanijim rješenjima i mijenjaju se karakteristike koje treba održavati, pa je nužno neprestano obnavljanje odnosno inoviranje Pravilnika. Nedostatak terminologije i definicija s područja (održavanja na našem jeziku potaknuo je radnu grupu 13.06. (Pouzdanost) jugoslavenskog komiteta CIGRE da izradi, a na osnovi propisa IEC i ostalih dostupnih dokumenata, niz definicija o kojima će biti riječi u ovom članku.

## 2. OSVRT NA PROPISE IEC

Propisi IEC [5] »Guide for circuit-breaker maintenance« propisuju u osnovi dvije vrste obveza:

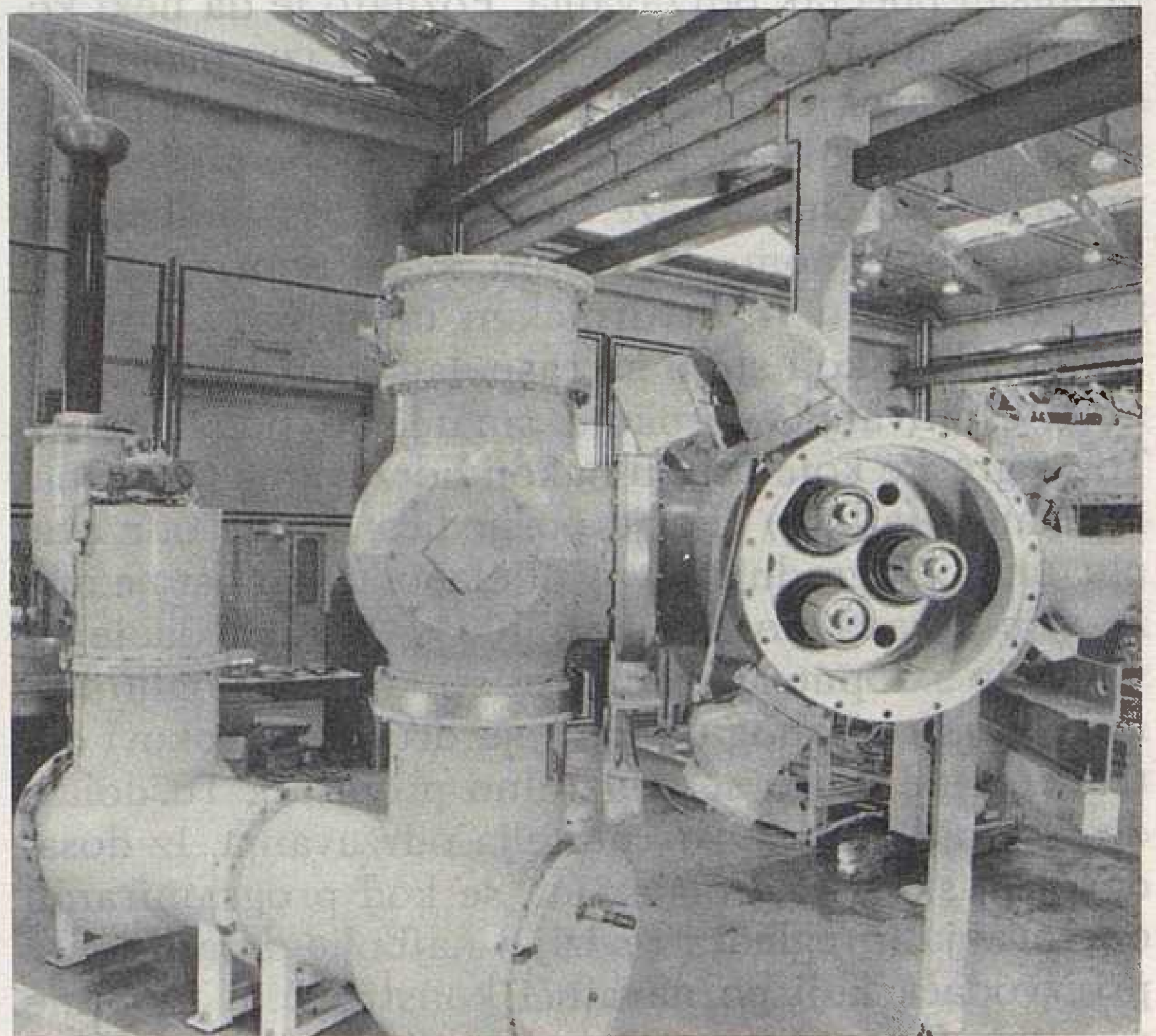
- obveze proizvođača
- obveze korisnika.

Prema propisima, proizvođač mora osigurati:

- a — detaljne upute o održavanju u pisanom obliku koje sadrže:

- stupanj i učestalost održavanja (broj kumulativnog prekidanja struja kratkog spoja; broj prekidanja pogonske struje itd.)
- detaljan opis radova kod održavanja
- neophodne nacрте dijela sklopnih aparatura važnih za održavanje s oznakom naručivanja
- vrijednosti i odstupanje veličina koje treba održavati (vremena, pritisak, izolacijske karakteristike medija za gašenje i izolaciju itd.)
- popis i količinu pomoćnog materijala za održavanje masti, ulja, plin itd.)
- b — proizvođač mora upozoriti korisnika na mogućnost potencijalnih grešaka, sistematizirati ih i načiniti redoslijed uklanjanja.

Prema istim propisima korisnik sklopnih aparatura se obvezuje:



Slika 1. Modul sklopne aparature 123 kV za HE Đale

- osigurati osoblje s dovoljnim kvalifikacijama i posebnim znanjima o sklopnoj aparaturi koju koriste
- stvoriti evidenciju s podacima o aparaturi, s rezultatima svih mjerenja i dijagnostičkih ispitivanja, kao i ponašanja aparature u pogonu
- u slučaju kvarova izraditi izvještaj o zastoju ili kvaru radi nužne suradnje s proizvođačem radi uklanjanja nedostataka.

Promatrajući te propise proizvođač, a da bi ih zadovoljio, mora angažirati svoje najstručnije snage, pa se događa da velik dio uputa za održavanje rade najsposobniji stručnjaci. S druge strane, kod korisnika sve se svodi samo na dovoljnu stručnost. Međutim, želi li korisnik da sam provodi održavanje, tada je potrebna visoka stručnost rukovodećeg osoblja i izvrišoca. Tu se obično i pogriješi. Naime, ne može biti svejedno da li je aparatura izvan pogona dulje ili kraće vrijeme, što je i osnovni kriterij organizacije održavanja.

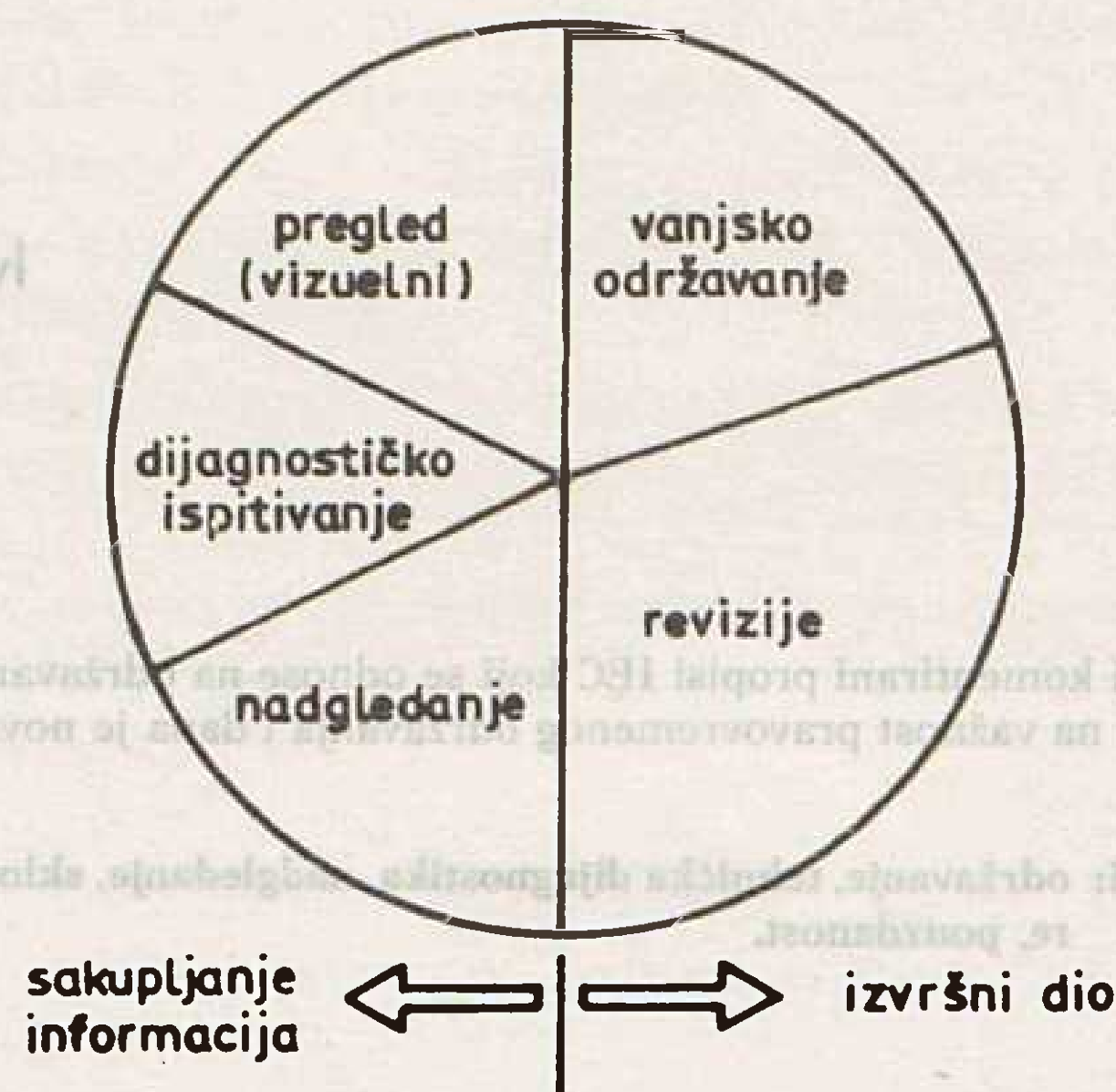
### 3. UTJECAJ ODRŽAVANJA NA POUZDANOST SKLOPNIH APARATA

Pouzdanost sklopne aparature je sposobnost ovog uređaja da ispuni jednu traženu funkciju ili više u danim uvjetima i u toku određenog vremena. Međutim, pouzdanost možemo definirati i kao vjerojatnost da neće doći do kvara ili otkaza do nekog vremena  $t$  [6].

Ako pretpostavimo da je časom puštanja u pogon pouzdanost sklopne aparature 1 ili 100%, to svakim danom rada pouzdanost pada, jer se dijelovi »troše« zbog mehaničkih i električnih naprezanja. Na osnovi ispitivanja (i iskustva) proizvođači izrađuju plan održavanja s ciljem da se održavanje izvrši u vremenu ranijem nego što može nastupiti prvi kvar. Sve se to radi uz određenu vjerojatnost događaja, pa se može dogoditi kvar ili otkaz i prije nego što su proizvođači propisali početak održavanja. Poznato je da neki korisnici izrađuju sami plan održavanja tzv. programirano održavanje i u želji da izbjegnu otkaz ili kvar planiraju održavanje mnogo prije nego je proizvođač propisao. Obično se kaže »da se to čini radi lošeg iskustva s opremom«. Međutim, svaki popravak, koji nije obavljen u tzv. tvorničkim uvjetima, alatima i materijalom koji stoje na raspolaganju i bez mogućnosti ispitivanja, uzrokuje smanjenje pouzdanosti. To su greške koje ostaju nakon održavanja (post maintenance failure) čija je posljedica da pri održavanju, unatoč ugradnji novog dijela, pouzdanost ne može više nikada dostići 1 ili 100%. Budući da je za svaki tip sklopne aparature ili svaku tehnologiju termin programiranog održavanja drugačiji, rokovi održavanja ne mogu se generalno propisati. Tu dolazi do izražaja umješnost voditelja održavanja. Iz dosadašnjeg iskustva proizlazi da se kod programiranih održavanja (pregledi i revizije) najbolje držati uputa proizvođača koji poznavajući konstrukciju i ispitne rezultate (i naročito materijale) daju optimalne robove i pouzdanost.

### 4. KLASIFIKACIJA ODRŽAVANJA

Kao što se napreduje u istraživanjima novih sistema gašenja luka jednostavnijim ali pouzdanijim konstrukcijama, tako se napreduje i u poimanju održavanja. Novi prijedlozi IEC propisa mogu se prikazati na slici 2.



Slika 2. Novi prijedlog klasifikacije održavanja

Klasifikacija održavanja podijeljena je na:

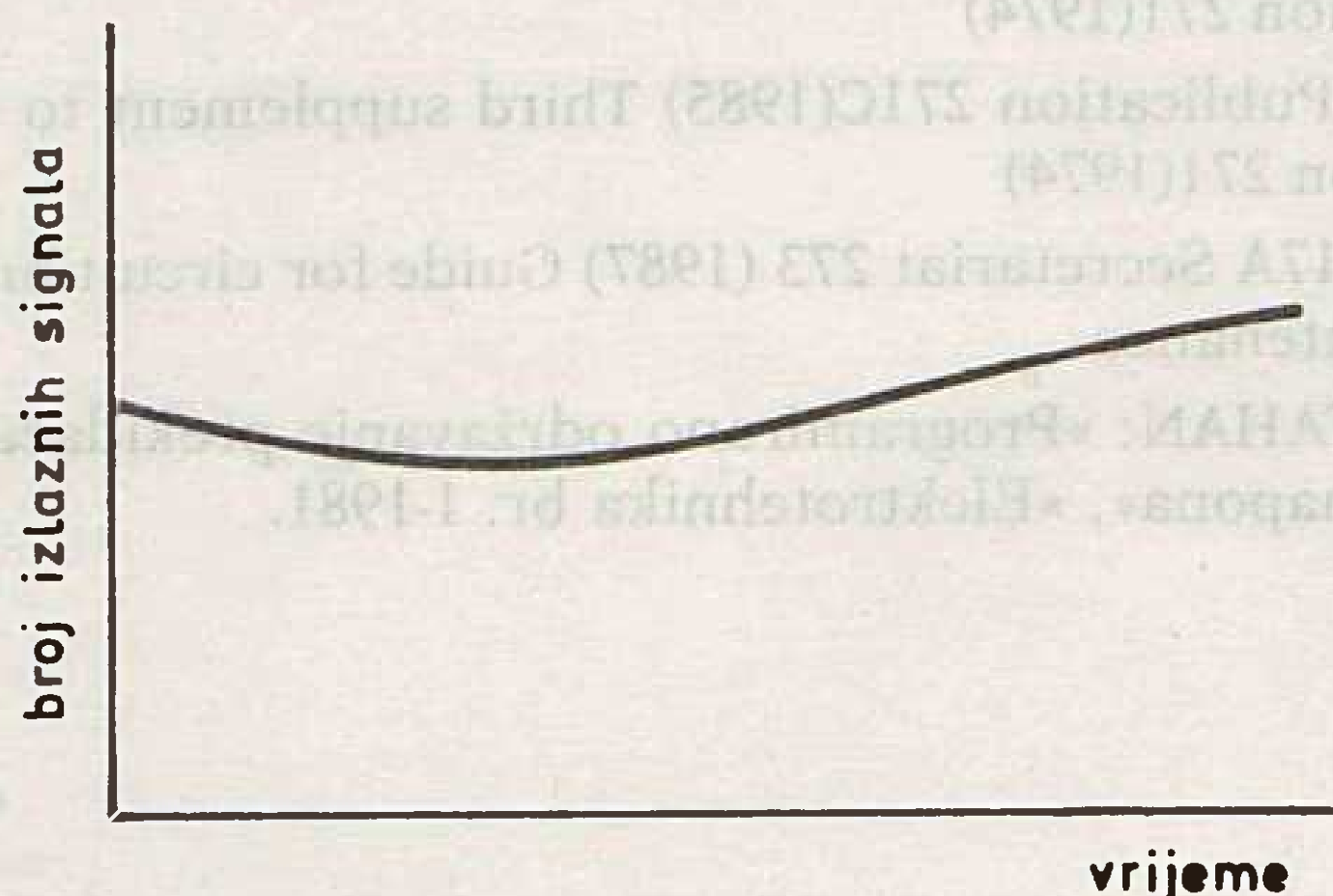
- dio koji se odnosi na sakupljanje informacija
- izvršni dio.

Sakupljanje informacija se sastoji od:

- pregleda (definicija u točki 5.7)
- dijagnostičkog ispitivanja (definicija u točki 5.9).  
Dijagnostičko ispitivanje provodi se radi određivanja uvjeta rada dijelova ili cijele sklopne aparature, a isključivo radi izrade optimalnog programa održavanja. U tu svrhu proizvođač određuje nužne podatke koje upisuje u upute za održavanje i ispitivanje, a koje je dobio tijekom rutinskog ispitivanja ili ispitivanja prije puštanja u pogon. Minimalni podaci su:
  - otpor glavnog strujnog kruga
  - vremena uklopa i isklopa
  - put kontakta
  - opterećenje motora ili kompresora u pogonskom mehanizmu
  - nadgledanje (definicija u točki 5.10).
- Nadgledanje sklopne aparature novija je aktivnost, a osnovni cilj je predviđanje grešaka ili kvarova koji mogu nastati tijekom rada sklopne aparature. Nadgledati se mogu osnovne karakteristike sklopne aparature, napon, struja, frekvencija, zatim pritisak medija za gašenje i izolaciju, hodo- vi i brzine kontakta, parcijalna izbijanja, izolacijska čvrstoća izolatora, zagrijavanje itd. Vršiti se pomoću običnih ili kontaktnih digitalnih ili analognih instrumenata, senzora, termovizije itd. Ako se nadgledanje provodi kontaktnim analognim instrumentima, tada se signal prenosi na optičke ili akustičke uređaje koji dojavljuju eventualnu izmjerenu grešku. Ako se vrši senzorima (induktivni, kapacitivni, transduktori) tada se sve veličine koje osjete senzori obično prenose do mikropro-

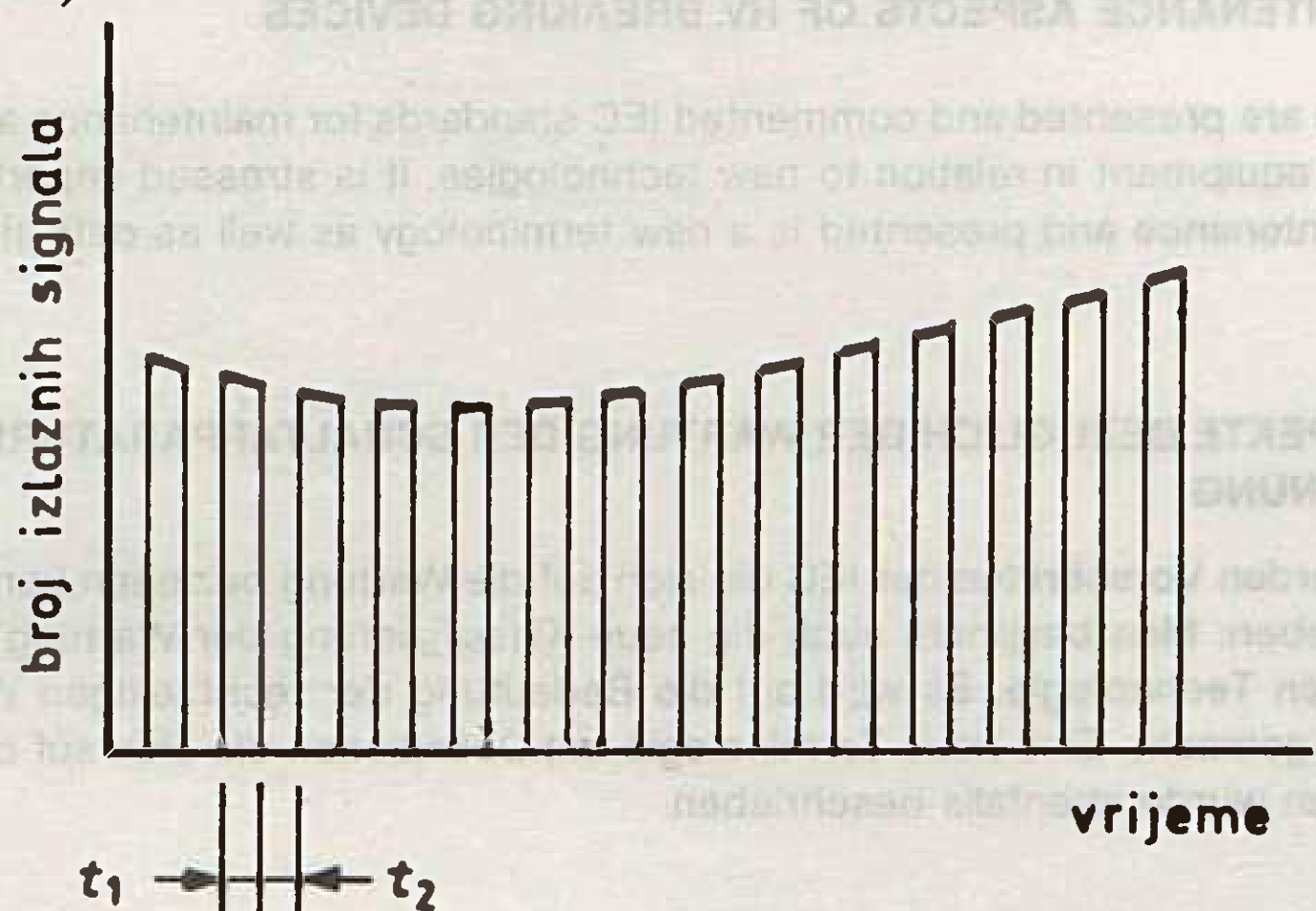


- cesora, koji ih selektira i prenosi signale do glavnog računala, koji opet određuje operaciju što se mora izvršiti. Zbog toga se nadgledanje dijeli na:
- lokalno (smješteno u upravljačkom ormariću polja)
  - daljinsko (smješteno u upravljačkoj prostoriji postrojenja)
- kontinuirano nadgledanje (definicija u točki 5.11). Karakteristika trajnog nadgledanja veoma je slična karakteristici »vane« kojom se predstavlja broj kvarova nekog proizvoda. To znači da su u početku kvarovi češći i dobiva se više signala. Zatim se pogon stabilizira i broj se signala smanjuje, a pri kraju životne dobi broj signala se povećava.



Slika 3. Kontinuirano nadgledanje (grafički prikaz)

- Nekontinuirano nadgledanje (definicija u točki 5.12)



Slika 4. Nekontinuirano nadgledanje (grafički prikaz)

- $t_1$  — trajanje nadgledanja  
 $t_2$  — pauza  
 $t_2 < 30$  minuta

- Periodsko nadgledanje (definicija u točki 5.13)



Slika 5. Periodsko nadgledanje (grafički prikaz)

Periodsko nadgledanje je kombinacija nekontinuiranog nadgledanja u kojem skupljamo signale senzora (pritisak, gustoća plina, temperature itd.), a zatim u

vremenu  $t_3$  izvršimo obradu signala i nakon toga prikupljanje novih podataka ili putem senzora ili drugom dijagnostičkom opremom (termovizija, ultrazvuk itd.).

## 5. DEFINICIJE I TERMINOLOGIJA S PODRUČJA ODRŽAVANJA

Radna grupa 13.6 JUKO-CIGRE izradila je užu terminologiju održavanja jer će se dio šire terminologije, npr. iz područja pouzdanosti, obrađivati u drugim radnim grupama. Definicije su usuglašene sa stručno-jezičnog stajališta za hrvatsko ili srpski jezik i prilagođene novoj međunarodnoj terminologiji.

### 5.1. Kvar (otkaz) eng. Failure

Gubitak sposobnosti nekog uređaja da ispuni svoju traženu funkciju ili funkcije.

Napomena: Nastanak kvara nužno ne uvjetuje prisutnost greške ako je naprezanje ili ako su naprezanja ispod utvrđenih naprezanja.

### 5.2. Veći kvar — eng. Major failure

Potpuni kvar sklopne aparature koji uzrokuje gubitak jedne ili više njegovih osnovnih funkcija.

Napomena: Za većim kvarom će odmah uslijediti promjena radnih uvjeta sistema, npr. traži se da rezervna zaštita oprema ukloni kvar, ili će uslijediti obavezno uklanjanje (isključivanje) iz pogona radi interventnog (neredovitog) održavanja. (Traži se intervencija u roku od 30 minuta)

### 5.3. Manji kvar — eng. Minor failure

Drugi kvar sklopne aparature osim većeg kvara ili svaki kvar, čak i potpuni, konstrukcijskog elementa ili podsklopa koji ne uzrokuje veći kvar sklopne aparature.

### 5.4. Greška — eng. Defect

Nesavršenost u stanju nekog uređaja (ili svojstvena slabost) koja može prouzročiti jedan ili više kvarova samog tog uređaja ili drugih uređaja u određenim uvjetima pogona, okoline ili održavanja za utvrđeno razdoblje.

### 5.5. Revizija — eng. Overhaul

Rad izvršen radi popravka ili zamjene dijelova koji se pregledom ili ispitivanjem pronađu da su ispod standarda ili to traže proizvođačeve upute o održavanju, radi obnove komponente i/ili prekidača na prihvatljivo stanje.

### 5.6. Održavanje — eng. Maintenance

Svaka radnja pregleda i revizije.

### 5.7. Pregled — eng. Inspection

Periodska vizualna kontrola glavnih svojstava sklopne aparature u pogonu bez demontaže. Ova je kontrola općenito usmjerena za tlakove plinova i/ili razine tekućina, nepropusnost, položaj releja ili zagađenost izolacijskih dijelova.

Napomena: Primjedbe koje proizlaze iz pregleda mogu biti osnova za provođenje revizije.

### 5.8. Vanjsko održavanje — eng. External maintenance

Periodske radnje poput podmazivanja, čišćenja, pranja koje se mogu izvesti dok je prekidač u pogonu.

### 5.9. Dijagnostičko ispitivanje — eng. Diagnostic test

Komparativno mjerenje provedeno za nadgledanje stanja sklopne aparature.

Napomena: Rezultati dijagnostičkog ispitivanja mogu biti osnova za provođenje revizije.

### 5.10. Nadgledanje — eng. Monitoring

Promatranje karakteristika sklopne aparature.

### 5.11. Kontinuirano nadgledanje — eng. Continuous monitoring

Trajno promatranje karakteristika sklopne aparature.

### 5.12. Nekontinuirano nadgledanje — eng. Non-continuous monitoring

Nekontinuirano (prekidno) promatranje karakteristika sklopne aparature. Senzor i procesni uređaj su trajno pričvršćeni na sklopnu aparaturu, ali se signal prenosi nekontinuirano.

### 5.13. Periodsko nadgledanje — eng. Periodic monitoring

Periodsko promatranje karakteristika sklopne aparature. Senzor i procesni uređaj su povremeno pričvršćeni na sklopnu aparaturu kad je potrebno nadgledanje.

## 6. ZAKLJUČAK

Održavanje sklopne aparature preraslo je klasične elektrostrojarske radnje i znanja stručnjaka koji vrše održavanje kod korisnika mora biti mnogo više. To se naročito odnosi na sakupljanje informacija kao dijagnostičko ispitivanje i nadgledanje. Očito je da se

poimanje o sistemu i metodama održavanja mora mijenjati ako želimo imati pouzdan pogon i neznatan broj vrlo kratkih zastoja. Poseban zadatak stručnjaka za održavanje jest suradnja s proizvođačima aparatura (i opreme općenito) na usavršavanju i povećavanju pouzdanosti.

## LITERATURA

- [1] IEC Publication 271(1974) List of basic terms, definitions and related mathematics for reliability
- [2] IEC Publication 271A(1974) First supplement to Publication 271(1974)
- [3] IEC Publication 271B(1983) Second supplement to Publication 271(1974)
- [4] IEC Publication 271C(1985) Third supplement to Publication 271(1974)
- [5] IEC 17A Secretariat 273 (1987) Guide for circuit-breaker maintenance
- [6] I. ŠTAHAN: »Programirano održavanje prekidača visokih napona«, »Elektrotehnika br. 1-1981.

## SOME MAINTENANCE ASPECTS OF HV BREAKING DEVICES

In the article are presented and commented IEC standards for maintenance and classification of equipment in relation to new technologies. It is stressed importance of on time maintenance and presented is a new terminology as well as definitions.

## EINEGE ASPEKTE BEZUGLICH DER WARTUNG DER SCHALTAPPARATUREN FÜR HOCHSPANNUNG

Im Artikel werden Vorschriften der IEC die sich auf die Wartung beziehen kommentiert und beschrieben. Man bespricht auch die neue Klassifizierung der Wartung bezüglich der neuen Technologie. Es wird auf die Bedeutung der rechtzeitigen Wartung aufmerksam gemacht. Eine neue Terminologie mit Definitionen die sich auf die Wartung beziehen wurde ebenfalls beschrieben.

## ИЗВЕСТНЫЕ СООБРАЖЕНИЯ ОБ ОБСЛУЖИВАНИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СОЕДИНИТЕЛЬНО-РАЗЪЕДИНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Представлены и прокомментированы правила МЭК об обслуживании, а также новая классификация обслуживания с учетом новой технологии. Обращается внимание на необходимость своевременного обслуживания и приводятся новая технология и определения, относящиеся к обслуживанию.

Naslov pisca:

**Ivan Štahan, dipl. inž.**  
**ETI »Rade Končar«,**  
**41000 Zagreb,**  
**Baštijanova bb, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1989-03-25

# OSVRT NA RAZVOJ I PRIMJENU SF<sub>6</sub> PREKIDAČA

Rusmir Mahmutćehajić — Silvio Hajdin, Osijek

UDK 621.316.5  
STRUČNI RAD

Prikazane su osnove razvoja i primjene visokonaponskih prekidača koji, kao medij za gašenje luka i izoliranje, koriste sumpor-heksafluorid. Zatim osobine SF<sub>6</sub> plina, osnovni tipovi prekidnih sistema s primjerima, kao i tendencije razvoja ove sklopne tehnike. Poseban osvrt daje se usporednim karakteristikama ovog tipa prekidača i drugih tipova u široj eksploataciji.

**Ključne riječi:** sklopni aparati, SF<sub>6</sub> prekidači, razvoj i primjena.

## 1. UVOD

Primjena sumpor-heksafluorida kao izolacijskog medija patentirana je 1940. u SAD (Cooper) [1], dok je njegovo korištenje kao medija za gašenje luka inicirano oko 1952. (Lingal) [1]. Paralelno s ovim aktivnostima, i u nekoliko evropskih zemalja proučavane su osobine ovog plina kao medija za prekidanje luka, kako pokazuje veći broj patenata. Ipak, u navedenom razdoblju nije objavljena ni jedna izvedba SF<sub>6</sub> prekidača\*. Može se konstatirati da se SF<sub>6</sub> plin u sklopnoj tehnici počeo primjenjivati tek u toku posljednjih 25-30 godina. Usprkos relativno kratkoj prisutnosti ove sklopne tehnike u elektroenergetskim postrojenjima, intenzivna istraživanja specijalnih osobina sumpor-heksafluorida, kao medija za gašenje luka, dielektrika i provodnika topline, uzrokovala su znatna povećanja naponskih i strujnih nivoa primjene SF<sub>6</sub> prekidača bez pribjegavanja vrlo visokim tlakovima plina ili velikom broju serijskih prekidanja.

## 2. OSVRT NA OSOBINE SUMPOR-HEKSAFLUORIDA KAO MEDIJA ZA GAŠENJE LUKA I IZOLIRANJE

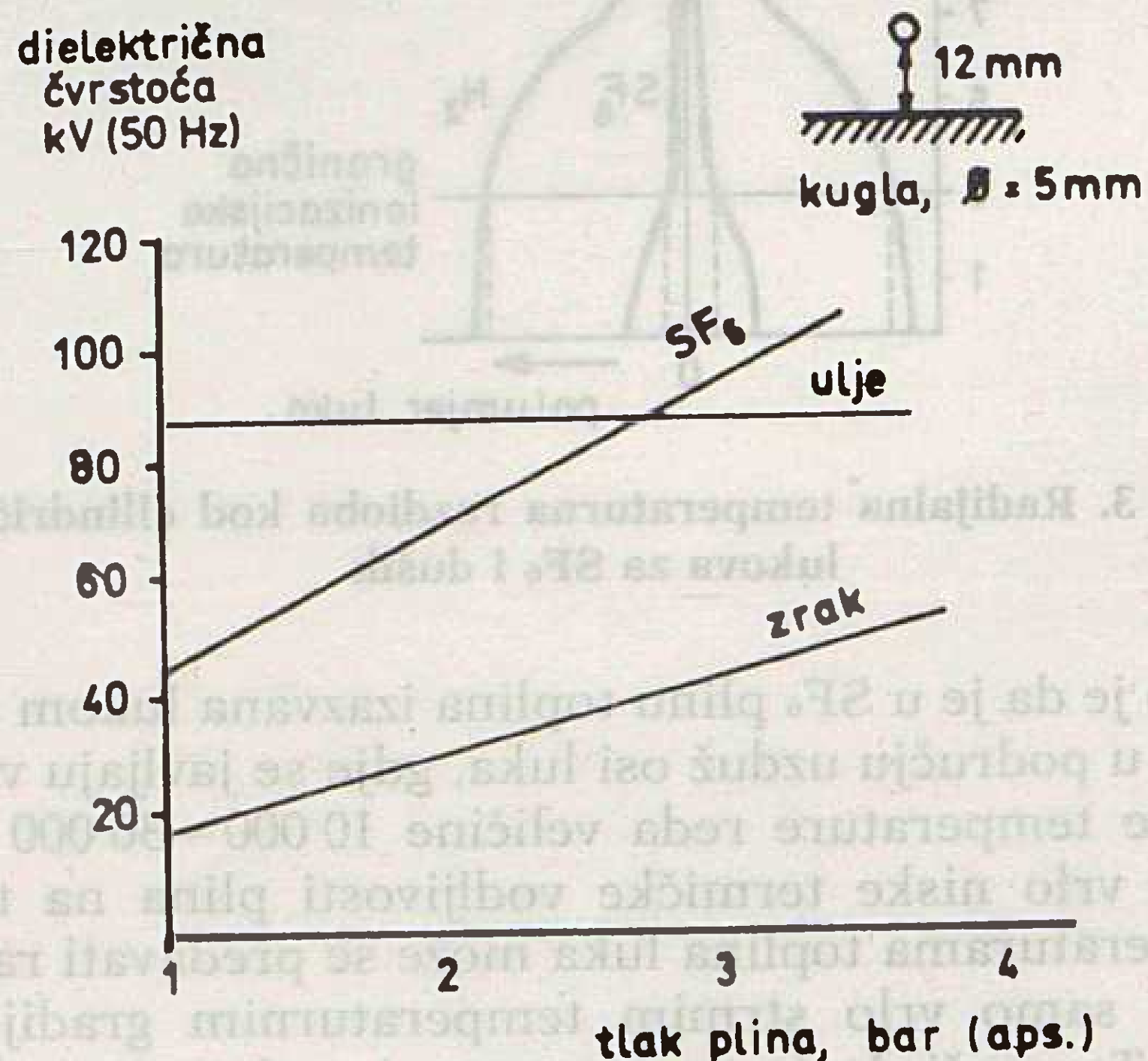
Usporedno sa širenjem primjene prekidne tehnike sa sumporheksafluoridom sistematski su proučavana i svojstva ovog plina, tako da su ona danas uglavnom dobro poznata. Budući da o tome svjedoči velik broj objavljenih radova, u ovom bismo poglavlju samo željeli istaći neke momente vezane za električne osobine sumpor-heksafluorida, a koji upućuju na razloge priznate kvalitete razmatrane prekidne tehnike.

Dielektrična čvrstoća sumpor-heksafluorida u statičkim uvjetima prikazana je na slici 1.

konstante, za čisti SF<sub>6</sub> koji struji brzom zrakom, re-  
da veličine jedne ili dvije ns [1].  
Temperatura razdioba lukova u sumpor-heksafluor-  
idu također je vrlo značajna, kako mogu pokazati  
karakteristike na slici 2.

Slika 2. Specifična toplotna i električna vodljivost sumpor-  
heksafluorida na visokim temperaturama.

Različiti izvori često pri razmatranju karakteristika izolacijskih medija navode tvari čije su karakteristike prikazane na slici 1. Iako te karakteristike od izvora do izvora donekle variraju, u ovisnosti o obliku i površini kontakata te njihovom međusobnom razmaku u toku ispitivanja, može se konstatirati da je dielektrična čvrstoća sumpor-heksafluorida dva i pol do tri puta veća od one za zrak, a pri tlakovima između 2,3 i 2,7 bara jednaka dielektričnoj čvrstoći ulja. Također, dobre karakteristike sumpor-heksafluorida kao prekidnog medija objašnjavaju se njegovom sposobnošću brzog ponovnog uspostavljanja dielektrične čvrstoće nakon prolaska luka kroz strujnu nulu. Poznato je da je jedna od najznačajnijih karakteristika medija za gašenje luka njegova termička vremenska konstanta u trenutku kada struja luka prolazi kroz svoju prirodnu nultu vrijednost; ta vrijednost treba biti vrlo malena. Apsolutna vrijednost termičke vremenske konstante sumpor-heksafluorida pri visokoj brzini strujanja dobivena je različitim eksperimentima. Moguće je postići vrijednost vremenske

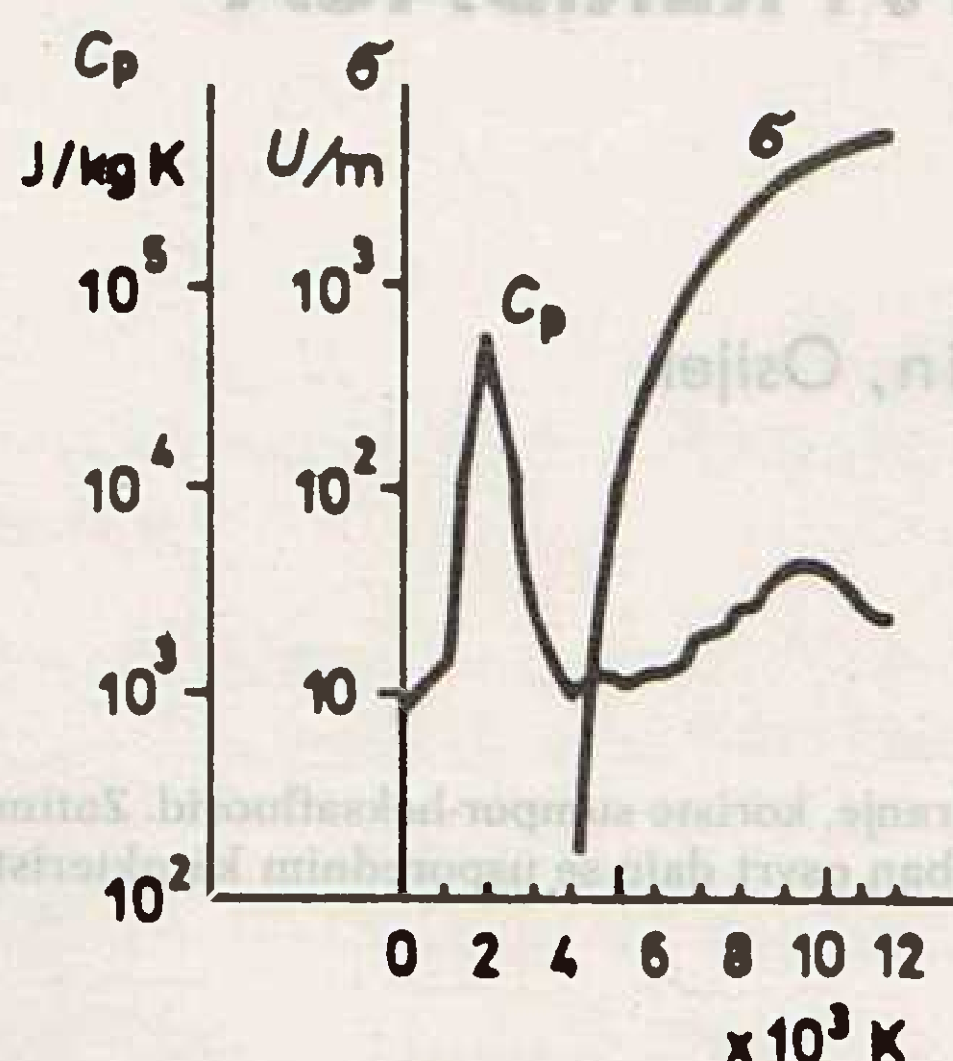


Slika 1. Usporedne karakteristike dielektrične čvrstoće SF<sub>6</sub>, zraka i izolacijskog ulja pri 50 Hz i različitim tlakovima

\* SF<sub>6</sub> prekidač (engl. sulphurhexafluoride circuit-breaker; franc. disjoncteur à hexafluorure de soufre; njem. Schwefelhexafluorid-Leistungs-schalter; rus. элегазовиј викључатељ): Prekidač čiji se kontakti otvaraju i zatvaraju u sumpornom heksafluoridu (JUS N.AO.441, termin 2, točka 4.29).

konstante, za čisti SF<sub>6</sub> koji struji brzinom zvuka, reda veličine jedne ili dvije ns [1].

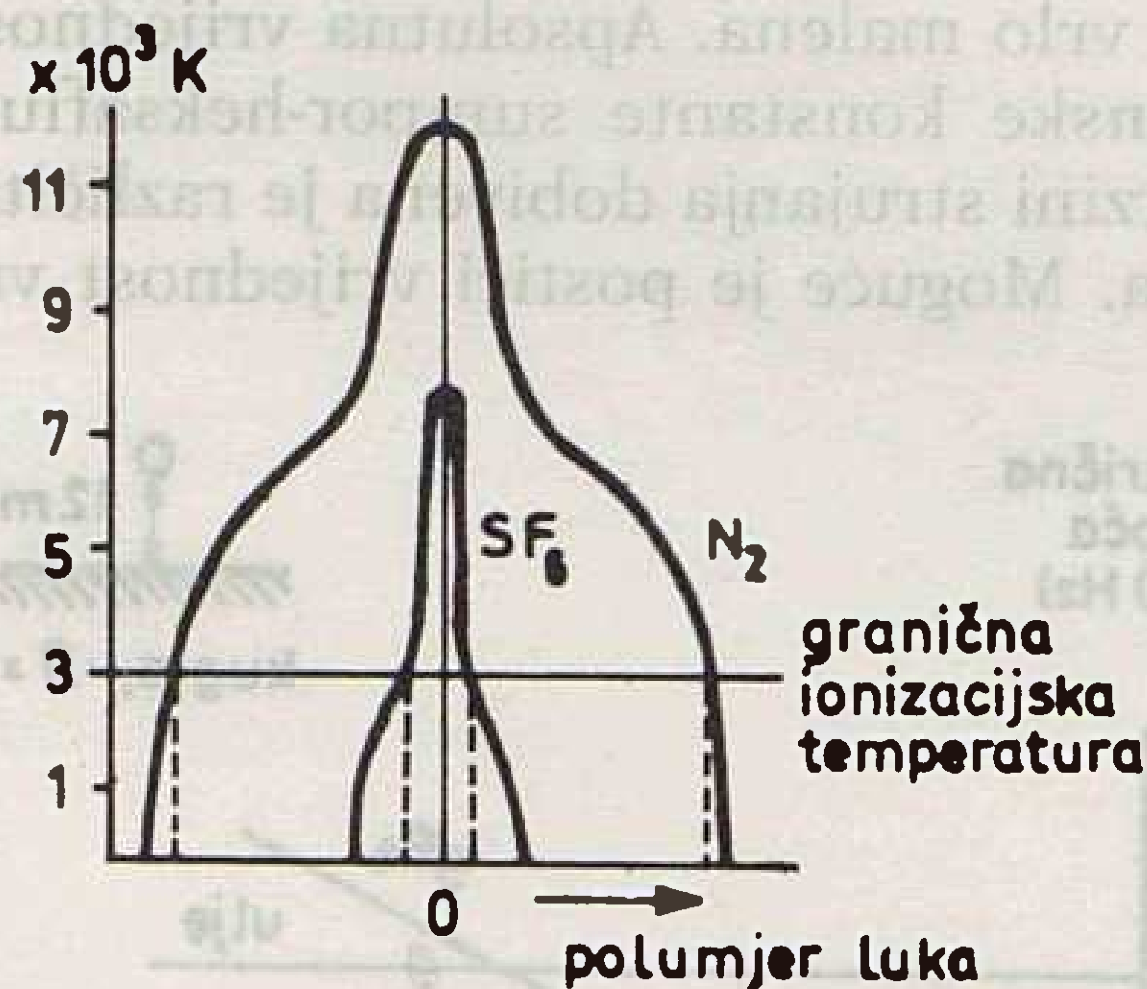
Temperaturna razdioba lukova u sumpor-heksafluoridu također je vrlo značajna, kako mogu pokazati karakteristike na slici 2.



Slika 2. Specifična toplinska i električna vodljivost sumpor-heksafluorida na visokim temperaturama

Neuobičajena međuovisnost između specifične topline  $C_p$ , koja također može predstavljati termičku vodljivost plina  $K$ , te električne vodljivosti plina  $\sigma$ , predstavlja osobitost sumpor-heksafluorida na visokim temperaturama. Zanimljivo je da se povećanje specifične topline pojavljuje na prilično niskim temperaturama, od 2 000 do 2 500 K, pri čemu je električna vodljivost gotovo zanemariva. Maksimalna vrijednost  $C_p$  u ovim temperaturnim granicama uzrokovana je prisutnošću plinske termodisocijacije, koja se događa unutar istih temperaturnih granica i gotovo završava ispod 4 000 K.

Prikaz radijalne temperaturne razdiobe kod cilindričnih lukova koji nisu podvrgnuti strujanju, za SF<sub>6</sub> i dušik, daje slika 3.



Slika 3. Radijalna temperaturna razdioba kod cilindričnih lukova za SF<sub>6</sub> i dušik

Očito je da je u SF<sub>6</sub> plinu toplina izazvana lukom nastala u području uzduž osi luka, gdje se javljaju vrlo visoke temperature reda veličine 10 000–30 000 K. Zbog vrlo niske termičke vodljivosti plina na tim temperaturama toplina luka može se predavati radijalno samo vrlo strmim temperaturnim gradijentom. To znači da će temperatura i u slojevima vrlo blizu osi luka biti relativno niska i padat će ispod ionizacijske temperature reda veličine 3 000 K. Ovo

područje imat će malu ili praktički nikakvu električnu vodljivost (sl. 2) zbog velike tendencije privlačenja slobodnih elektrona od molekula SF<sub>6</sub> plina, dok će termička vodljivost biti vrlo visoka.

Na osnovi navedenog struja luka u približavanju nultoj vrijednosti teče u SF<sub>6</sub> plinu kroz vrlo tanku jezgru luka visoke temperature, okruženu električki nevodljivim slojem. Na taj će način, nakon kritične vrijednosti – nulte točke struje, dielektrična čvrstoća prekidača biti uspostavljena vrlo brzo, i on će moći izdržati vrlo visoke brzine porasta prijelaznog povratnog napona.

Kod luka koji gori u dušiku uvjeti su znatno nepovoljniji zbog dobre termičke vodljivosti plina u području temperatura između 7 000 i 3 000 K. Luk nema tanku jezgru, a temperaturni gradijent je nizak. Polumjer luka ostaje velik; odgovarajuća vremenska konstanta također je velika – proporcionalna je kvadratu polumjera [1]. Vanjski slojevi, temperatura ispod izolacijskog nivoa ostaju električki vodljivi radi odsutnosti elektronegativnih osobina dušika. Usporedba gorenja luka u dušiku i SF<sub>6</sub> očito govori u prilog potonjem.

Jedinstvena kombinacija termičkih i električnih karakteristika sumpor-heksafluorida osnova je njegovih izuzetnih osobina kao medija za gašenje luka, koje su omogućile upotrebu ovog tipa prekidača pri visokim brzinama porasta prijelaznog povratnog napona bez upotrebe otpornika te prekidanje struja magnetiziranja transformatora bez pojava prenapona.

Čitalac koji se više zanima za fizikalne, kemijske i električne osobine sumpor-heksafluorida može naći podatke kako u stranim, tako i domaćim izvorima, npr. u radu I. Štahana i I. Naumovskog [2].

### 3. OSNOVNE TEHNIČKE KARAKTERISTIKE SF<sub>6</sub> PREKIDAČA

#### 3.1. Osnovni tipovi prekidnih sistema

##### 3.1.1. Općenito

Potreba za zadržavanjem izlaznog plina i s ekonomskog i sa zdravstvenog aspekta zahtijeva zatvoreni sistem strujanja u izvedbama SF<sub>6</sub> prekidača.

Sistem kružnog strujanja sumpor-heksafluorida kroz prekidač iz područja visokog tlaka u područje niskog tlaka, tzv. dvotlačni sistem, usvojen je u prvoj generaciji SF<sub>6</sub> prekidača. Ova izvedba bila je rezultat spoja primjene novog medija za izoliranje i gašenje luka, s jedne strane, i postojećih tehnika dokazanih u primjeni tradicionalnih prekidača, s druge strane.

Drugi osnovni tip prekidnog sistema – potisni (autoneumatski, impulsni, puffer) – zasniva se na ostvarivanju visokog tlaka u prijelaznom periodu adijabatskim komprimiranjem sumpor-heksafluorida u toku operacije otvaranja; energija za ostvarivanje ove operacije osigurava se vanjskim mehanizmom. Šira primjena potisnih prekidača datira od početka sedamdesetih godina, a do danas su razvijene brojne kvalitetne izvedbe. Intenzivna istraživanja ponašanja

ovog tipa prekidača posredno su dovela i do razvoja SF<sub>6</sub> prekidnih sistema s donekle drugačijim principima gašenja, koji se dokazuju ili će se dokazati pri eksploataciji u suvremenim sklopnim postrojenjima.

### 3.1.2. Dvotlačni sistemi

Iako razdoblje šire eksploatacije SF<sub>6</sub> prekidača nije dugo, kako je u uvodu spomenuto, može se konstatirati da, s postojeće vremenske distance, uglavnom prevladava stav kako dvotlačni SF<sub>6</sub> prekidači imaju slabije karakteristike od potisnih SF<sub>6</sub> prekidača, i to jednim dijelom zbog svoje veće složenosti, a drugim dijelom zbog relativno slabijih osobina u pogledu brzine porasta prijelaznog povratnog napona. Zbog toga je napuštena proizvodnja ovog tipa prekidača, iako je razvijen veliki broj izvedbi s uzemljenim spremnikom, spremnikom pod naponom u modularnoj tehnici, metalom oklopljenih postrojenja, te suvremene izvedbe SF<sub>6</sub> prekidača redovito koriste potisni sistem ili kombinirane sisteme koji uključuju i potisni efekt, pa će, u nastavku teksta, uz ovaj osvrt na dvotlačne sisteme, najveći dio prostora biti posvećen potisnim sistemima.

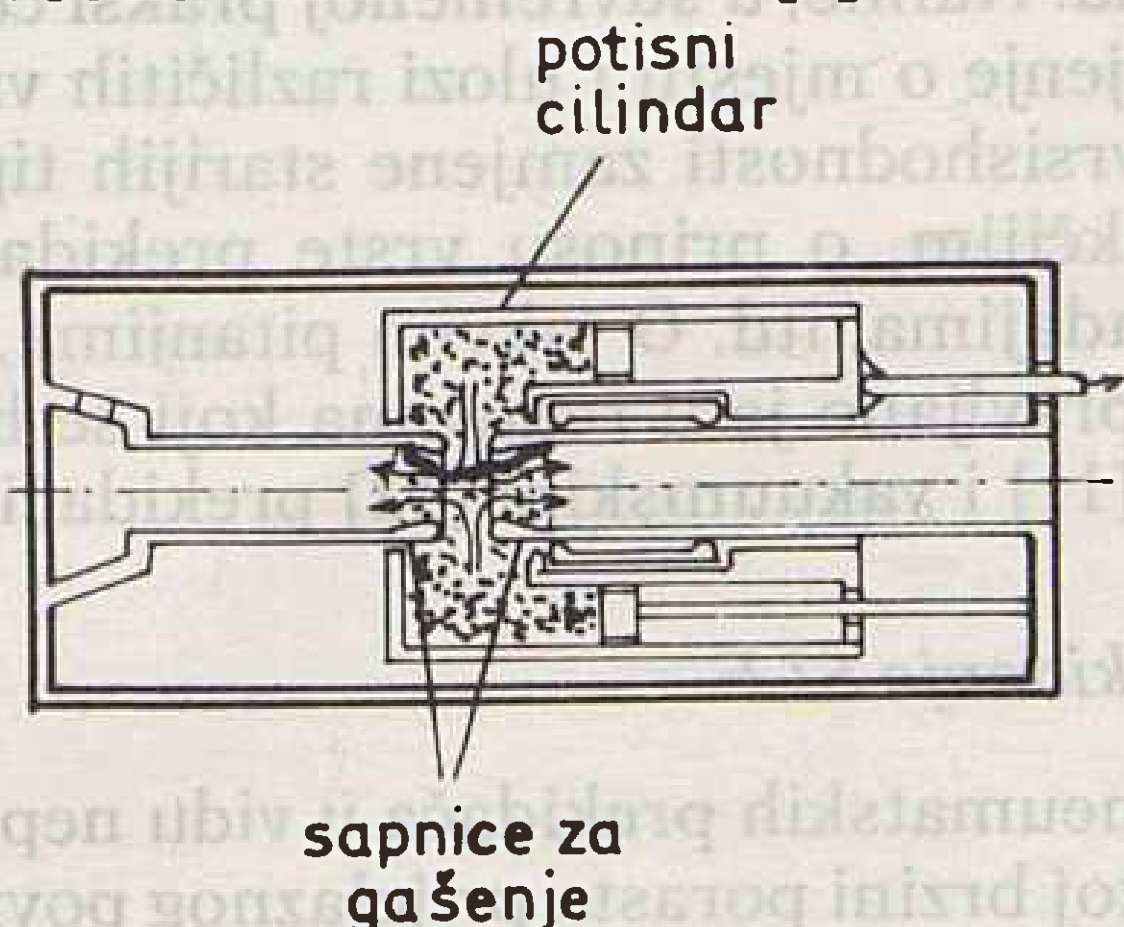
### 3.1.3. Potisni sistemi

Potisni tip SF<sub>6</sub> prekidača kako je spomenuto, stvara komprimiranjem plina visoki tlak u potisnom cilindru samo u toku prekidanja. U skladu s tim, njegova konstrukcija je jednostavna; primijenjen je malen broj dijelova i komponenata, čime se postiže visoka pouzdanost. Mogućnost odstranjivanja zamršenog sistema visokog tlaka kod dvotlačnih SF<sub>6</sub> prekidača, s njihovim zahtjevima za određenom temperaturom i minimalnom vlažnošću plina te postizanjem neovisnosti o okolnim uvjetima, također je predstavljala važan doprinos pojednostavnjenju.

Karakteristika ovakvog prekidača, zajedno s navedenim prednostima, usmjerila je najveći dio proizvođača, programima proizvodnje prekidača za najviše napomene na osnovama potisnih principa sa sumporheksafluoridom.

Sljedećih nekoliko primjera potisnih SF<sub>6</sub> prekidača treba da pokažu neke aktualne izvedbe potisnih prekidnih komora i naznače mogućnosti ove prekidne tehnike u primjeni na visokim i najvišim naponskim i strujnim nivoima.

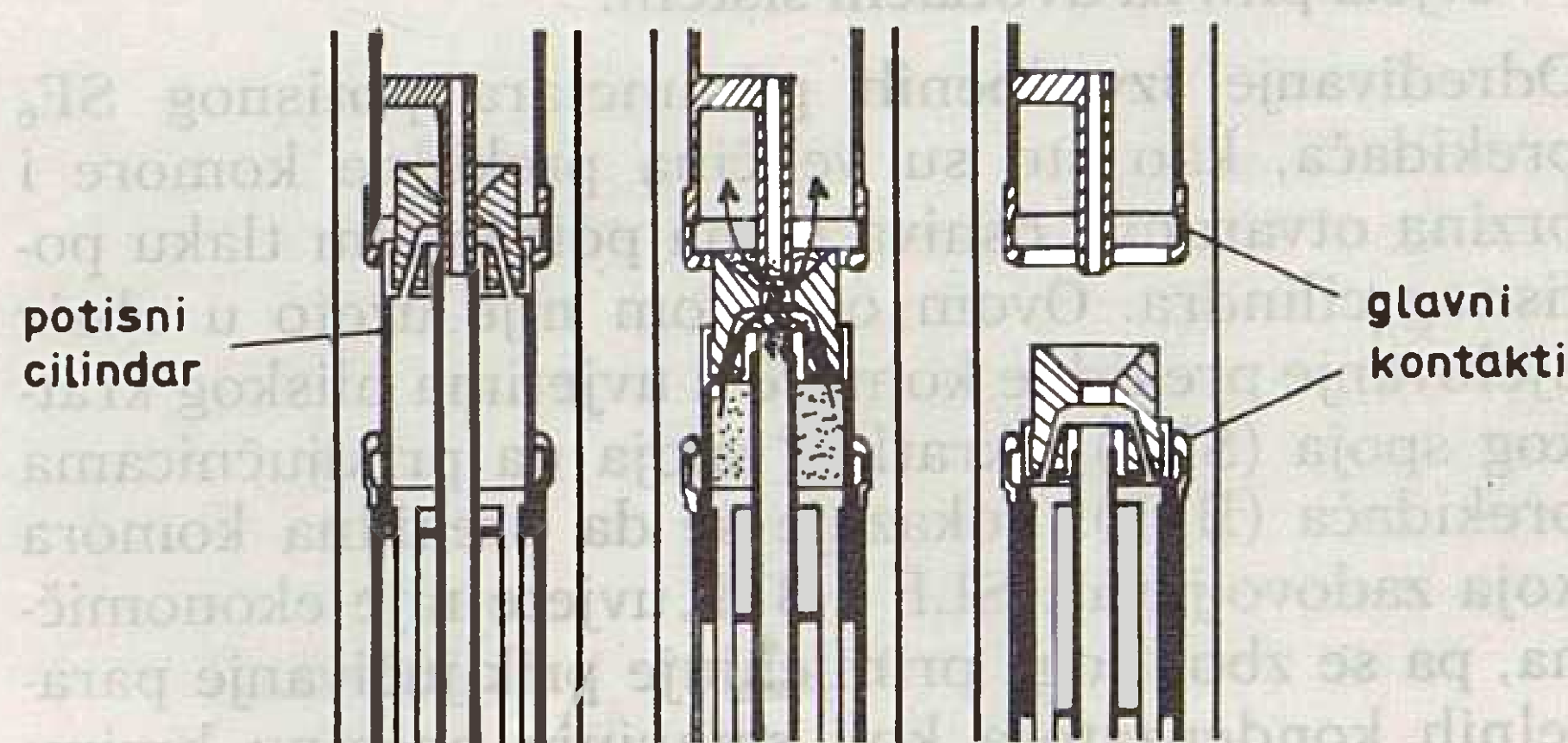
Slika 4. daje shematski prikaz potisnog prekidača BK, koji pod oznakom K3AS1 licencno proizvodi domaći proizvođač »Rade Končar« [3].



Slika 4. Gašenje luka u BK prekidaču, shematski

BK potisni prekidač predstavlja drugu generaciju SF<sub>6</sub> prekidača u proizvodnom programu tvrtke »Siemens«, uvedenu 1974. [4]. Glavni elementi prekidne jedinice i njihova međuovisnost prikazani su na slici 4, uzimajući kao primjer prekidač čije je prekidno vrijeme tri periode (60 Hz). Također je razvijen prekidač iste familije s prekidnim vremenom od dvije periode (60 Hz). BK potisni prekidači se izvode za napone između 123 i 800 kV, nazivne struje između 1 250 i 4 000 ampera i prekidne moći između 25 i 80 kA. Broj prekidnih jedinica po polu kreće se između 1 i 4, u ovisnosti o primijenjenom naponu. Prekidači su izvedeni kako za vanjsko postavljanje, tako i za instaliranje u sklopnjoj opremi izoliranoj sumporheksafluoridom.

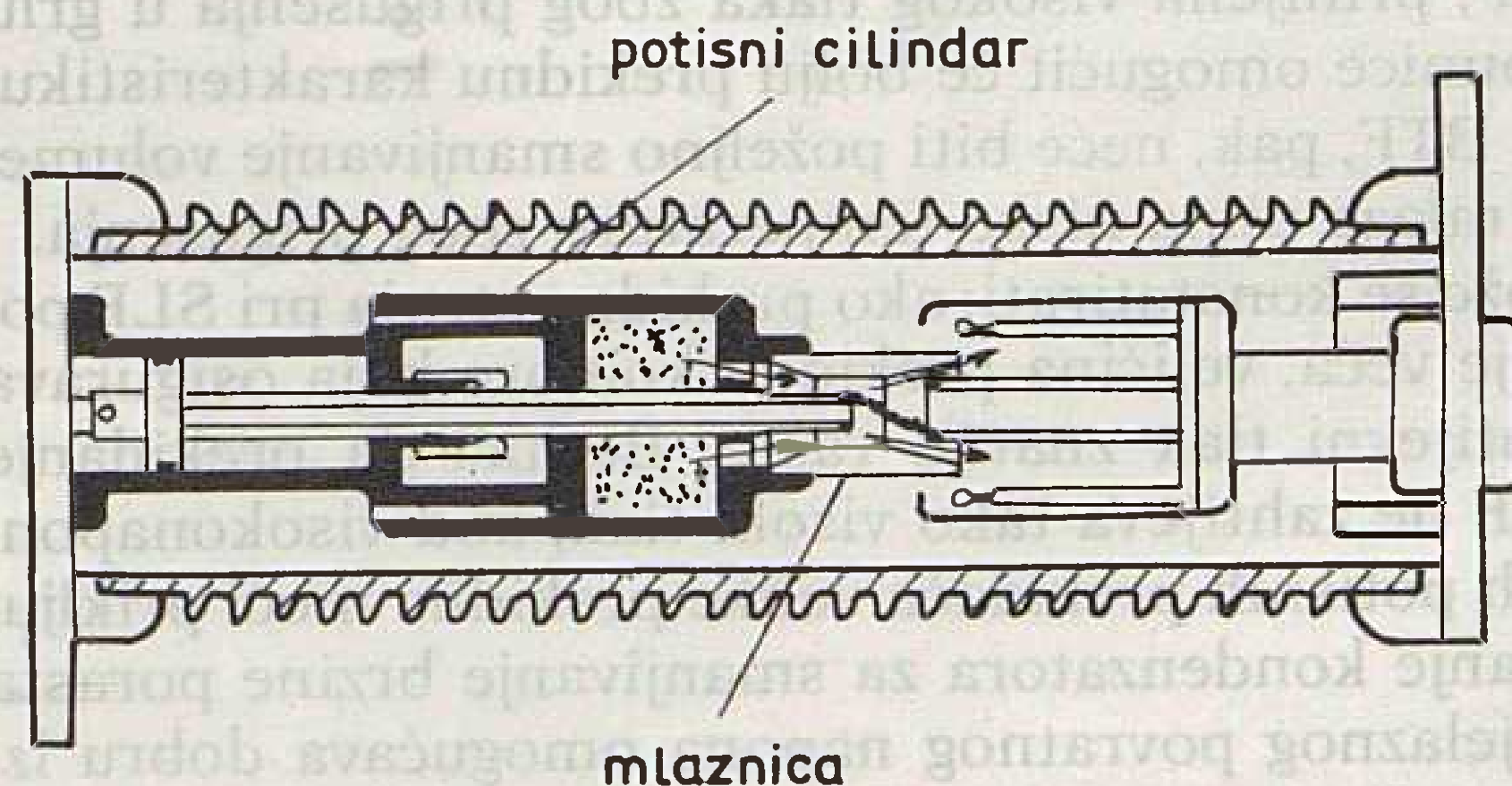
Slika 5. daje shematski prikaz potisnog prekidača HPL (ASEA) namijenjenog za vanjsko postavljanje.



Slika 5. Gašenje luka u HPL prekidaču, shematski

HPL potisni prekidači izvode se za napone između 123 i 550 kV, nazivne struje između 2 500 i 3 150 A i prekidne moći između 40 i 50 kA. Prekidno vrijeme iznosi dvije periode (50 Hz) [5].

Slika 6. daje shematski prikaz potisnog prekidača familije SFE domaćeg proizvođača »Energoinvesta«, za vanjsko postavljanje.



Slika 6. Gašenje luka u SFE prekidaču, shematski

Prekidači tipa SFE rađeni su na modularnom principu s unificiranim sastavnim sklopovima i dijelovima. Izvode se za napone između 72,5 i 420 kV, nazivne struje do 3150 A i prekidne moći 31,5 odnosno 40 kA. Prekidno vrijeme iznosi dvije i pol periode (50 Hz), a koriste se jedna ili dvije prekidne jedinice po polu u ovisnosti o primijenjenom naponu [6].

Paralelno s razvojem potisnih prekidača otvorenih izvedbi intenzivno su razvijana i usavršavana metalom oklopljena kompaktna postrojenja sa SF<sub>6</sub> plinom ne samo u prekidaču već i, za svrhe izoliranja, u ostalim komponentama postrojenja. Općenito su u

ovakvim postrojenjima usvojena rješenja primijenjena kod otvorenih izvedbi.

### 3.2. Prekidanje struje u potisnim SF<sub>6</sub> prekidačima

Lučni fenomeni u potisnom tipu SF<sub>6</sub> prekidača razlikuju se od onih kod dvotlačnog tipa u sljedećim točkama [7]:

- Ulazna strana tlaka plina znatno ovisi o karakteristikama upravljačkog mehanizma, struje i vremena luka.
- Dužina i vrijeme luka potisnog tipa prekidača su relativno veći nego kod dvotlačnog prekidača. Prema tome, u potisnom prekidaču javlja se visoka energija luka.
- Glavni prostor uspostavljanja dielektrične čvrstoće ispunjava ispušteni plin za potisni sistem, a svježi plin za dvotlačni sistem.

Određivanje izvedbenih parametara potisnog SF<sub>6</sub> prekidača, kao što su veličina prekidne komore i brzina otvaranja, osniva se na potrebnom tlaku potisnog cilindra. Ovom osnovom nije uzeto u obzir djelovanje prekidne komore u uvjetima bliskog kratkog spoja (SLF) i kratkog spoja na priključnicama prekidača (BTF). Pokazuje se da prekidna komora koja zadovoljava i SLF i BTF uvjete nije ekonomična, pa se zbog toga primjenjuje priključivanje paralelnih kondenzatora koji smanjuju početnu brzinu porasta prijelaznog povratnog napona pri SLF. Pri BTF i SLF uvjetima prekidanje BTF je manje osjetljivo na tlak, pri čemu prekidna karakteristika ovisi o brzom premještanju izlaznog plina visoke temperature. S druge strane, prekidna karakteristika pri SLF pod znatnim je utjecajem tlaka. U skladu s tim, tlak potisnog cilindra određen je prekidnom karakteristikom pri SLF.

U pogledu utjecaja oblika sapnice, pri prekidanju SLF, primjena visokog tlaka zbog prigušenja u grlu sapnice omogućit će bolju prekidnu karakteristiku. Pri BTF, pak, neće biti poželjno smanjivanje volumena mlaza plina niske temperature zbog prigušenja. Može se konstatirati: ako prekidna struja pri SLF postaje veća, veličina prekidne komore koja osigurava zahtijevni tlak znatno raste. Budući da prekidanje BTF ne zahtijeva tako visoki tlak, kod visokonaponskih potisnih prekidača velike prekidne moći priključivanje kondenzatora za smanjivanje brzine porasta prijelaznog povratnog napona omogućava dobru izbalansiranost prekidnih tlakova za SLF i BTF uvjete prekidanja. To također omogućava racionalnu izvedbu prekidne komore i smanjenje potrebne energije upravljačkog mehanizma.

Uspješni rezultati prekidanja potisnim prekidačem za 300 kV i 50 kA s jednom prekidnom jedinicom dokazali su gore spomenuti princip izvođenja potisnih komora [7].

U pogledu karakteristika potisnih SF<sub>6</sub> prekidača pri prekidanju malih induktivnih struja može se konstatirati da, iako postoji rezanje struje, ne dolazi do generiranja prenapona koji mogu predstavljati opasnost za prekidač, pa nisu potrebni otpornici za ograničenje prenapona. Ovako dobra svojstva u pogledu

prekidanja malih induktivnih struja direktna su posljedica primjene potisnog sistema i uvjeta strujanja.

### 3.3. Usporedne karakteristike prekidnih sposobnosti prekidača za visoke i najviše napone

Ovim poglavljem bit će razmotreni prekidači primijenjeni u području visokih i najviših napona — SF<sub>6</sub> potisni, pneumatski i malouljni prekidači.

Iako nema gotovo nikakve sumnje u nadmoć SF<sub>6</sub> potisnog prekidača u odnosu prema ostalim spomenutim tipovima, ovakva usporedba može pokazati razloge takve nadmoći i dati konkretne pokazatelje zasnovane na podacima [8] koji se mogu smatrati relevantnim u prikazu položaja razmatranih prekidača u aktualnim rasklopnim postrojenjima.

#### 3.3.1. Prekidna moć

Pneumatski prekidač dokazao se u dosezanju najviših prekidnih struja od 100 kA. Tu granicu mogu doseći i SF<sub>6</sub> potisni prekidači [9], a navodi se da je, na osnovi izvrsnih karakteristika SF<sub>6</sub> plina, moguće prekidati i veće struje kratkog spoja [10], uz rješenje upravljačkog sistema s dovoljnom pokretačkom energijom.

Prekidna moć od 63 kA za malouljne prekidače čini gornju granicu.

#### 3.3.2. Prekidno vrijeme (na bazi 50 Hz)

S pneumatskim prekidačima moguće je dostići prekidno vrijeme od jedne periode, ali na račun drastično povećane složenosti, sa svim svojim negativnim popratnim efektima.

SF<sub>6</sub> potisni prekidač ima »prirodno« prekidno vrijeme od dvije do dvije i pol periode. Kraća vremena, otprilike jednu i pol periodu, moguće je dostići, ali uz značajno povećanje pokretačke energije.

»Prirodno« prekidno vrijeme malouljnog prekidača jest dvije i pol do tri periode. Ono bi se mnogo smanjiti do dvije periode upotrebom veće pokretačke energije, no budući da je na mjestima upotrebe ovakvih prekidača dvije i pol do tri periode prekidnog vremena obično prihvatljivo, ne postoje opravdani razlozi za smanjivanje vremena.

Cjelovitiji uvid u usporedna svojstva različitih vrsta prekidača s kojima se susrećemo u suvremenim elektroenergetskim sistemima važan je preduvjet djelotvornog projektiranja, građenja, održavanja i razvijanja sistema. Naime, u suvremenoj praksi često susrećemo dvojenje o mjestu i ulozi različitih vrsta prekidača, o svrsishodnosti zamjene starijih tipova novijim i drukčijim, o prinosu vrste prekidača pogonskim događajima, itd. O takvim pitanjima, pored ostalog, raspravljano je u redovima koji se bave pneumatskim [11] i vakuumskim [12] prekidačima.

#### 3.3.3. Prekidanje SLF

Slabost pneumatskih prekidača u vidu nepouzdanosti pri velikoj brzini porasta prijelaznog povratnog napona objašnjava se dugom vremenskom konstantom

luka u zraku. Stoga su pneumatski prekidači gotovo uvijek opremljeni niskoomskim prekidnim otpornicima i pripadnim otporničkim prekidačima, što dodatno opterećuje izvedbu.

SF<sub>6</sub> potisni prekidači mogu izdržati prilično visoke brzine porasta prijelaznog povratnog napona, no struje iznad 50 kA mogu biti problematične za jednostruke prekidne jedinice i mogu zahtijevati dvije prekidne ili više jedinice u seriji. Najnepovoljniji slučaj SLF javlja se obično na više od 90% nazivne prekidne moći, tj. za poremećaje na udaljenosti koja je manja od jednog kilometra od prekidača. Dodavanjem paralelnog kondenzatora, kako je spomenuto u odjeljku 3.2, početna brzina porasta prijelaznog povratnog napona može se smanjiti na prihvatljiv nivo. Malouljni prekidači nemaju poteškoća pri SLF jer su oni neosjetljivi na brzinu porasta prijelaznog povratnog napona.

### 3.3.4. Početni prijelazni povratni napon

Ni pneumatski ni malouljni prekidači nemaju poteškoća s početnim prijelaznim povratnim naponom od strane izvora jer je maksimalna vrijednost lučnog napona u trenutku gašenja viša od maksimalne vrijednosti početnog prijelaznog povratnog napona.

Za SF<sub>6</sub> potisni prekidač, početni prijelazni povratni napon mora se uzeti u obzir pri određivanju nazivne prekidne moći. Testovi BTF i SLF moraju se provesti i uz djelovanje udara početnog prijelaznog povratnog napona od izvora.

### 3.3.5. Male induktivne struje

Nivo rezanja struje pneumatskih prekidača obično je viši nego kod ostalih tipova. To može izazvati opasne prenapone pri isklapanju malih induktivnih struja, npr. prigušnica. Radi ograničenja prenapona opet će biti potrebni otpornici za prigušivanje.

SF<sub>6</sub> potisni i malouljni prekidači imaju vrlo sličan nivo rezanja, ali SF<sub>6</sub> potisni prekidač ipak ima nešto niži nivo rezanja. Isključivanje malih induktivnih struja obično ne uzrokuje poteškoće ako se primjenjuju SF<sub>6</sub> potisni ili malouljni prekidači.

### 3.3.6. Prekidanje kapacitivnih struja

Pneumatski i SF<sub>6</sub> potisni prekidači obično su izvedeni s dovoljnom brzinom kontakata kako ne bi dolazilo do preskoka pri prekidanju kapacitivnih struja. Moderni malouljni prekidači ne trpe od preskoka primjenom stalnog tlačenja prekidne komore ubrizgavanjem ulja.

### 3.3.7. Prekidanje bez strujnih nula

U blizini velikih generatorskih postrojenja mogu se pojaviti poremećaji sa strujama kratkog spoja toliko visoke istosmjerne komponente da struja ne prolazi kroz nultu vrijednost u toku nekoliko perioda. Pneumatski i malouljni prekidači neće imati poteškoća u takvim slučajevima, jer će razmjerno visoki napon luka imati velik pad nakon otvaranja prekidnog sis-

tema, uzrokujući tako brzo prigušenje istosmjerne komponente i prolazak struje kroz nultu vrijednost. Niski napon luka u nekim SF<sub>6</sub> prekidačima može biti nedostatak jer oni neće biti u stanju uzrokovati pojavu strujne nule za trajanja zapuha potisnog sistema. Tek vrlo velike asimetrije, koje uzrokuju gotovo 20 ms između strujnih nulâ, mogu uzrokovati poteškoće ako SF<sub>6</sub> potisni prekidač nije izveden s dovoljnom marginom u trajanju zapuha.

### 3.3.8. Električna trajnost

Habanje kontakata, erozija izolacijskog materijala i degradacija medija za gašenje određuju električnu trajnost. Ona može biti izražena kroz akumuliranu prekinutu struju u kA između revizijâ.

S obzirom na to SF<sub>6</sub> potisni prekidač nadmoćan je nad ostalim tipovima zbog niskog napon luka. Akumulirana struja može iznositi 600 do 1 000 kA uz punu vrijednost struje kratkog spoja ili više nego dvostruko uz struje raspodijeljene između nazivne trajne i nazivne prekidne vrijednosti.

Pneumatski i malouljni prekidači imaju električnu trajnost od 500 kA akumulirane prekinute struje kratkog spoja. Ta se vrijednost procjenjuje kao sasvim prihvatljiva jer sa širokom marginom pokriva struju kratkog spoja akumuliranu kroz 10 do 15 godina rada u gotovo svim praktičnim primjenama.

## 3.4. Tendencije razvoja sklopne tehnike sa sumpor-heksafluoridom

Većina se stručnjaka slaže s konstatacijom da mogućnosti primjene sumpor-heksafluorida i razvoja prekidnih sistema na toj osnovi nisu ni izdaleka iscrpljene. Saznanja do kojih se došlo na osnovi intenzivnih istraživanja ponašanja potisnih SF<sub>6</sub> prekidača već su unatrag nekoliko godina rezultirala sistemima koji se mogu smatrati sljedećom generacijom sklopne tehnike sa sumpor-heksafluoridom.

U nastavku će biti razmotrene neke od tih tendencija.

### 3.4.1. Primjena sumpor-heksafluorida u kombinaciji s drugim plinovima

Nedostatak svih tipova visokonaponskih SF<sub>6</sub> prekidača leži u poteškoći osiguravanja njihove eksploatacije na niskim temperaturama okoline, jer pri apsolutnom tlaku od 3,5 bara (20 °C) dolazi do ukapljivanja sumpor-heksafluorida pri temperaturi okoline –40 °C [13]. prema tome, bez dodatnog zagrijavanja sumpor-heksafluorida njegov apsolutni tlak u prekidaču koji treba funkcionirati pri temperaturi –40 °C ne smije prelaziti iznos od 3,5 bar (20 °C). Daljnjim smanjenjem temperature okoline snižava se i granična vrijednost apsolutnog tlaka u prekidaču, pa tako on pri –50 °C ne smije biti viši od 2 bara, a kod –60 °C 1 bar.

Uobičajeni tlak u potisnim SF<sub>6</sub> prekidačima kreće se u granicama između 5 i 6 bara, što omogućava njihovu eksploataciju bez dogrijavanja pri temperaurama okoline između –30 i –25 °C, respektivno. Te se gra-

nice, za primjenu SF<sub>6</sub> prekidača u mnogim zemljama, ne mogu smatrati prihvatljivima.

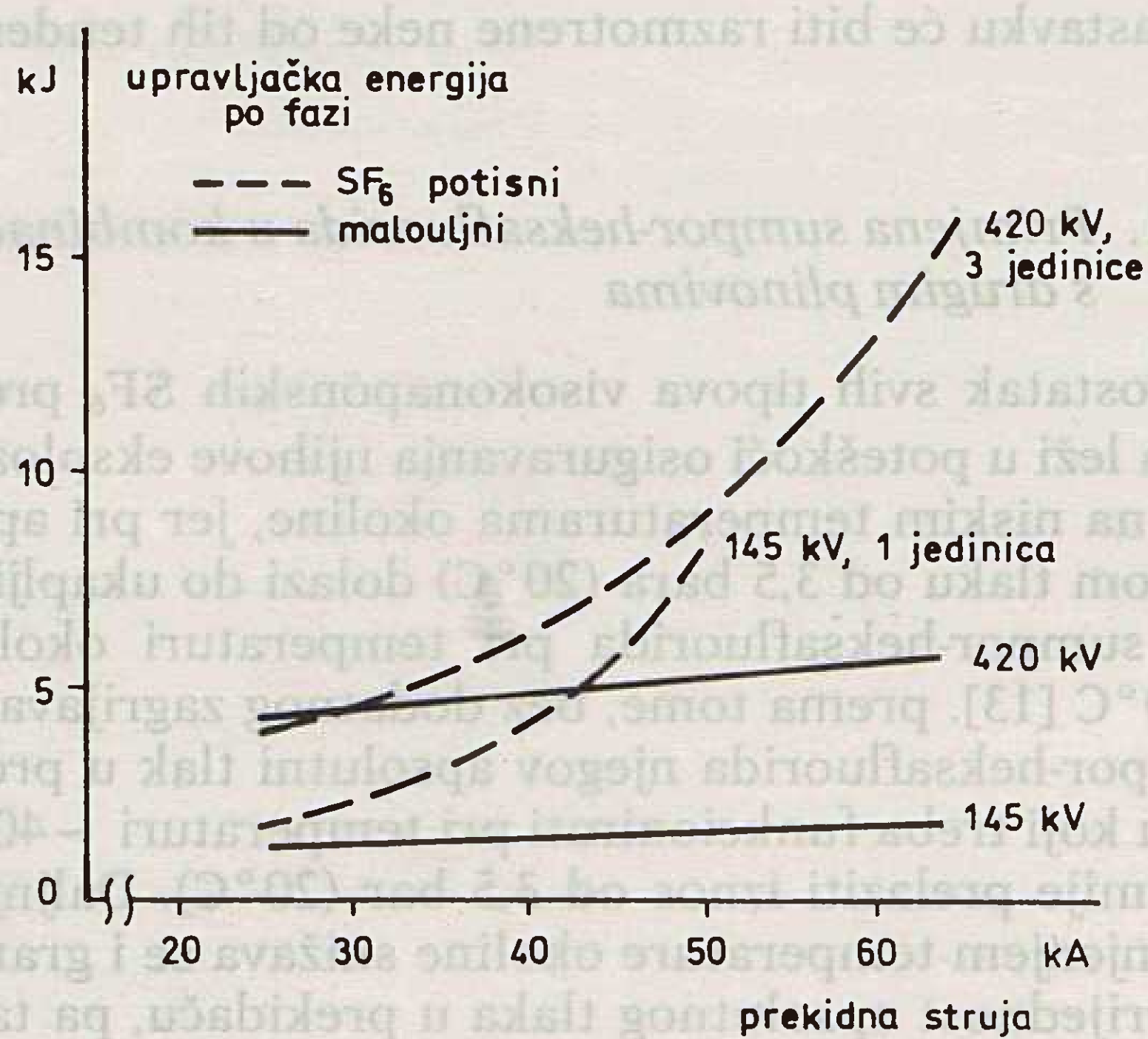
Ovakva situacija uzrokovala je ispitivanja mogućnosti primjene sumpor-heksafluorida u mješavini s drugim plinovima, uz zadržavanje visokih kvaliteta medija za izoliranje i gašenje luka. Kako pokazuju ispitivanja, dodatak dušika i u većim količinama gotovo ne utječe na dielektričnu čvrstoću, a omogućava upotrebu prekidača pri temperaturi okoline od –40 °C i apsolutnom tlaku sumpor-heksafluorida od 3,5 bara. Ako se primjenjuje helij, njegov udio u mješavini može biti i veći za iste uvjete primjene.

S povećanim zanimanjem znanstvene i stručne javnosti za pitanja uzajamnosti između suvremene tehnologije i razaranja ozonskog omotača Zemlje, razumljivo, među stručnjacima se ponovo javilo pitanje o mogućem utjecaju sumpor-heksafluorida. Na to je pitanje upozorio i I. Štahan [14] polazeći od objašnjenja koje je J. J. Višnjovski dao o svom patentu potpuno zatvorene prekidne komore izolirane plinom SF<sub>6</sub>, koja bi se zamjenjivala jednako kao što se zamjenjuje prekidne komore vakuumskih prekidača, te na taj način spriječilo dospijevanje SF<sub>6</sub> plina u atmosferu. Međutim, oslanjajući se na istraživanja koje su provedena u nas [15] i ustvrđena svojstva SF<sub>6</sub> plina u procesima lučnih pražnjenja, nije moguće ustvrditi uzajamnosti između razaranja ozonskog sloja i korištenja SF<sub>6</sub> plina u sklopnoj tehnici. Valja, međutim, istaknuti da bi tome pitanju trebalo pokloniti dodatnu pažnju kako bi se ili potvrdila ili pouzdano otklonila postojeća dvojjenja.

### 3.4.2. Razvoj prekidnih sistema bez potisnog efekta

Među razlozima koji su uzrokovali razvoj prekidnih sistema bez potisnog efekta, mogu se istaći sljedeći:

- a) izrazita međuovisnost potrebne upravljačke energije i prekidne moći prekidača. Za prikaz ove međuovisnosti može poslužiti slika 7 [8];



Slika 7. Upravljačka energija po fazi za jedan CO-ciklus

(Takva ovisnost učinila je nužnom zamjenu opružnih mehanizama pneumatskim i hidrauličkim mehanizmima za prekidne struje iznad 40 kA, i svako

daljnje povišenje nivoa prekidne struje zahtijeva snažniji upravljački mehanizam.)

- b) uvjeti strujanja odnosno tlaka u zoni luka, koji pokazuju da je, u principu, moguće ostvariti potreban zapuh i bez djelovanja potisnog klipa u prekidnoj komori.

U nastavku će biti razmotrena dva sistema prekidanja luka u sumpor-heksafluoridu koji ne koriste potisni cilindar za ostvarivanje potrebnog zapuha plina.

Kod potisnog SF<sub>6</sub> prekidača postoje dva izvora porasta pritiska – električni luk te mehaničko potisno djelovanje. Porst pritiska zbog energije luka općenito je mnogo veći nego zbog mehaničke energije potisnog djelovanja u periodu visoke struje [16].

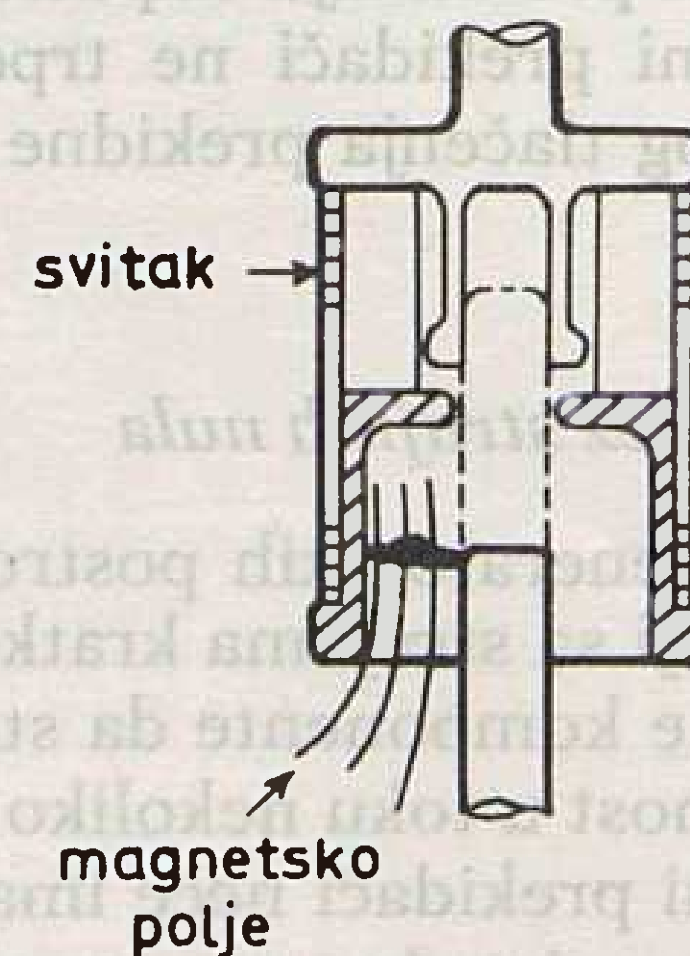
Kod prekidnog sistema s autogašenjem upravo je iskorišten porast pritiska zbog energije luka. Odgovarajuća izvedba lučne komore može omogućiti strujanje plina dovoljno za gašenje luka u blizini nulte vrijednosti struje bez potisnog djelovanja. Slika 8. shematski prikazuje takvu komoru.



Slika 8. SF<sub>6</sub> prekidna komora s autogašenjem

Poznata je osobina luka u SF<sub>6</sub> plinu izazivanje »zagušenja« sapnice cjevastog kontakta. Ta osobina uzrokuje povećanje pritiska pri visokim trenutnim vrijednostima struje i zatim optimalno strujanje plina kako se struja približava nuli, čime je omogućena deionizacija međukontaktne prostora. Kod malih prekidnih struja ipak se može ukazati potreba za malim potisnim efektom radi smanjenja trajanja luka.

Prekidni sistem s rotirajućim lukom već je uspješno primjenjivan u uljnim i zračnim prekidnim sistemima. Primjena tog sistema u kombinaciji sa sumpor-heksafluoridom uklanja potrebu za snažnim upravljačkim mehanizmom, povećava pouzdanost i dodatno smanjuje održavanje. Slika 9. shematski prikazuje prekidnu komoru s rotirajućim lukom.



Slika 9. SF<sub>6</sub> prekidna komora s rotirajućim lukom



Početni luk prenosi se s krajeva nepomoćnog kontakata na kružnu lučnu elektrodu, preko koje se napaja svitak i nastaje magnetsko polje koaksijalno kontaktnom sistemu. To će uzrokovati kretanje luka djelovanjem magnetskog polja i razvlačenje luka u spiralu, što će omogućiti gašenje luka bez posebnog zapuha sumpor-heksafluorida, čije će osobine doći do izražaja u periodu neposredno nakon gašenja. Pažljiva izvedba kontakata i magnetskog sklopa učinile su nepotrebnim potisno djelovanje pri prekidanju malih struja [17].

Kako se moglo vidjeti iz prethodnih razmatranja, nerijetko se primjenjuju i kombinacije navedenih sistema, pa je tako rotirajući luk moguće koristiti i u svrhu zagrijavanja plina i potpomaganja nastanka zapuha pri gašenju luka.

Iako navedeni prekidni sistemi zasad nisu razrađeni za područje visokih i najviših napona, ne postoje ozbiljnije zapreke za njihovu primjenu i na tim nivoima.

Rotiranje luka, kao i osiguravanje njegova oblika koji je najprikladniji u tijeku prekidanja struje posebno je važno u vakuumskim prekidačima. To je dovelo do različitih konstrukcija kontakata i posljedičnih svojstava prekidnih komora [12].

#### 4. DINAMIČKO MODELIRANJE LUKA U PRORAČUNAVANJU ELEKTROMAGNETSKIH PRIJELAZNIH POJAVA

##### 4.1. Općenito o modeliranju luka

U proračunavanju sklopnih prijelaznih pojava u električnim mrežama dosada se najčešće pretpostavljala prihvatljivost zanemarivanja lučnih pojava te su se uglavnom koristili jednostavni modeli prekidača. Međutim, nedvojbeni su važnost i višestruko prisutni utjecaj električnog luka u simuliranju sklopnih prijelaznih pojava. O poteškoćama modeliranja luka govorili smo ukratko na drugome mjestu [11], a ovdje bismo htjeli sažeto iznijeti najnovija iskustva u vezi s tim pitanjem.

Generalizirani model luka uspješno je korišten u simuliranju prekidača tijekom prekidanja struje u strujnim krugovima [18, 19]. Takav pristup, osnovan na ukupnoj ravnoteži snage u luku, izražavaju diferencijalne jednadžbe provoda luka. Rješavanjem te jednadžbe u svakom vremenskom koraku prekidač se može predstaviti s vremenski promjenljivim otporom u mreži.

##### 4.2. Generalizirana jednadžba luka

U predmetnom modelu koristimo prošireni oblik Mayerove jednadžbe kako su ga predložili Hochranner i Gruetz [18]:

$$\frac{dg}{dt} = (G - g)\tau \quad (1)$$

gdje su:  $g$  = dinamički provod luka,  $G$  = ustaljeni provod luka i  $\tau$  = vremenska konstanta luka.

Ustaljeni provod luka  $G$  fizikalno se može tumačiti kao vrijednost provoda luka koja bi se javila ako bi

se struja održavala tijekom dovoljno dugog vremena pod stalnim vanjskim uvjetima.  $G$  je funkcija struje luka i dana je sljedećim izrazom [20, 21]:

$$G = i_B^2 / (P_o + u_o |i_B|) \quad (2)$$

gdje su:  $P_o$  = rasipanje topline u ustaljenom stanju,  $u_o$  = konstantni postotak karakteristike luka ustaljenog stanja,  $i_B$  = struja luka.

Nazivnik u prethodnoj jednadžbi daje ukupne toplinske gubitke snage u luku.

Nadalje, na luk primjenjujemo Ohmov zakon,

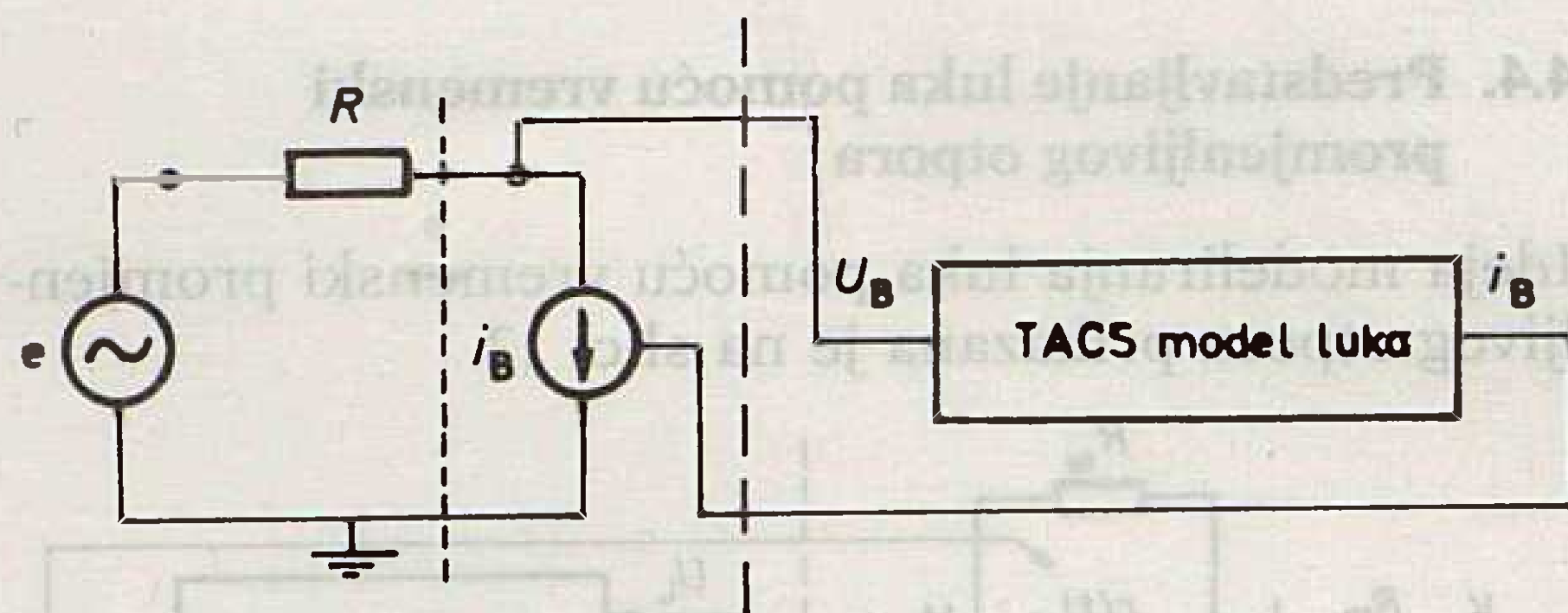
$$i_B = g u_B, \quad (3)$$

gdje je  $u_B$  napon luka.

Jednadžba luka (1) opisuje toplinsko vladanje pneumatskih i SF<sub>6</sub> prekidača. Ona, međutim, ne može opisati period razdvajanja kontakata i dielektričko ponašanje međukontaktne prostora poslije gašenja luka.

##### 4.3. Načela modeliranja luka u EMTP

Jednadžba (1) može se riješiti korištenjem TACS programa\* [22] imajući struju luka ili napon luka kao ulazni signal. Izlaz blok-dijagrama može biti napon luka, struja luka ili otpor luka. U skladu s tim prekidač se može predstaviti kao električna mreža s naponskim izvorom, strujnim izvorom ili vremenski promjenljivim otporom. Korištenje predstavljanja luka kao naponskog izvora ograničava se na slučaj kada je prekidač spojen između čvora i zemlje. Predstavljanje pomoću strujnog izvora numerički je nestabilno zbog karakteristike luka, kada simuliranje započinje od velike struje luka. To se može prikazati pomoću jednostavnog otporskog kruga na slici 10.



Slika 10. Predstavljanje luka pomoću strujnog izvora u otporskom krugu

Električni krug na slici 10. razdijeljen je crtkanom linijom na dva dijela:

(a) lijevi dio za linearnu karakteristiku luka,

$$u_B = e - R i_B, \quad (4)$$

(b) desni dio za nelinearnu karakteristiku luka,

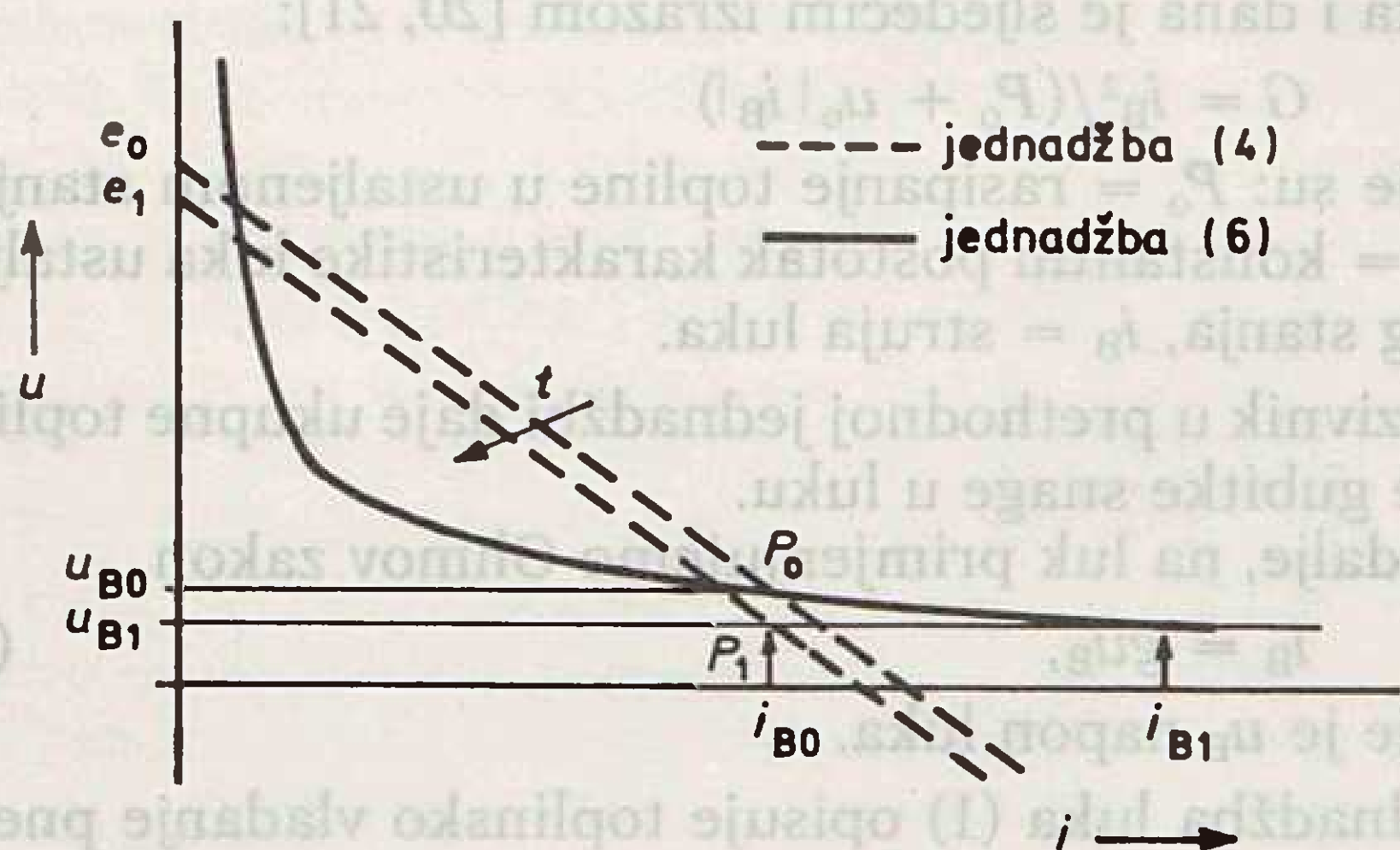
$$u_B = f(i_B). \quad (5)$$

Za dinamičke karakteristike luka velikih struja jednadžba (5) može se aproksimirati karakteristikom ustaljenog stanja koja se može izvesti iz jednadžbe (2) kao

$$u_B = P_o |i_B| + u_o. \quad (6)$$

\* TACS je akronim izveden iz »Transient Analysis of Control Systems«. Taj program, uključen u EMTP, priskrbljuje u općem pogledu ono što se obično povezuje s analognim računalom.

Jednadžbe (4) i (6) prikazane su na slici 11, kako bi se opisala spomenuta numerička nestabilnost.



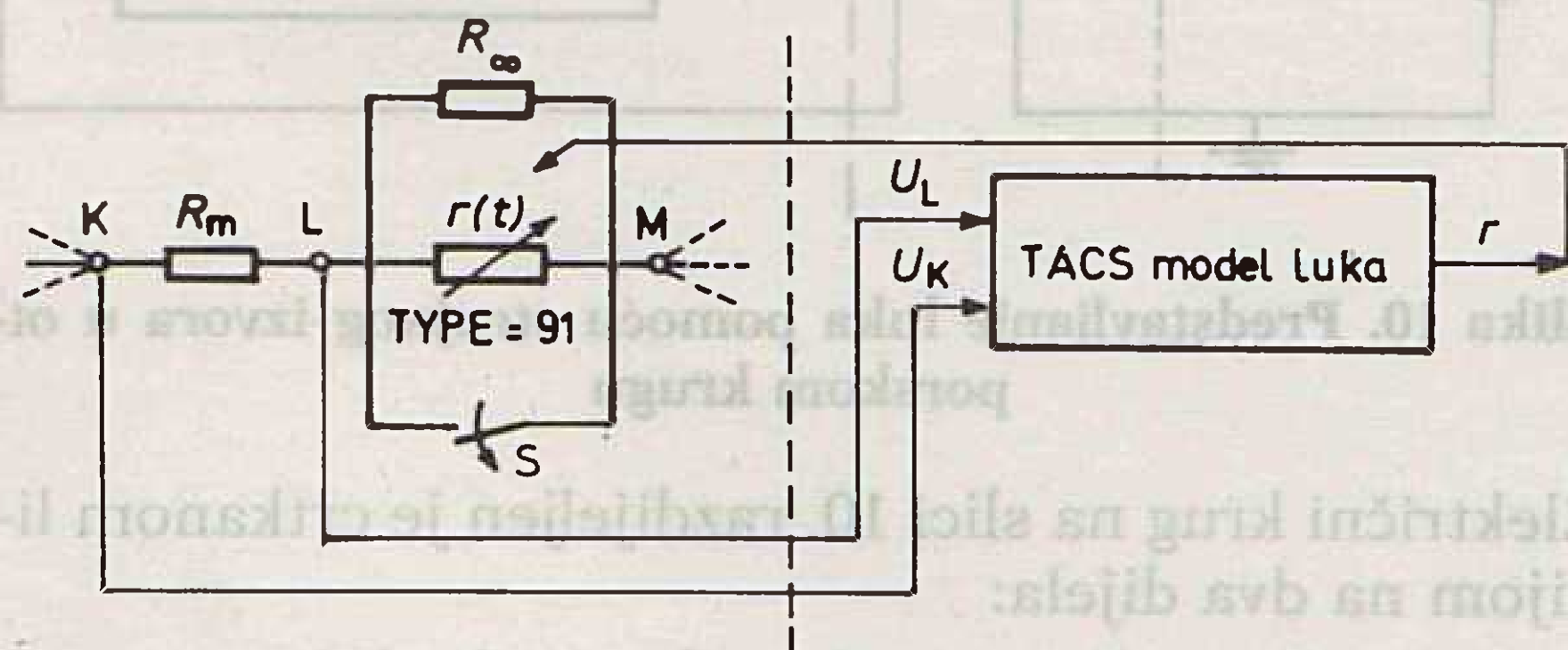
Slika 11. Grafički prikaz nestabilnosti

Pretpostavimo da simuliranje započinje od  $t = 0$  od točke  $P_0$  s trenutnom vrijednošću naponskog izvora  $e_0$  i strujnog izvora  $i_{B0}$ . U sljedećem vremenskom koraku linearna se karakteristika pomiče ulijevo kako vrijednost naponskog izvora postaje manja. Nova točka djelovanja je  $P_1$  zbog prisiljavanja strujnog izvora  $i_{B0}$ . Vrijednost strujnog izvora  $i_{B1}$  za sljedeći vremenski korak sračunava se pomoću TACS-a preko napona luka  $u_{B1}$ , što dovodi do pogrešnih rezultata poslije nekoliko vremenskih koraka.

U slučaju simuliranja, počinjajući na malim strujama luka, numerička nestabilnost je zaobidena. Međutim, u tome je vremenu, nažalost, simuliranje prekidanja struje manje točno jer će struja luka već biti izobličena lukom prije nego je taj period vremena dosegnut. Nadalje, može se pokazati da je predstavljanje luka pomoću napona nestabilno u okolišu nule.

#### 4.4. Predstavljanje luka pomoću vremenski promjenljivog otpora

Ideja modeliranja luka pomoću vremenski promjenljivog otpora prikazana je na slici 12.



Slika 12. Predstavljanje luka pomoću vremenski promjenljivog otpora

Postupak rješavanja u svakom vremenskom koraku je sljedeći:

- čvorišni naponi mjernog otpora  $R_m$  ulazni su podaci TACS, kako bi se izračunalo  $i_B(t - \Delta t)$ ,
- jednadžba luka rješava se u TACS-u za provod luka; otpor luka se prenosi na Type-91\* vremenski promjenljivi otpor EMTP [22],

\* Type-91 komponenta priskrbuje predstavljanje kontinuirano linearno po dijelovima vremenski promjenljivog otpora  $R(t)$ . Svaki Type-91 element rješava se korištenjem Newtonove metode zajedno sa svim istinski nelinearnim elementima neke pod mreže.

(c) čvorišne jednadžbe kruga rješavaju se u EMTP, dok se luk simulira vremenski promjenljivim otporom u skladu s kompenzacijskom metodom [23].

#### 4.5. Predstavljanje TACS modela luka pomoću blok-dijagrama

Laplaceova transformacija jednadžbe (1) daje:

$$\alpha [dg/dt] = \alpha [(G-g)/\tau] \quad (7)$$

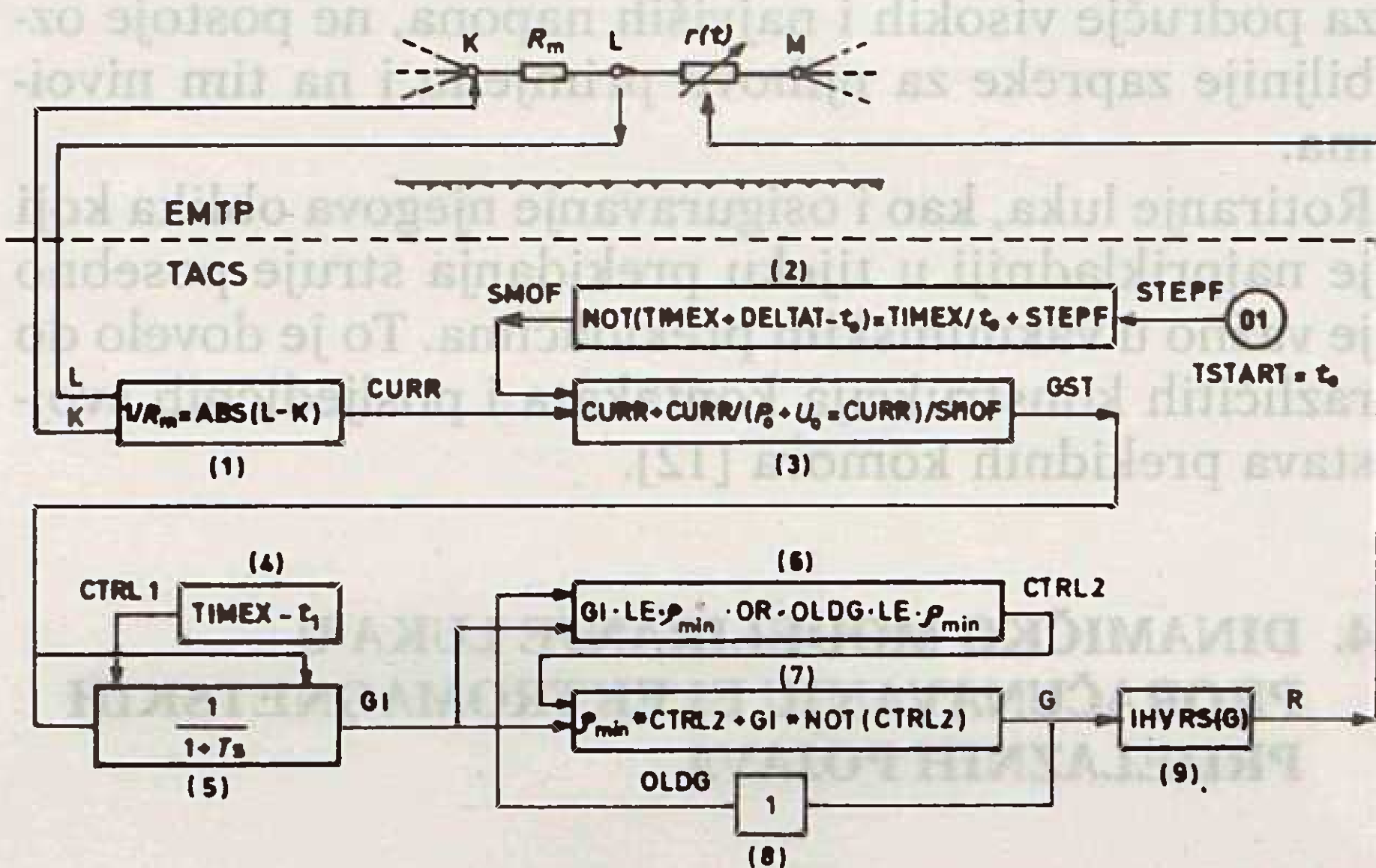
$$sG(s) = [G_s(s) - G(s)]/\tau \quad (8)$$

$$G(s) = [1/(1 + \tau s)] \cdot G_s(s) \quad (9)$$

gdje su:

$$G(s) = \alpha[g(t)], G_s(s) = \alpha[G(t)].$$

Jednadžba (9) može se predstaviti pomoću kontroliranog integratora (code=58). Cjelovit blok-dijagram modela luka prikazan je na slici 13.



Slika 13. Blok-dijagram modela luka

#### Napomene o blok dijagramu

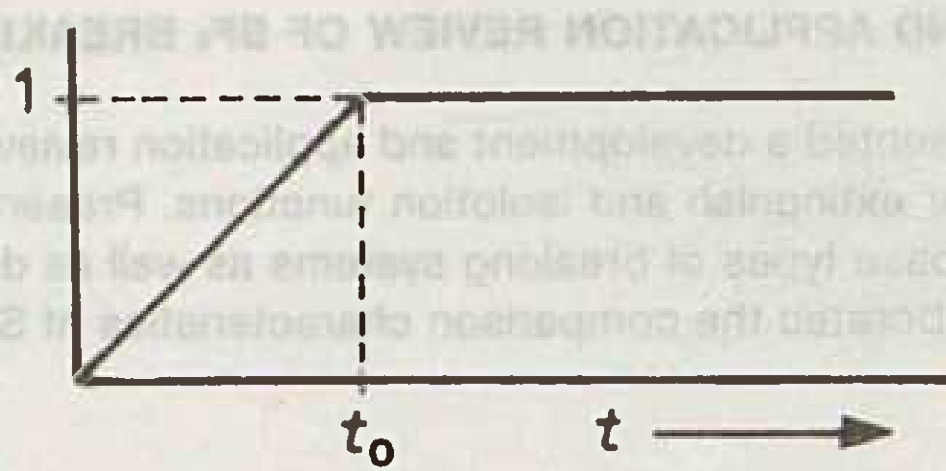
1. TACS varijable s prethodne slike imaju sljedeća značenja:

- CURR — apsolutna vrijednost struje luka,
- CTRL1 — kontrolni signal za definiranje vremenske točke prelaska od provoda luka za ustaljeno stanje na određivanje dinamičkih provoda luka,
- CTRL2 — kontrolni signal gašenja luka,
- G — dinamički provod luka,
- GST — provod luka za ustaljeno stanje,
- G' — posredna vrijednost provoda luka,
- $g_{min}$  — minimalna dopustiva vrijednost provoda luka za gašenje luka,
- K — napon u čvoru K,
- L — napon u čvoru L,
- OLOG — vrijednost provoda luka zakašnjela za jedan vremenski korak,
- R — dinamički otpor luka,
- SMOF — vremenski ovisna funkcija glačanja,
- STEPF — step funkcija s  $TSTART = t_0$  i  $AMPL = 1,0$ .

2. Brojčano označavanje blokova također daje redosljed izračunavanja TACS varijabli.

3. U bloku 1 izračunava se apsolutna vrijednost struje luka.

4. Blok 2 daje funkciju s linearnim porastom od  $t = 0$  do  $t = t_0$  i konstantnom amplitudom poslije toga, kako je to prikazano na slici 14.



Slika 14. Izlaz bloka 2

5. U bloku 3 izračunava se provod luka ustaljenog stanja i dijeli se s funkcijom glačanja SMOF. Cilj je izglačati prijelaznu pojavu s obzirom na posljedice otvaranja sklopke S na slici 14. poslije prvog vremenskog koraka.
6. U bloku 5 rješava se jednadžba luka (1). Izlaz CTRL1 bloka 4 definira vremensku točku  $t_1$ , od koje započinje simuliranje s dinamičkim provodom luka, pošto su prigušene neželjene prijelazne pojave spomenute u prethodnoj točki.
7. Blokovi 6, 7 i 8 služe za provjeravanje gašenja luka. Ako je prisutna ili posljednja vrijednost provoda luka ( $G$  i OLOG) manja od unaprijed određene konstante  $g_{\min}$ , onda će se provod luka zadržati na toj vrijednosti za ostatak simuliranja, kako bi se zaobišle numeričke poteškoće.

Očito, ostaje neriješeno pitanje započinjanja simuliranja od početnih uvjeta. Međutim, ta se zadaća rješava prilično jednostavno, te se početni uvjeti uzimaju u obzir automatski [24].

Primjena sažeto predstavljenog modela luka, koliko je nama poznato, prvi put omogućuje potpunije uključivanje pojava u vezi s lukom u predstavljanju prekidača u proračunavanju prijelaznih pojava u električnim mrežama. Čitav se model osniva na interakciji između TACS-a i Type-91 vremenski promjenljivog otpora u okviru EMTP/TACS programa. Korištenje TACS-a za rješavanje jednadžbe luka omogućuje modeliranje prekidača izmjenične struje i, posljedično, cjelovitije proučavanje pojava u mrežama. Promjenljivost danog modela već je višestruko iskorištena i, uvjereni smo, trebala bi predstavljati daljnji poticaj razvoju proizvodnje i primjene sklopnih aparata.

## 5. ZAKLJUČAK

SF<sub>6</sub> potisni prekidač može ispuniti gotovo sve zahtjeve koji se javljaju u današnjim rasklopnim postrojenjima; njime se mogu savladati najviše struje kratkog spoja koje se javljaju u aktualnim elektroenergetskim postrojenjima uz istovremenu primjenu minimalnog broja prekidnih komora po polu.

Pod utiskom velikog napretka što ga je kod prekidača snage omogućio sumpor-heksafluorid, proteklih godina vršena su intenzivna istraživanja radi pronalazanja plinova s još boljim svojstvima. Iako su pronađeni plinovi ili smjese plinova koji pojedine zahtjeve ispunjavaju isto tako dobro ili bolje od sumpor-heksafluorida, može se konstatirati da je sumpor-heksafluorid u zbiru pozitivnih svojstava nadmoćniji od dosada ispitanih plinova. Razlog je takvog stanja činjenica da sumpor-heksafluorid ima na-

ročito povoljnu, o temperaturi ovisnu vodljivost koja uzrokuje male promjere luka i male termičke vremenske konstante, i zajedno s visokom ionizacijom temperaturom i elektronegativnim karakterom dovodi do velike sposobnosti gašenja i visoke dielektrične čvrstoće. Stjecaj takvih osobina čini malenom vjerojatnost pojave ukupno još boljeg plina za gašenje luka i izoliranje.

Daljnijim razvojem prekidne tehnike sa sumpor-heksafluoridom teži se još jednostavnijim, pouzdanijim i lakšim koncepcijama izvedbe prekidača, pri čemu značajnu ulogu ima korištenje vlastite energije luka u procesu gašenja.

Uzme li se u obzir činjenica da je, po potrebi, SF<sub>6</sub> prekidačima moguće vladati još i višim strujama kratkog spoja te većim nazivnim naponima, velika je vjerojatnost da će ovo biti dominirajuća sklopna tehnika u predstojećem razdoblju.

## LITERATURA

- [1] E. MAGGI, »SF<sub>6</sub> circuit-breakers«, članak u knjizi C. H. Flurschein, »Power circuit breaker-theory and design«, str. 303–328, Peter Peregrinus Ltd., London, 1985.
- [2] I. ŠTAHAN, I. Naumovski, »Primjena plina SF<sub>6</sub> u sklopnim aparaturama visokog napona«, Končar-Stručne informacije 3–4, 1982.
- [3] xxx, »SF<sub>6</sub> PREKIDAČI K3AS1 po licenci Siemens«, »Rade Končar«, prospekt
- [4] H. BEIER, H. LÜHRMANN, H. MARIN, »Development of SF<sub>6</sub> Circuit-Breakers at Siemens«, Siemens Power Engineering III (1981), Special issue »High-Voltage Technology 4
- [5] xxx, SF<sub>6</sub> circuit-breaker type HPL«, ASE, Pamphlet LA 36–102 E, Edition 1
- [6] xxx, »SF<sub>6</sub> prekidači visokog napona za vanjsku montažu 72,5 kV–420 kV«, Energoinvest, prospekt 9828 14 0304
- [7] S. YANABU, H. MIZOGUCHI, A. KOBAYASHI, Y. OZAKI, Y. MURAKAMI, »Factors influencing the interrupting ability of SF<sub>6</sub> puffer breaker and development of 300 kV – 50 kA one-break circuit breaker«, IEEE Trans., Vol. PAS–101, No. 6, 1982.
- [8] S. BERNERYD, »Performance of Different Types of Circuit-Breakers with Respects to Network Requirements«, Journal of Electrical and Electronics Engineering, Australia – IE Aust. and IREE Aust., Vol. 1, No. 1, 1981.
- [9] H. LIPKEN, H. SUITER, U. HABEDANK, R. KUGLER, H. LÜHRMANN, »Studies of interruption of very high short circuit currents 80 kA and 100 kA by SF<sub>6</sub> circuit breakers«, International Conference on Large High Voltage Electric Systems, 1982 Session
- [10] H. P. SZENTE VARGA, P. HOEGG, »H. V. SF<sub>6</sub> circuit breakers in GIS with short circuit currents up to 100 kA«, Postes blindes isoles au SF<sub>6</sub>, A. I. M. Liege, 1979.
- [11] R. MAHMUTĆEHAJIĆ, S. HAJDIN, »Osvrt na povijest razvoja i primjenu visokonaponskih pneumatskih prekidača«, Energija, vol. 37, No. 2, s. 127–133, 1988.
- [12] R. MAHMUTĆEHAJIĆ, »Vakuumski prekidač«, Sveučilište u Osijeku, Studij elektrotehnike, 1987.
- [13] A. M. BRONŠTEIN, V. B. KOZLOV, »Sovremenoe sostojanie i tendencii razvitia vyljučatelei visokogo napraženia«, Električestvo, No. 11, 1987.

- [14] I. Štahan, privatna komunikacija. Naime, I. Štahan je ukazao na patent J. J. Višnjevskog, znanstvenog direktora Instituta za aparate visokog napona u Lenjingradu, koji je njegov autor dovodio u vezu s pitanjima zaštite atmosfere a posebno ozonskog sloja. U izravnim razgovorima s J. J. Višnjevskim o tome pitanju nismo mogli ustvrditi uzajamnosti između razaranja ozonskog sloja i SF<sub>6</sub> plina koja bi se temeljila na znanstveno utvrđenim stavovima.
- [15] U okviru znanstvenog projekta »Ispitivanje ponašanja SF<sub>6</sub> u procesima lučnih pražnjenja i određivanje optimalnog uređaja za pročišćavanje«, koji je ostvaren u Institutu za hemiju Prirodno-matematičkog fakulteta u Sarajevu, kome je voditelj bio prof. Z. Pujić, temeljito su istražene posljedice razlaganja SF<sub>6</sub> plina u lučnim procesima, te, također, nije ustvrđena uzajamnost s razaranjem ozonskog sloja. (Taj se projekat vodi pod inv. brojem 13969 u Referalnom centru Univerzitetske biblioteke u Sarajevu.)
- [16] T. USHIO, S. TOMINAGA, H. KUWAHARA, T. MIYAMOTO, Y. UEDA, H. SASAO, »SLF interruption by a gas circuit-breaker without puffer action«, IEEE PES Winter Meeting, Atlanta, Georgia, 1981.
- [17] J. PARRY, »How to design an SF<sub>6</sub> circuit-breaker«, Electrical Times, 17th July 1981.
- [18] A. GRÜTZ, A. HOCHRAINER, »Rechnerische Untersuchung von Leistungsschaltern mit Hilfe einer varialgemeinerten Lichtbogentheorie«, ETZ Archiv, vol. 92, No. 4, s. 185 – 191,
- [19] H. KOPPLIN, »Mathematische Modelle des Schaltlichtbogens«, ETZ Archiv, vol 2, No. 7, s. 209 – 213, 1980.
- [20] U. HABEDENK, R. KUGLER, »Theoretical and experimental studies of the critical line length for the interruption of short-line faults«, IEEE Trans., vol. PAS – 100, No. 7, s. 3545 – 3552, 1981.
- [21] H. KOPPLIN, J. D. WELLY, »Einfluss des Lichtbogens auf das Schaltverhalten und die wiederkehrende Spannung bei Abstandskurzschluss«, Second Int. Symp. Switch. Arc Phen., Lodz, 1983.
- [22] BPA EMTP (Boneville Power Administration Electromagnetic Transient Program), Rule Book, Portland, Oregon, USA, 1981.
- [23] H. W. DOMMEL, »Non-linear and time-varying elements in digital simulation of electromagnetic transients«, IEEE Trans., vol. PAS – 99, s. 2561 – 2567, Nov./Dec., 1971.
- [24] M. KIZILCAY, »Dynamic arc modelling in EMTP«, EMTP Newsletter, vol 5, No. 3, s. 15 – 26, 1985.

DEVELOPMENT AND APPLICATION REVIEW OF SF<sub>6</sub> BREAKERS

In the article is presented a development and application review of HV breakers that use SF<sub>6</sub> medium for extinguish and isolation functions. Presented are SF<sub>6</sub> gas characteristics, some base types of breaking systems as well as development prospects. Specially are elaborated the comparison characteristics of SF<sub>6</sub> breaker with other types.

RUCKBLICK AUF DIE ENTWICKLUNG UND ANWENDUNG DES SF<sub>6</sub> SCHALTERS

Die Arbeit erläutert die Grundbegriffe der Entwicklung und die Anwendung der Hochspannungsschalter die als Medium zur Löschung des Bogens und des Isolierens Schwefel – Hexafluorid verwenden. Es wurden die Eigenschaften des SF<sub>6</sub> Gases beschrieben, Grundtypen der Schaltersysteme mit Beispielen sowie Tendenzen der Entwicklung dieser Schalttechnik.

Einen besonderen Ruckblick gibt man mit den vergleichenden Charakteristiken dieses Schaltertyps und anderen Typen in der breiten Exploitation.

## ОБОЗРЕНИЕ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕГАЗОВЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Работа посвящена развитию и применению высоковольтных элегазовых выключателей, применяемых в качестве зоны гашения дуги и изолированы; описаны свойства элегаза, основные типы систем выключения с примерами, а также тенденции развития указанной техники выключения. Особое внимание обращено на сравнение характеристик данного типа выключателей с другими типами при широкой эксплуатации.

Naslov pisaca:

**Doc. dr. Rusmir Mahmutćehajić,**  
dipl. inž.

**Studij elektrotehnike**

**Istarska bb**

**54000 Osijek, Jugoslavija**

**Silvio Hajdin, inž.**

**SOUR »Kombinat Belišće«**

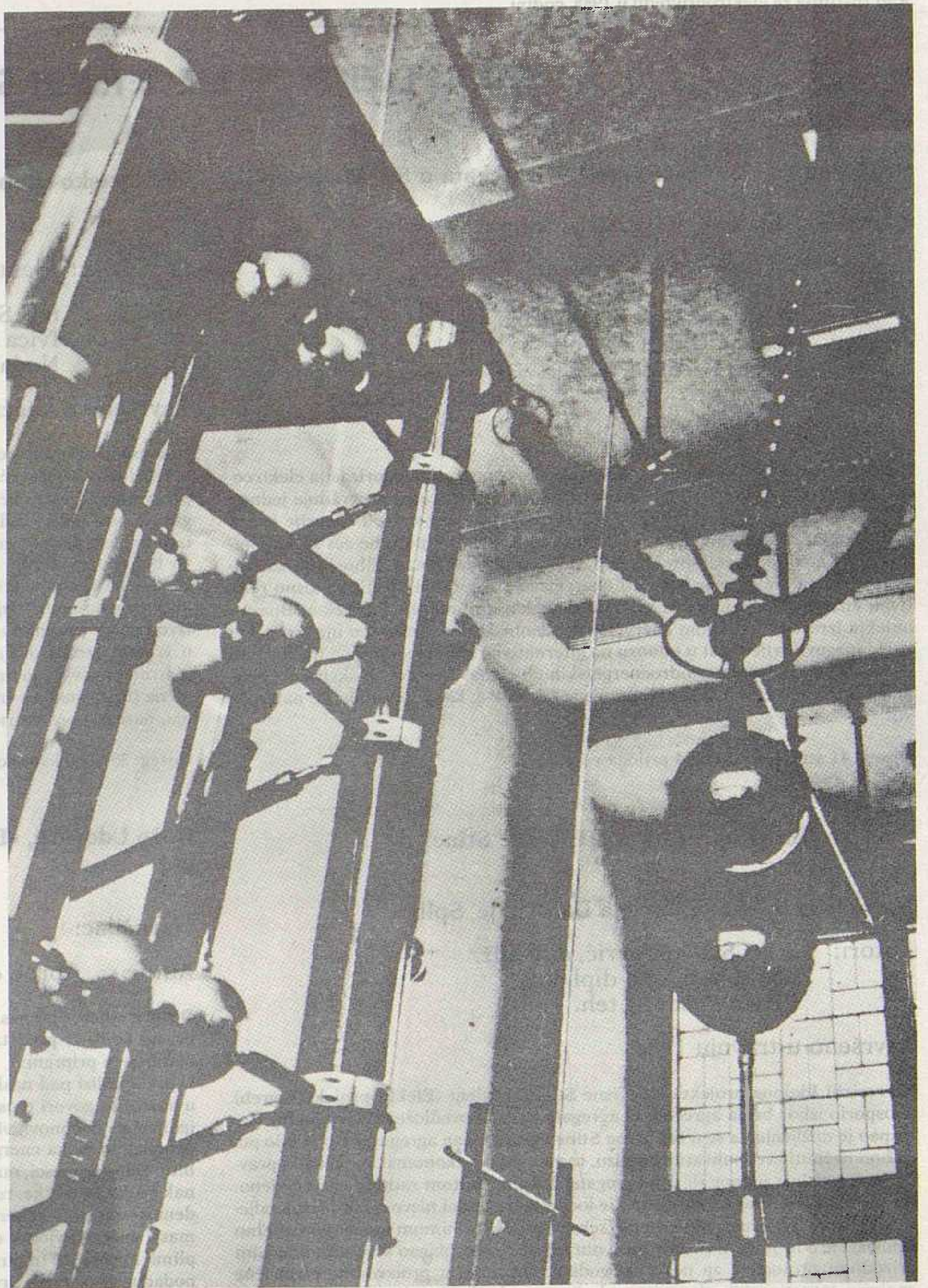
**OOOR Energetika**

**Titov trg 1**

**54551 Belišće, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:

1989 – 02 – 27



## RAD INSTITUTA ZA ELEKTROPRIVREDU U 1988. 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 više od trideset i pet godina.

Svojim razvojem i afirmacijom Institutu je postao nosilac obrade važnih problema jugoslavenske i hrvatske elektroprivrede i energetike uopće. Naročito valja istaknuti aktivnost Instituta na znanstvenim istraživanjima metoda bilaciranja energetske 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 unutaršnjoj 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 1988. godini.

## STUDIJ ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA

### Vrednovanje elektroenergetskih objekata u SR Makedoniji

Naručilac: Elektrostopanstvo, Skopje

Autori: Nikola Bilčar, dipl. inž.  
mr. Slavko Alerić, dipl. inž.  
Marijan Magdić, dipl. ek.  
Neda Komerički, ek.  
Ivica Posavec, teh.

Završeno u veljači 1988.

U sklopu ovoga rada provedena je energetska-ekonomska valorizacija elektroenergetskih objekata HE i TE u SR Makedoniji, opravdanost pregradnje jednog kotla s tekućeg goriva na ugljen u TE Negotino, zakup snage i energije iz ees ZEP-a i analiza izgradnje termoelektrane na Kosovu za potrebe ees Makedonije. Polazeći od mogućih proizvodnji novih hidroelektrana i njihovih investicijskih ulaganja, moguće je odrediti energetska-ekonomske efekte odnosno relativnu energetska-ekonomsku vrijednost svakog promatranog objekta. Bonitet objekta izražen relativnom energetska-ekonomskom vrijednošću ujedno pokazuje i njegovu vrijednost u odnosu na alternativno rješenje, kao i na međusobni odnos između pojedinih hidroenergetskih objekata. Također, u okviru ovog rada analiziran je zakup snage i energije iz ees ZEP-a, kao i izgradnja TE na Kosovu.

Opseg: 41 stranica teksta, 4 priloga i 1 slika.

### Provjera broja agregata u HE Tisne Stine

Naručilac: Elektroprivreda Dalmacije, Split

Autori: mr. Slavko Alerić, dipl. inž.  
Nikola Bilčar, dipl. inž.  
Ivica Posavec, teh.

Završeno u travnju 1988.

Na reviziji Idejnog projekta HE Tisne Stine, revident (Elektroprojekt Zagreb) je osporio izbor broja agregata (2 agregata kako je predloženo u projektu). Zastupao je mišljenje da se u HE Tisne Stine ugradi jedan agregat. Zato je bilo potrebno načiniti sveobuhvatnu analizu, te energetska-ekonomski pokazati opravdanost ugradnje jednog ili dva agregata. U spomenutom radu je to i učinjeno. Naime, hidroelektrana Tisne Stine je locirana na Cetini nizvodno od HE Kraljevac. Veličina izgradnje iznosi 12 m<sup>3</sup>/sek, a biološki minimum kojeg mora stalno ispuštati je 5 m<sup>3</sup>/sek. U ovome radu obrađivač je raspolagao srednjim dnevnim prirodnim protocima za nekoliko godina. Na temelju proizvodnje električne energije, investicijskih ulaganja i primjenom određenih kriterija analiza je nedvojbeno pokazala da je energetska-ekonomski opravdano ugraditi dvije proizvodne grupe u HE Tisne Stine umjesto jedne.

Opseg: 16 stranica teksta, 47 tablica i 2 slike.

### Položaj HE Drenje i HE Tisne Stine u okviru elektrana kontinuiteta

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb i  
Elektroprivreda Dalmacije, Split

Autori: mr. Slavko Alerić, dipl. inž.  
Nikola Bilčar, dipl. inž.  
mr. Luka Staničić, dipl. ek.  
Neda Komerički, ek.  
Ivica Posavec, teh.

Završeno u ožujku 1988.

Kao što i sam naslov kaže, promatrane su ove dvije hidroelektrane u elektroenergetskom sistemu Hrvatske na isti način i s istim ulaznim podacima i karakteristikama kao i elektrane kontinuiteta. Razlog je naknadnog promatranja ovih dviju hidroelektrana u činjenici što su im idejni projekti kasnije dovršeni i revidirani. Budući da je ovaj rad nastavak ili dopuna elaborata »IZBOR REDOSLIJEDA IZGRADNJE HIDROELEKTRANA ZA RAZDOBJE 1991 – 1995.« nije bilo potrebno navoditi sve osnovne i ulazne podatke, već samo rezultate ove analize. Rezultati ove analize pokazuju da ove dvije hidroelektrane remete znatnije redoslijed izgradnje hidroelektrana.

Opseg: 6 stranica teksta i 4 tablice.

### Energetska-ekonomska analiza nadvišenja brane u HE Peruča

Naručilac: Elektroprivreda Dalmacije, Split

Autori: mr. Slavko Alerić, dipl. inž.  
Ivica Posavec, teh.  
Neda Komerički, ek.

Završeno u siječnju 1988.

Nadvišenjem brane povećava se akumulacijski prostor (volumen bazena) i pad hidroelektrane. Povećanjem pada povećava se snaga elektrane, a time i njena proizvodnja električne energije, dok veći volumen akumulacijskog bazena omogućava »hvatanje« velikih voda (ev. preljeva), te se i s tog aspekta povećava proizvodnja električne energije. Osim toga veća akumulacija (veći bazen) omogućava bolje gospodrenje raspoloživim količinama vode te se dobiva kvalitetnija električna energija. U ovome radu analizirane su tri visine nadvišenja brane. Za svaku visinu nadvišenja brane proračunat je energetska doprinos (moguća proizvodnja el. energije) u HE Peruči i nizvodnim hidroelektranama. Budući da se u vrijeme izrade ove studije nisu znala investicijska ulaganja u pojedina promatrana nadvišenja brane, energetska-ekonomskom analizom određene su granične (maksimalne) vrijednosti do kojih bi se isplatilo ulagati u pojedina rješenja, naravno promatrajući s elektroprivrednog aspekta.

Opseg: 35 stranica teksta, 42 tablice i 2 slike.

### Božo Udovičić, »Energija, društvo i okolina« (I, II. i III. knjiga)

Naručilac:

Autor: prof. dr. Božo Udovičić, dipl. inž.

Opsežno djelo pod naslovom »Energija, društvo i okolina« obuhvaća četiri knjige, od kojih se predstavljaju prve tri knjige, dok je četvrta knjiga »Energija i okolina« u pripremi.

U prvoj knjizi pod naslovom »Energija i izvori energije« nakon uvodnog dijela, u kojem se govori o osnovnim pojmovima i oblicima energije, prikazuju se pojedinačno neobnovljivi i obnovljeni oblici energije. Za svaki od neobnovljivih primarnih oblika energije (ugljen, treset, nafta i prirodni plin, uljni škrljevci i bituminozni pijesci, nuklearno gorivo, geotermička energija) prikazan je postanak i karakteristike, rezerve, proizvodnje i potražnje. Na analogan način obrađeni su obnovljivi energetska izvori (vodne snage, energetska iskorišćavanje biomase, energija vjetra, energija Sunčeva zračenja, morske struje, morski valovi, plima i oseka, te toplinska energija mora). Izlaganje je popraćeno statističkim podacima o razvoju proizvodnje i potrošnje pojedinih oblika energije po kontinentima, za SAD i SSSR, za važnije evropske zemlje i za Jugoslaviju. U nekim slučajevima postoji dugi povijesni niz statističkih podataka, pa se može dobiti dobar uvid u razvoj proizvodnje i potrošnje najvažnijih primarnih oblika energije. Posebno je obrađena mogućnost upotrebe vodika kao goriva. Danas se, naime, govori o vodiku kao gorivu budućnosti.

Druga knjiga, »Energetske pretvorbe i bilance«, najviše se bavi energetska pretvorbama, tj. transformacijama primarnih oblika energije u pogodnije oblike energije. Najprije su prikazani postupci isplinjavanja i rasplinjavanja ugljena prerade nafte i pripreme prirodnog plina. U poglavlju o pretvorbi kemijske u unutrašnju termičku energiju obrađena je izgradnja svih vrsta goriva i prijelaza topline. Pretvorba nuklearne energije u unutrašnju termičku energiju obuhvaća nuklearnu fisiju i nuklearnu fuziju. Pri razmatranju proizvodnje mehaničke energije obrađena je pretvorba unutrašnje termičke, potencijalne energije vode i kinetičke energije zraka u taj oblik energije. U tom okviru prikazani su osnovni energetska procesi tih energetska transformacija i njihove tehničke karakteristike. Dalje su obrađene pretvorbe mehaničke u električnu energiju (električni generatori) i pretvorbe električne u mehaničku energiju (električni motori). Posebno su obrađene pumpe u poglavlju pretvorbe električne energije u potencijalnu energiju vode. Dosta je pažnje poklonjeno neposrednim transformacijama u električnu energiju. U tom su okviru obrađene termoelektrična pretvorba, termoionska pretvorba, magnetsko-hidrodinamički generatori, fotoelektrična pretvorba i gorivi elementi. U posebnom je poglavlju obrađen transport oblika energije. U posljednjem poglavlju druge knjige obrađeni su principi izrade energetska bilanca.

Treća knjiga, »Energija i društvo«, obuhvaća probleme energije i razvoja. Prikazan je dosadašnji razvoj potrošnje energije i promjene energetska strukture. Posebna je pažnja posvećena utjecaju povišenja cijena nafte na razvoj energetska potrošnje nakon 1973. i 1979. godine, i to posebno u zapadnom svijetu i posebno istočnoevropskim zemljama. Analiziran je razvoj energetike u Evropi i Jugoslaviji u razdoblju od 1950. do 1986. godine. Razmatran je međusobni odnos društvenog proizvoda i potrošnja energije, te potrošnje energije po jedinici proizvoda u nekoliko industrijskih grana. Posebno je prikazana uloga cijena pojedinih oblika energije u energetska politici i potreba pravilnih odnosa cijena za pojedine oblike energije. Jedno je od poglavlja posvećeno racionalizaciji i

štednji energije s posebnim osvrtom na prilike u nas. Pitanja daljeg razvoja uvijek su vrlo važna u energetici, pa se zbog toga posebna poglavlja bave utjecajima ekonomskih odnosa i novih tehnologija na razvoj energije. U posljednjem poglavlju knjige autor naznačuje probleme i kriterije za određivanje opskrbe gradova energijom.

Radi se, dakle o djelu koje s različitih aspekata prikazuje problem opskrbe energijom, polazeći od primarnih energetske oblika, preko energetske transformacije do društvenog aspekta. Autor je obradio raznolika područja energije za što je bilo potrebno i mnogo truda i mnogo odricanja, jer je bilo potrebno proučiti opsežnu literaturu i načiniti izbor iz tog ogromnog materijala. Smatram da je autor u tome uglavnom uspio, pa je izdanje ovog djela vrlo korisno i poslužit će mnogima da se upoznaju s energetske problemima o kojima se danas toliko govori. Djelo će, osim toga, biti zaokruženo kad bude objavljen i četvrti dio u kojem se obrađuje utjecaj energije na okolinu.

### Metoda za izradu elektroenergetske bilance — izrada operativnog programa za elektroničko računalo

Autori: mr. Mićo Klepo, dipl. inž.  
mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.  
Mladen Zeljko, dipl. inž.  
Davor Tomašić, dipl. inž.

Završeno u veljači 1988.

U sklopu ovog rada izrađen je operativni program za planiranje elektroenergetske bilance za iduću godinu. U njemu su postavljeni i riješeni: a) osnova modularne i organizacijske strukture modula i operativnog programa u cjelini; b) načini i uvjeti izvršavanja u nezavisnom i povezanom korištenju; c) struktura jedinstvene (opće) ulazne datoteke podataka s oblicima i sadržajima pojedinih ulaznih datoteka, odnosno podataka, ovisno o načinu unošenja; d) oblik podataka i informacija za nezavisno i povezano korištenje; e) oblik i sadržaj podataka i informacija za korisnika tijekom interaktivnog rada; i e) oblik i sadržaj prikaza izlaznih podataka i informacija za korisnika. Programski paket je instaliran na računarskom sistemu ZEOH-a i pripremljen za svakodnevno korištenje.

## STUDIJ RAZDJELNIH NISKONAPONSKIH, VISOKONAPONSKIH MREŽA I PROJEKTIRANJE

### Upravljanje 110 kV mrežom grada Zagreba

Naručilac: Elektra, Zagreb

Vodeći autor: mr. Božidar Filipović, dipl. inž.

Autori: dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
mr. Rihard Schenner, dipl. inž.  
Dasenko Baldasari, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1988.

Studija obrađuje problem optimalnog upravljanja mrežom 110 kV koja napaja područje Zagreba. Radi procjene utjecaja pojedinih elemenata u EES-u napravljeni su opsežni proračuni tokova snaga za različite varijante uklopnih stanja i etape izgradnje mreže. Proračuni su pokazali relativnu neovisnost mreže »Zagreb mikro« i ostale prijenosne mreže, što upućuje da ta mreža ima pretežno distributivnu funkciju. Analiza utjecaja upravljanja 110 kV i mrežom sn pokazuje da je ta ovisnost velika za transformatore, a da je za vodove 110 kV neznatna. Izvršena je detaljna analiza vođenja 110 kV mreže, a rezultati pokazuju da je sadašnji način daleko od optimalnog i da se smanjenjem broja razina upravljanja, susretnih točaka i sl. mogu postići velike uštede u opremi SDV-a. Izvršena je analiza raspoloživosti EES-a koja pokazala da se prijenosom nadležnosti na DC distribucije smanjuje broj »komunikacijskih termina«, što smanjuje neisporučenu električnu energiju. U zaključnim razmatranjima dana je opsežna analiza dobivenih rezultata proširena problematikom nadležnosti, vlasništva i održavanja te dan prijedlog raspodjele nadležnosti između DC distribucije i RDC, kao i prijedlog razgraničenja upravljanja između DC distribucije i CDU »Elektroprenosa« Zagreb.

Opseg: 167 stranica.

### Vozni red (VI) izrada operativnog programa za optimiranje EES-a, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1988.

Autori: mr. Branka Jelavić, dipl. inž.  
Davor Tomašić, dipl. inž.

U sklopu ovog zadatka interaktivno je povezan program za predviđanje potrošnje za idući dan s programom za vozni red. Program za vozni red sastoji se od dva dijela: iskustvenog i optimizacijskog, koji su također povezani, ali se mogu izraditi i samostalno. Unošenje varijabilnih podataka riješeno je preko ekranskih slika, a razradnom dijagnostike pogrešaka izbjegnute su prekidi progama, zbog pogrešaka komunikacije s programom.

Rezultat ovog zadatka je komercijalna programska podrška za dnevno optimiranje rada EES-a s opširnim uputama za korištenje programa.

Opseg: 34 stranice teksta, 29 slika, 4 tablice.

### Zajedničko planiranje razvoja prijenosne mreže i proizvodnih postrojenja — I dio

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autor: mr. Jakša Topić, dipl. inž.

Završeno u lipnju 1988.

U sklopu ovog rada instaliran je i testiran programski paket za planiranje razvoja prijenosnih objekata. Budući da se programski paket u osnovnoj verziji temelji na istosmjernom modelu tokova snaga, u model je ugrađen modul za proračun izmjeničnih tokova snaga. Time je moguće u analizama sagledati i tokove jalovih snaga, naponske prilike i gubitke. Isto tako razvijen je i instaliran poseban modul kojim se brzo i jednostavno određuju promjene napona i kutova pri ispadu pojedinih elemenata elektroenergetskog sistema. Rad u ovom projektu se nastavlja.

Opseg: programski paket, izvještaj o završetku rada na ovom dijelu 12 stranica.

### Podešenje rezervne usmjerene zemljospojne zaštite u mreži »Elektroprenosa« Opatija

Naručilac: Elektroprenos, Opatija

Autor: mr. Božidar Filipović, dipl. inž.

Suradnici: dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
Lahorko Wagmann, dipl. inž.

Završeno u veljači 1989.

U elaboratu je obrađena problematika daljinske rezerve pomoću distantne zaštite. Razmatran je doprinos poboljšanja remote back-up (RBU) točnijim proračunom podešenja viših stupnjeva distancne zaštite, okretanjem smjera šticećenja pojedinih stupnjeva, promjenom konfiguracije u EES i dogradnjom LBU. Posebno je analizirana zemljospojna zaštita aproksimacijom krivulja isklapanja i izradom programa za podešenje. U elaboratu je razvijeno nekoliko programa u okviru CAPE pristupa i poboljšani program DISTANZ. Novi programi REZ, UZEZ, UZEZT i STABOPA zajedno s programom DISTANZ čine cjelinu i predstavljaju jedan potpuno novi pristup u tretiranju problema relejne zaštite u VN mrežama.

Opseg: 163 stranice s prilogima i slikama.

**Rješenje za suzbijanje širenja viših harmonika uzrokovanih postrojenjem ispravljačke stanice na Bliznečkoj cesti**

Naručilac: »Rade Končar«, OOUR »Inžinjeri za objekte i postrojenja«

Autori: mr. Božidar Filipović, dipl. inž.  
dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
Lahorko Wagmann, dipl. inž.

Završeno u siječnju 1989.

U studiji je razmatran utjecaj priključka ispravljačke stanice snage 2 MVA, koja služi za napajanje vučne mreže ZET-a, na ostalu distributivnu mrežu. Dane su osnovne jednadžbe i valni oblici struja i napona 6-faznih ispravljača i definirani iznosi i frekvencije strujnih harmonika. Detaljno su opisani utjecaji harmonika na opremu EES-a: povećanje gubitaka, paralelne rezonancije, smetnje na MTK-uredajima, točnost mjerenja energije i sl. Prikazani su rezultati mjerenja u ostalim ispravljačkim stanicama ZET-a. Izrađen je program za proračun propagacije viših harmonika i frakcijskih karakteristika mreže i izvršeni proračuni za različita uklopna stanja mreže i kondenzatorskih baterija te za različita opterećenja ispravljača i ustanovljeno da postoje opasnosti od nastanka paralelnih rezonancija. Predložen je način rješavanja tog problema i definirane mjere prije puštanja u pogon.

Opseg: 135 stranica s dijagramima i slikama.

**Rad pod naponom u distributivnim mrežama 0,4 kV — pregled elemenata za izbor opreme za rad pod naponom**

Naručilac: ZEOH

Autor: mr. Božidar Filipović, dipl. inž.

Suradnici: Nikola Petric, dipl. inž.  
Nikola Dujaković, dipl. inž.

Završeno u veljači 1989.

U elaboratu je prikazana tipska oprema u distributivnim mrežama 0,4 kV koja će poslužiti za izbor opreme i alata za rad pod naponom u nn-mrežama. Elaborat predstavlja nastavak rada na problematici uvođenja rada pod naponom u distributivnim mrežama ZEOH-a.

Opseg: 80 stranica sa slikama.

**Radovi pod naponom u sn mrežama — metode rada s elementima zaštite i uvjeti izvođenja radova**

Naručilac: ZEOH

Autori: mr. Božidar Filipović, dipl. inž.  
Josip Moser, dipl. inž.

Završeno u svibnju 1988.

Studija obrađuje problematiku rada pod naponom u sn-mrežama. Materija je dana u obliku niza uputa, često s posebnim komentarima, tako da predstavlja praktični priručnik za izvođenje radova. Na početku je definirana lista uvjeta za provođenje radova, opisane metode rada i obrazloženi zaštitni elementi. Detaljno je opisana organizacija rada pod naponom s posebnim naglaskom na odnose među sudionicima, atmosferske uvjete, provjeru alata prije rada, prijevremeni prekid i nastavak rada i sl.

Procedura izvođenja RPN također je detaljno obrađena, posebno oni dijelovi koji se odnose na definiranje broja zaštitnih elemenata i mehanička napreznja.

Detaljno su prikazane različite opasnosti i odgovarajuće zaštite kod RPN.

Opseg: 121 stranica sa slikama.

**Organizacija obuke, plan rada i status NOC Velika nakon izgradnje prve etape poligona**

Naručilac: ZEOH

Autori: mr. Božidar Filipović, dipl. inž.  
mr. Ernest Mihalek, dipl. inž.

Završeno u rujnu 1988.

Uvođenje rada pod naponom u reži ZEOH-a predviđa i izgradnju vlastitog poligona za obuke odnosno, nastavno-obrazovnog centra blizu Slavonske Požege. U studiji je elaborirana problematika organizacije takvog centra počevši od organizacije obuke, plana obuke za RPN mrežama 0,4, 10, 20 i 35 kV, organizacije polaganja ispita, statusa NOC-a i sl. Izvršena je anketa u distributivnim organizacijama radi procjene broja kadrova koji bi se osposobljavali u NOC-u i tako definirali kapaciteti NOC-u. Dani su kriteriji za izbor i status radnika za RPN i definiran status NOC-a u mreži školstva.

Opseg: 38 stranica.

**Prenaponska zaštita 110 (35) kV voda Kardeljevo-Vrgorac**

Naručilac: Elektroneretva, Metković

Autor: dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.

Suradnik: mr. Milan Puharić, dipl. inž.

U studiji je izložen metodološki pristup prenaponskoj zaštiti nadzemnih voda, te proračun impulsnih impedancija uzemljivača. Izvršeni su proračuni očekivanog broja preskoka na izolaciji analiziranog voda. Dane su sugestije za racionalno rješenje prenaponske zaštite.

Opseg: 37 stranica.

**Uzemljenje zvjezdišta 10 kV mreže grada Knina**

Naručilac: Elektrodistribucija, Knin

Autori: dr. 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, na temelju kojih su napravljeni svi potrebni proračuni u mreži. Detaljno su obrađeni principi relejne zaštite u uvjetima uzemljenog zvjezdišta. Dani su prijedlozi za dopunu postojeće opreme, te smjernice za provjeru uzemljivača TS 10/0,4 kV.

Svi podaci o 10 kV mreži arhivirani su za daljnju upotrebu u tehničkoj bazi podataka Instituta za elektroprivredu.

Opseg: ukupno 95 stranica.

**Idejni projekt uvođenja sistema daljinskog vođenja na području Elektre, Zadar**

Naručilac: Elektra, Zadar

Autor: dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.

Suradnik: Duda Meštović, el. teh.

U studiji je obavljena analiza postojeće mreže i postrojenja na području »Elektre-Zadar«. Dan je popis informacija signalizacije, upravljanja i mjerenja za buduća postrojenja, te za sva postojeća postrojenja »Elektre-Zadar«. Proanaliziran je sistem veza, te minimalni uvjeti za smještaj opreme. Ova studija će poslužiti kao podloga za izradu izvedbenog projekta SDV-a.

Opseg: 112 stranica.

**Analiza struja kratkog spoja u električnoj mreži OOUR-a »Distribucija« Split**

Naručilac: Distribucija, Split

Autori: dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
Duda Meštović, el. teh.

U elaboratu su izvršeni proračuni struja kratkog spoja u mreži 110 kV na području »Distribucije« Split, te u kompletnoj mreži 35 kV i 10 kV navedene distribucije. Rezultati su dani u obliku izlaznih listi računala. Također su izradene tablice s rekapitulacijom značajnijih rezultata.

U sklopu elaborata dane su sheme svih 10 kV mreža, s unesenim šiframa elemenata mreže. Svi podaci su arhivirani u tehničku bazu podataka Instituta za elektroprivredu. Izlazne liste računala detaljnim podacima o 10 kV mreži uvezane su posebno.

Opseg: 85 stranica i sheme mreža 10 kV.



**Provedba uzemljenja zvjezdišta 10 kV mreža napajanih iz TS 35/10 kV »Orašac«, »Pijavičino«, »Ston« i »Blato«**

Naručilac: Elektrojug, Dubrovnik

Autori: dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
mr. Božidar Filipović, dipl. inž.

Suradnik: Duda Meštrović, el. teh.

Za svaku pojnu stanicu izradena je posebna studija. Definirani su kriteriji za izbor veličine otpornika za uzemljenje zvjezdišta. Predložena su optimalna rješenja za provedbu uzemljenja zvjezdišta, na temelju kojih su napravljeni svi potrebni proračuni u mreži. Detaljno su obrađeni principi relejne zaštite u uvjetima uzemljenog zvjezdišta. Dani su prijedlozi za dopunu postojeće opreme, te smjernice za provjeru uzemljivača TS 10/0,4 kV. Svi podaci o 10 kV mrežama arhivirani su za daljnju upotrebu u tehničkoj bazi podataka Instituta za elektroprivredu.

Opseg: četiri elaborata s ukupno 312 stranica.

**Uzemljenje zvjezdišta 10 kV mreža napajanih iz TS 35/10 kV »Ugljan« i TS 110/10 kV »Benkovac«**

Naručilac: Elektra, Zadar

Autori: dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
mr. Božidar Filipović, dipl. inž.

Suradnik: Duda Meštrović, el. teh.

Za svaku pojnu stanicu izradena je posebna studija. Definirani su kriteriji za izbor veličine otpornika za uzemljenje zvjezdišta. Predložena su optimalna rješenja za provedbu uzemljenja zvjezdišta, na temelju kojih su napravljeni svi potrebni proračuni u mreži. Detaljno su obrađeni principi relejne zaštite u uvjetima uzemljenog zvjezdišta. Dani su prijedlozi za dopunu postojeće opreme, te smjernice za provjeru uzemljivača TS 10/0,4 kV. Svi podaci o 10 kV mrežama arhivirani su za daljnju upotrebu u tehničkoj bazi podataka Instituta za elektroprivredu.

Opseg: dva elaborata s ukupno 158 stranica.

**Proračun struja kratkog spoja u 10 kV mreži napajanoj iz TS 110/10 (30/10) »EL-TO«**

Naručilac: Elektra, Zagreb, projektni biro

Autori: dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
Krešimir Mehičić, inž.

U dogovoru s naručiocem definirana su moguća uklopna stanja 10 kV mreže. Za svako uklopno stanje izvršeni su proračuni struja maksimalnog i minimalnog trolnog kratkog spoja, te struja jednopolnog kvara. Također je obavljena termička kontrola svih 10 kV vodova. Na kraju je dan pregled dobivenih rezultata.

Opseg: 5 stranica i izlazne liste računala.

**Provedba uzemljenja zvjezdišta distributivnih mreža napajanih iz TS 35/10 kV »Gripe« i »N. Brodgradilište«**

Naručilac: Distribucija, Split

Autori: dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
mr. Božidar Filipović, dipl. inž.

Suradnik: Duda Meštrović, el. teh.

Za svaku pojnu stanicu izraden je poseban elaborat u kome je definirana koncepcija uzemljenja zvjezdišta 10 kV mreže. Obavljeni su svi potrebni proračuni struja kratkog spoja. Analizirana je koncepcija relejne zaštite u uvjetima uzemljenog zvjezdišta. Izvršena je provjera uvjeta bezopasnosti na uzemljivačima TS 10/0,4 kV.

Svi podaci o mreži 10 kV arhivirani su u tehničkoj bazi podataka Instituta za elektroprivredu za daljnju upotrebu.

Opseg: dva elaborata s ukupno 45 stranica i izlaznim listama računala.

**Idejni projekt uvođenja sistema MTK na području »Elektre – Zadar«**

Naručilac: Elektra, Zadar

Autor: dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.

Suradnici: mr. Mirjana Rimac, dipl. inž.  
Duda Meštrović, el. teh.

U studiji su obrađene osnove sistema MTK, te su definirane moguće funkcije. Predložene su lokacije za injektiranje MTK signala, način injektiranja i frekvencija signala.

Kontrolni proračuni su pokazali da će u pojedinim dijelovima mreže prigušenje signala biti veće od dopuštenog. U budućnosti situacija će se popraviti izgradnjom novih pojnih stanica.

Dani su prijedlozi za električno dimenzioniranje MTK postrojenja, te za rješenje MTK instalacija kod potrošača.

Opseg: 47 stranica.

**Tipizacija stupova za vodove 20 kV okrugle izvedbe**

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Obrada: mr. Mirjana Rimac, dipl. inž.

Suradnik: Radna grupa ZEOH-a

U tipizacijama stupova u distributivnoj mreži obrađeni su i betonski stupovi okrugle izvedbe. Tipizacija je izvedba stupa, temeljenje, montaže, oprema i održavanje stupa.

Opseg: 58 stranica.

**Tipizacija priključaka za objekte individualne izgradnje**

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Obrada: mr. Mirjana Rimac, dipl. inž.

Suradnik: Radna grupa ZEOH-a

Ovom tipizacijom obuhvaćeni su priključci objekata individualne izgradnje. Priključak je tipiziran od mjesta priključka na NN mrežu do priključno-mjernog ormarića na objektu. Tipiski su riješeni priključno-mjerni ormarići. Uz ovu tipizaciju jedinstveno su riješeni obrasci za dobivanje elektroenergetske suglasnosti i ugovori o korištenju električne energije.

Opseg: 93 stranice.

**Tipizacija uzemljenja i uzemljivača iznad 1 000 V**

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Obrada: mr. Mirjana Rimac, dipl. inž.

Suradnik: Radna grupa ZEOH-a

Tipizacija uzemljenja i uzemljivača u distributivnim mrežama iznad 1 000 V ima za cilj da:

- odredi struje jednopolnog kratkog spoja (JKS) u mrežama napona: 110, 35, 20 i 10 kV
- definira vremena isklapanja kvara u mrežama u ovisnosti o koncepciji i vrsti zaštite
- propiše mjere vezane uz probleme iznošenja potencijala iz postrojenja
- propiše metode proračuna struje mjerodavne za proračun uzemljivača
- definira metode proračuna uzemljenja trafostanica i vodova napona od 110 kV naniže.

Opseg: 37 stranica.

**Upute za projektiranje distributivnih NN mreža**

Dio: Izbor i proračun zaštitnih mjera i uređaja, te kontrola efikasnosti zaštite od previsokog napona dodira

Naručilac: ZEOH, Zagreb

**Autori:** mr. Ernest Mihalek, dipl. inž.  
mr. Božidar Filipović, dipl. inž.  
dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
Dasenko Baldasari, dipl. inž.

Završeno u travnju 1988.

Ove upute za projektiranje namijenjene su projektantima distributivnih NN mreža kako bi se pravilno obuhvatili svi postupci pri izradi tehničke dokumentacije i skupili svi nužni prilozi. Kako je Republički elektroenergetski inspektorat uputio »Osnovne smjernice za projektiranje...« sa stupanjem na snagu 1. 3. 1988, to je dogovorno prioritetno izrađen ovaj dio. U nastavku rada ove će se Upute kompletirati i izraditi zasebna programska podrška za kompjutorsko projektiranje.

U radu je dano sljedeće:

- pregled zaštitnih mjera u NN mrežama
- opće upute za sadržaj proračuna zaštite u projektima NN mreža
- način proračuna mjerodavnih parametara zaštite i primjeri
- proračun uzemljivača u mreži niskog napona
- ispitivanje zaštitnih mjera od indirektnog dodira u NN mrežama i instalacijama pri puštanju u pogon
- prilozi u obliku tablica, dijagrama i slika koji su potrebni uz proračune.

Opseg: 44 stranice, 30 tablica, 11 dijagrama i slika.

### **Tehnoekonomska analiza i mogućnosti ugradnje »Armipol« poliesterskih stupova u SFRJ**

**Naručilac:** FAPOL, fabrika za pripremu i preradu poliesterske masa, Podujevo, SAP Kosovo

**Autor:** mr. Ernest Mihalek, dipl. inž.

**Suradnik:** Marijan Magdić, dipl. oec.

Završeno u rujnu 1988.

Ova studija načinjena je u sklopu pripreme i izrade komercijalno-tehničke dokumentacije i obrade jugoslavenskog tržišta, što je povjereno jednom širem stručnom timu (SMELT, Ljubljana). U okviru toga načinjene su sve stručne pripreme za uvođenje normalne proizvodnje i prodaje poliesterskih stupova novog pogona u Podujevu.

Također treba napomenuti da se ova studija nadovezuje na stariju studiju što ju je 1979. izradio isti autor.

U radu je dana analiza vrste i broja stupova

- u mrežama elektrodistribucije (srednji i niski napon)
- u PTT — mrežama za prijenos informacija
- u mrežama javne rasvjete.

Dana je prognoza broja stupova u korelaciji s relevantnim faktorima razvoja, kao i tehnoekonomska usporedba sa i bez poliesterskih »Armipol« stupova po navedenim granama. Uzeto je u obzir zastarijevanje i održavanje kao i aktualizacije troškova do 2003. godine (15 godina unaprijed).

U nastavku je dana usporedba vodova na raznim vrstama stupova, procjena godišnje potrebe poliesterskih stupova u Jugoslaviji kao i ekonomska cijena poliesterskog stupa.

Kao rezultat analize načinjen je redosljed dostizanja rentabilnosti u pojedinim mrežama i vrstama terena. Sve analize, prognoze i ekonomski proračuni načinjeni su uz kompjutorsku podršku.

Opseg: 54 stranice, 21 tablica, 9 dijagrama i slika, prilog s preko 100 tablica ekonomskih proračuna.

### **Racionalno korištenje električne energije**

**Tehnički gubici i mjere za smanjenje**

**Naručilac:** ZEOH, Zagreb

**Autori:** mr. Ernest Mihalek, dipl. inž.  
Lahorko Wagmann, dipl. inž.

**Suradnik:** mr. Željko Rajić, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1988.

Ovo je prva studija u okviru makroprojekta »Racionalno korištenje električne energije« koji se redi za ZEOH, a ujedno i nastavak prethodnih dviju studija. Za razliku od prethodnih koje su definirale stanje gubitaka u mrežama distribucije Hrvatske i metode njihova određivanja — ova je studija dala obradu snimljenih dijagrama opterećenja i proračun gubitaka električne energije u onim mrežama gdje su ovi dijagrami snimljeni (mreže 35, 10 i 0,4 kV). Obuhvaćene su kabelske i nadzemne mreže. U radu je iz dobivenih rezultata načinjena analiza i procjena

ukupnih gubitaka u distribuciji Hrvatske, a posebno i utjecaj promjene parametara dijagrama opterećenja na promjene iznosa godišnjih gubitaka električne energije.

Opseg: 50 stranica, 17 tablica i 21 shema odnosno slika.

### **Kompenzacija jalovih snaga u električnoj mreži OOUR-a Distribucija, Split**

**Naručilac:** OOUR Distribucija, Split

**Autori:** mr. Željko Rajić, dipl. inž.  
Dasenko Baldasari, dipl. inž.

**Suradnici:** Milivoj Krmpotić, dipl. inž.  
Duško Mikulić, dipl. inž.  
Krešimir Mehičić, inž.  
Lahorko Wagmann, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1988.

Protjecanje jalove snage kroz električnu mrežu izaziva gubitke radne snage i energije, pogoršava naponske prilike i smanjuje propusnu moć elemenata mreže, a u sistemima gdje se vrši penaliziranje prekomjerno preuzete jalove energije izaziva i dodatne negativne financijske efekte.

Da bi se kompenzacija jalove snage u mreži OOUR-a »Distribucija« Split mogla realizirati, utvrđeni su tokovi radne i jalove snage u mreži i njihove vremenske promjene, a razvijen je i odgovarajući matematički postupak za određivanje mjesta i veličine ugradnje kondenzacijskih baterija koji se temelji na zahtjevu da uštede budu maksimalne.

Predloženo je da se na 10 kV naponu ugradi 6 MVar, a na niskom naponu 147 kondenzatorskih baterija nazivne snage po 50 kVar. Prema cijenama aktualnim 15. 11. 1988, ukupna investicija bi iznosila 2121-10<sup>6</sup> dinara, a postignute uštede, ne računajući rasterećenje mreže, 4064-10<sup>6</sup> dinara godišnje. Dakle, ulaganja u postrojenja čiji je vijek trajanja 10 do 12 godina isplatali bi se za nešto više od pola godine.

Opseg: 116 stranica sa 77 slika, 36 tablica s dodatnim listinzima.

### **Razvoj i eksploatacija banke podataka o stanju elektrodistributivne mreže SR Hrvatske**

**Naručilac:** Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

**Autori:** Krešimir Mehičić, inž.  
Rudolf Šimunec, el. teh.

Završeno u prosincu 1988.

Za potrebe elektrodistributivnih organizacija SR Hrvatske i ZEOH-a od 1983. godine prikupljaju se i pohranjuju na računalu Instituta za elektroprivredu podaci iz područja fizičkih veličina postrojenja i mreže, potrošnje električne energije i vršnih opterećenja čvorišta u mreži 35 kV. Od tada se obavlja godišnje ažuriranje podataka i izrađuju sheme stanja mreže 35 kV.

Uz formirani i godišnje ažurirani fond podataka izvršena je probna instalacija RDBMS »ORACLE« na računalo IE VAX-8300, te na PC OLIVETTI M-28. U potpunosti je izvršena konverzija svih podataka u ORACLE na oba računala, te ispitane mogućnosti transfera podataka (ORACLE VAX — ORACLE PC) između računala. Na osnovi prikupljenih podataka i zahtjeva naručioca izrađen je godišnji izvještaj te dostavljen u ZEOH, te u sve RO I OOUR-e distribucije SR Hrvatske.

Opseg: godišnji izvještaj sadrži oko 300 stranica listinga i 8 slika.

### **Organizacija baze podataka**

**Naručilac:** EDRO Elektrokrajina, Banja Luka

**Autori:** Krešimir Mehičić, inž.  
Rudolf Šimunec, el. teh.

Završeno u listopadu 1988.

U području tehničkog poslovanja EDRO ELEKTROKRAJINE Banja Luka postoji potreba za prikupljanjem i obradom velikog broja podataka o elementima mreže i postrojenja. Takve poslove praktički je nemoguće obaviti na zadovoljavajući način bez odgovarajuće softverske podrške. Stoga je za njihove potrebe izvršen izbor potrebnih podataka, organizacija baze podataka na računalo, te instalacija pratećeg softvera (SPEEM-sistema podataka elektroenergetske mreže) koji je u potpunosti razvijen u IE-Zagreb. Osim instalacije SPEEM-a na računalo »ELEKTROKRAJINE« educiran je i odgovarajući kadar za potrebe daljeg samostalnog vođenja baze podataka.

Opseg: softverski paket SPEEM, upute za administratora BP i operatere unosa podataka.

## STUDIJ TERMOENERGETSKIH SISTEMA

### Garancijsko ispitivanje oduzimno-kondenzacijskog turboagregata »Jugoturbina« Karlovac, snage 50 MW instaliranog u TE-TO Ljubljana

Naručilac: Jugoturbina-commerce, Karlovac

Autor: Stjepan Ivančić, dipl. inž.

Ispitivanja: Čedomir Selanec, dipl. inž.  
Ernest Prištof, dipl. inž.  
Vladimir Martinec, dipl. tehn.  
Boris Popinjač, dipl. teh.

Završeno u ožujku 1988.

Provedenim ispitivanjima i proračunima na temelju izmjerenih vrijednosti utvrđene su garancijske veličine oduzimno-kondenzacijskog TA »Jugoturbina« snage 50 MW, instaliranog u TE-TO Ljubljana.

Ispitivanja su provedena pri zadanim garancijskim režimima rada postrojenja.

Opseg: 78 stranica teksta i tabličnih prikaza i 14 stranica priloga.

### Tehnički izvještaj s ispitivanja rashladnog tornja u TE Ugljevik I – blok 300 MW

Naručilac: Elektroprivreda BiH, Sarajevo  
RO Rudnik i TE Ugljevik

Autor: Stjepan Ivančić, dipl. inž.

Ispitivanja: Čedomir Selanec, dipl. inž.  
Ernest Prištof, dipl. inž.  
Vladimir Martinec, dipl. teh.

Nakon provedene rekonstrukcije rashladnog tornja provedena su kontrolna ispitivanja radi utvrđivanja karakteristika hlađenja rashladnog tornja.

Opseg: 16 stranica teksta 12 stranica priloga (tablice i slike).

### Ispitivanje postrojenja elektrofiltera bloka 300 MW u TE Ugljevik I

Naručilac: Elektroprivreda BiH, Sarajevo  
RO Rudnik i TE Ugljevik

Autor: Stjepan Ivančić, dipl. inž.

Ispitivanje: stručno osoblje SJ za termoenergetske sisteme.

Radi provjere projektno-izvedbenih karakteristika i emisije krutih čestica provedena su ispitivanja postrojenja i izraden tehnički izvještaj.

Opseg: 22 stranice teksta i 6 priloga.

### Ispitivanje postrojenja za otpremu pepela iz kotla bloka 300 MW u TE Ugljevik I

Naručilac: Elektroprivreda BiH, Sarajevo  
RO Rudnik i TE Ugljevik

Autor: Stjepan Ivančić, dipl. inž.

Ispitivanje: stručno osoblje SJ za termoenergetske sisteme.

Ispitivanja su provedena radi utvrđivanja stvarnog kapaciteta dobave i provjere projektno-izvedbenih karakteristika postrojenja za otpremu pepela iz kotla bloka 300 MW. Na temelju provedenih ispitivanja i obavljenih proračuna izraden je tehnički izvještaj.

Opseg: 23 stranice teksta i 54 stranice priloga.

### Preliminarni investicijski program postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova TE Plomin II

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka

Autori: dr. Dubravko Matanić, dipl. inž.  
Zoran Selanec, dipl. inž.  
Mladen Nadinić, dipl. inž.

Završeno u kolovozu 1988.

Radi donošenja preliminarne odluke, te izradu natječajne dokumentacije izraden je preliminarni investicijski program za postrojenje za odsumporavanje dimnih plinova TE Plomin II. Rad po opsegu i sadržaju odgovora investicijskom programu, uz napomenu da su razrade obavljene na temelju preliminar-nog tehničkog rješenja.

Opseg: 135 stranica s prilogima.

### Tender za prikupljanje ponuda za postrojenje za odsumporavanje dimnih plinova TE Plomin II

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka

Autori: Mladen Nadinić, dipl. inž.  
Zoran Selanec, dipl. inž.  
Hrvoje Brkić, dipl. inž.

Završeno u svibnju 1988.

Za potrebe raspisa natječaja za postrojenje za odsumporavanje dimnih plinova u TE Plomin II izradena je natječajna dokumentacija u kojoj su definirani svi zahtjevi relevantni za podnošenje ponude.

Opseg: 180 stranica teksta, 40 stranica priloga.

### Izbor tehnologije čepjenja i vrste čepa cijevi generatora pare u NE Krško

Naručilac: NE Krško

Autori: mr. Berislav Nadinić, dipl. inž.  
Zlatko Varaždinec, dipl. inž.  
Nikola Jakšić, dipl. inž.  
Darko Barilar, dipl. inž.

Završeno u svibnju 1988.

U studiji »Izbor tehnologije čepjenja i vrste čepa cijevi generatora pare u NE Krško« detaljno su opisane vrste čepova za cijevi generatora pare raspoloživih trenutno na svjetskom tržištu, načini njihove ugradnje, potrebna oprema i zahtjevi u ljudstvu potrebni za obavljanje svih aktivnosti vezanih za čepjenje cijevi generatora pare. Također je razvijena kvantitativna metoda čepa pojedinih proizvođača koja je demonstrirana na prikupljenim ponudama za izvođenje aktivnosti čepjenja u NE Krško.

Studija sadrži i detaljan pregled s opisom svih postupaka sleevinga koji se danas primjenjuju u svijetu, ali bez njihove eventualne ocjene s obzirom na pouzdanost u pogonu.

Opseg: 148 stranica teksta, tabelarnih prikaza i slika.

### Ispitivanje ugljenog kotla proizvodnje TPK tip KLM80, instaliranog u »Vunateks«-u Karlovac

Naručilac: TPK, Zagreb

Autori: Čedomir Selanec, dipl. inž.  
Ernest Prištof, dipl. inž.  
Boris Popinjač, dipl. tehn.

Završeno u srpnju 1988.

Za potrebe isporučioa kotla provedena su ispitivanja ugljenog kotla radi utvrđivanja energetske karakteristika i kvalitete izgaranja. Na temelju rezultata ispitivanja izraden je tehnički izvještaj o provedenom ispitivanju sa svim proračunima.

Opseg: 16 stranica teksta i 39 stranica priloga.

### Utvrđivanje energetske karakteristika i normativa bloka 1 u TE Sisak

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb, OOUR TE Sisak

Autori: Čedomir Selanec, dipl. inž.  
Ernest Prištuf, dipl. inž.

Ispitivanje: stručno osoblje SJ za termoenergetske sisteme.

Završeno 1988. godine

Da bi se utvrdio normativni utrošak goriva u ovisnosti o el. snazi na pragu i režimu rada provedena su ispitivanja na osnovi kojih su utvrđene parcijalne energetske karakteristike dijelova postrojenja, a na bazi njih utvrđen je i normativni neto specifični potrošak topline goriva bloka.

Opseg: 201 stranica teksta, tabelarnih prikaza i slika.

### Utvrđivanje energetske karakteristika i normativa bloka 300 MW u TE Ugljevik nakon provedenih rekonstrukcija

Naručilac: Elektroprivreda BiH, Sarajevo  
RO Rudnik i TE Ugljevik

Autori: Stjepan Ivančić, dipl. inž.  
Čedomir Selanec, dipl. inž.  
Ernest Prištuf, dipl. inž.

Završeno u rujnu 1988.

Nakon provedenih rekonstrukcija na postrojenju provedena su kompleksna normativna ispitivanja radi utvrđivanja karakteristika postrojenja i normativnih potrošaka goriva.

Opseg: 170 stranica teksta, 98 stranica priloga, 45 slika.

### Studija utjecaja na okolinu za program razvoja EL-TO Zagreb do 2000. godine

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb, OOUR EL-TO Zagreb

Autori: dr. Jure Ćurković, dipl. inž.  
Čedomir Selanec, dipl. inž.  
Željko Postružin, dipl. inž.  
Miroslav Juretić, dipl. inž.  
mr. Zdravko Mužek, dipl. inž.  
Stjepan Ivančić, dipl. inž.  
Irena Pavić, dipl. inž.  
Ljiljana Aleksić, dipl. inž.  
Marijan Zelić, dipl. inž.

Završeno u veljači 1988.

Studija obrađuje utjecaj na okolinu postrojenja EL-TO u programu razvoja do 2000. godine. Obradena je lokacija s opisom tehnoloških cjelina, meteorološke, zatim geološke i hidrološke karakteristike užeg i šireg područja, kvaliteta površinskih i podzemnih voda, te su prikazani podaci o stanovništvu i naseljima, te o zaštićenim prirodnim i od čovjeka stvorenim vrijednostima. Uz razloge i ciljeve investiranja predočen je i razvoj toplinskog konzuma.

Mogući utjecaji na okolinu obrađeni su u svim aspektima tehnološkog ciklusa, a naročito računskim modelima u domeni onečišćenja okolnog zraka. Analizirane su moguće zaštitne mjere i određen je izbor optimalnog načina zaštite zraka od onečišćenja primjenom Cost-effectiveness analize.

Opseg: 220 stranica teksta, 51 stranica slika, 82 stranice tablica, prilog 92 stranice tablica, 17 karata.

### Izbor lokacije za TE na uvozni ugljen na području Dalmacije

Naručilac: Elektroprivreda Dalmacije

Autori: dr. Niko Malbaša, dipl. inž.  
Ljiljana Aleksić, dipl. inž.  
Zoran Kisić, dipl. inž.  
Željko Postružin, dipl. inž.  
Boris Štajer, dipl. inž.  
Antun Jahoda, dipl. inž.  
Ivica Jelovina, dipl. inž.  
Željko Korek, dipl. inž.  
Anđelko Relja, dipl. inž.

Završeno u veljači 1988.

Kao područje od interesa za lociranje TE snage 2 x 350 MW na uvozni ugljen u ovoj je studiji analizirano područje Dalmacije, tj. obalni pojas od Dubrovnika na jugoistoku do otoka Paga na sjeverozapadu. Primjenom eliminacijskih kriterija isključen je najveći dio promatranog područja, a na preostalom je inženjerskom ocjenom odabrano osam potencijalnih mikrolokacija koje odgovaraju osnovnim kriterijima prihvatljivosti za izgradnju TE. Za vrednovanje i usporedbu mikrolokacija korštena je metoda sumiranja vaganih vrijednosti. Parametri prema kojima se vrednovalo obuhvatili su ekonomske karakteristike (većinom investicije i pogonske troškove lokacijski ovisnih sistema TE) te turizam, meteorološko-demografske karakteristike i ostale prirodne karakteristike lokacije i njene okoline. Parametri su ocijenjeni na temelju orijentacijskog dispozicijskog rješenja TE za svaku mikrolokaciju odnosno prema postojećim dostupnim podacima o naseljenosti i prirodnim karakteristikama prostora.

Na navedeni način vrednovano je i rangirano pet mikrolokacija, a tri su odbacene, uglavnom po načelu inferiornosti u odnosu na ostale. Provedena je i analiza osjetljivosti rezultata s obzirom na odnose među pojedinim grupama parametara, a naročito u odnosu grupa ekonomskih i neekonomskih parametara.

Opseg: 170 stranica teksta, 9 priloga (situacijski prikazi mikrolokacija i dispozicija objekata TE).

### Primjena rizik-trošak analize u području planiranja izgradnje elektroenergetskih postrojenja

Naručilac: ZEOH

Autori: dr. Jure Ćurković, dipl. inž.  
Željko Postružin, dipl. inž.

Završeno u ožujku 1988.

U studiji je opisana i primijenjena rizik-trošak analiza u području planiranja izgradnje elektroenergetskih postrojenja. U analizu su uvedeni novi termini: direktno smanjenje rizika, indirektno povećanje rizika i neto rizik. Pomoću navedenih triju parametara pokazano je da kod svakog niza zaštitnih alternativa postoji točka u kojoj se mijenja prelazak krivulje neto-rizika, tj. u kojoj ukupni rizik počinje rasti.

Na navedenim osnovama napravljena je primjena rizik-trošak analize na TE Plomin. Rezultati su pokazali da optimalna kombinacija zaštitnih alternativa uključuje i visoki dimnjak (300 m, elektrostatski filter, postrojenje za odsumporavanje dimnih plinova sa stupnjem odsumporavanja od 90%. Također je pokazano da svaka daljnja zaštitna alternativa povećava ukupni rizik po okolinu.

Opseg: 173 stranice teksta, tabličnih prikaza i slika.

### Opravdanost rekonstrukcije turbine T-100/110-130 u TE-TO Zagreb

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb, OOUR TE-TO Zagreb

Autori: Miroslav Juretić, dipl. inž.  
Zlatko Komerički, oec.  
mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.  
Nedeljka Komerički, oec.

Završeno u travnju 1988.

Analizirana je opravdanost rekonstrukcije turbine T-100/110-130 radi omogućavanja oduzimanja tehnološke pare. Na osnovi sagledavanja rekonstruiranog bloka u toplinskom i elektroenergetskom sistemu izabrana je između niz tehničkih varijanti najpovoljnija i pokazana opravdanost njene primjene.

Opseg: 40 stranica teksta, 18 tablica, 5 slika.

### Studija utjecaja na okolinu postrojenja za odsumporavanje dimnih plinova TE Plomin II

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka

**Autori:** dr. Jure Ćurković, dipl. inž.  
dr. Dubravko Matanić, dipl. inž.  
mr. Vladimir Jelavić, dipl. inž.  
Željko Postružin, dipl. inž.

Završeno u lipnju 1988.

Studija je napravljena za mokri postupak odsumporavanja dimnih plinova i nusproizvodom gipsom. Obradjeni su svi značajni utjecaji na okolinu i svi putevi utjecaja. Napravljena je analiza zaštitnih mjera i proračunata je njihova efikasnost. Studija je kao osnovni rezultat dala uvjete pod kojima se može graditi TE Plomin 2 s postrojenjem za odsumporavanje dimnih plinova.

Opseg: 139 stranica teksta, 112 stranica priloga.

### **Analiza opravdanosti supstitucije blokova 2 × 32 MW u TE-TO Zagreb**

**Naručilac:** Elektroprivreda, Zagreb, OOUR TE-TO Zagreb

**Autori:** mr. Zdravko Mužek, dipl. inž.  
Darko Barilar, dipl. inž.  
Miroslav Juretić, dipl. inž.  
mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.  
Nedeljka Komerički, oec.

Završeno u studenom 1988.

Analizirana je opravdanost supstitucije bloka 2 × 32 MW u TE-TO Zagreb. Sagledavanje bloka PT 200 u toplinskom i elektroenergetskom sistemu, varirajući polazne pretpostavke relevantne za ekonomsku opravdanost supstitucije, pokazana je opravdanost izgradnje u neizvjesnim budućim uvjetima. S obzirom na znatne strateške kvalitete jedinice PT 200 predložena je njena izgradnja. Dan je prijedlog podjele troškova i određena cijena proizvodnje toplinske i električne energije. Definiran je i rashladni sistem bloka, izabran tip i karakteristike turbine, te ispitan priključak na visokonaponsku el. energetsku mrežu.

Opseg: 50 stranica teksta i tabličnih prikaza.

### **Analiza rezultata ispitivanja cijevi generatora pare broj 1 i 2 NE Krško (završni izvještaj) — ISI '88**

**Naručilac:** NE Krško

**Autori:** Marino Balog, dipl. inž.  
Ratko Vojvodić, dipl. inž.  
Nikola Jakšić, dipl. inž.  
Vladimir Zado, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1988.

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: generator pare 1 — 1 knjiga 300 stranica tekst i prilozi  
2 knjige priloga po 300 stranica  
generator pare 2 — 1 knjiga 300 stranica teksta i priloga.

### **Preliminarni investicijski program TE-TO na otpatke, Zagreb**

**Naručilac:** Elektroprivreda, Zagreb

**Autori:** Mladen Nadinić, dipl. inž.  
Hrvoje Brkić, dipl. inž.  
dr. Dubravko Matanić, dipl. inž.  
Zoran Selanec, dipl. inž.  
mr. Zlatko Komerički, dipl. inž.

Završeno u listopadu 1988.

Preliminarni investicijski program za TE-TO na otpatke Zagreb raden je radi utvrđivanja troškova izgradnje i eksploatacije spalionice otpada, kao osnove za donošenje prethodnih odluka o izgradnji zainteresiranih organizacija i društveno političkih zajednica.

Programom su analizirani troškovi prve faze izgradnje koja treba da zadovolji potrebe grada krajem stoljeća, a koja obuhvaća izgradnju triju jedinica za spa-

ljivanje komunalnog otpada i jednu jedinicu za spaljivanje tehnološkog i bolničkog infektivnog otpada.

Troškovi su razmatrani posebno za spalionicu komunalnog, a posebno za spalionicu tehnološkog i bolničkog otpada.

Opseg: 340 stranica teksta i tablica.

### **Mogućnost izgradnje TE na ugljen na postojećim lokacijama u SRH**

**Naručilac:** ZEOH

**Autori:** mr. Hrvoje Kunaj, dipl. inž.  
Mladen Nadinić, dipl. inž.  
Marijan Sarajlija, dipl. teh.

Završeno u ožujku 1988.

U radu su pokazane tehničke mogućnosti dogradnje termoenergetskih blokova na uvozni ugljen el. snage 200 do 300 MWe na lokacijama uz postojeće termoelektrane u SRH. Pri analizi stanja na lokacijama šest postojećih TE u SRH: TE Plomin, TE Rijeka, TE Sisak, TE-TO Zagreb, EL-TO Osijek i TE Jertovec, uzimali su se u obzir sljedeći kriteriji: potreban prostor za objekte TE, deponije ugljena prostor za deponiju šljake, transportne mogućnosti, stanje postojeće infrastrukture, postojeća iskustva u loženju ugljenom, mogućnosti izvedbe rashladnog sistema i energetske karakteristike lokacije.

Opseg: 36 stranica teksta i 6 nacrti dispozicije objekata.

### **Analiza rezultata tehničkog promatranja strojarske i hidromehaničke opreme HE Dubrovnik**

**Naručilac:** HE Dubrovnik

**Autor:** Mijo Martinko, dipl. inž.

**Ispitivanje:** stručno osoblje SJ za termoenergetske sisteme

Završeno u veljači 1988.

Tijekom redovnog godišnjeg remonta HE Dubrovnik u 1987. godini obavljena su kao nastavak ispitivanja iz 1986. godine bezrazorna ispitivanja preostalog dijela strojarske opreme elektrane. Ispitivanja su obuhvatila sve bitne dijelove turbine i generatora, rashladne i protupožarne cjevovode te reparirane rezervne dijelove opreme. Na osnovi provedenih ispitivanja obavljena je analiza dobivenih rezultata te su izložene osnovne preporuke za daljnje održavanje ispitane opreme, kao i preporuke za eventualna buduća tehnička promatranja.

Opseg: 53 stranice teksta i knjiga priloga.

### **Pregled rezultata ispitivanja cijevi generatora pare u NE Krško — ISI '86 i '87.**

**Naručilac:** NE Krško

**Autori:** Darko Barilar, dipl. inž.  
Marino Balog, dipl. inž.

Završeno u srpnju 1988.

U radu su sistematizirani podaci ispitivanja cijevnog snopa generatora pare za 1986. i 1987. godinu, s mogućnošću daljnjeg proširenja baze podataka. Ovakav način vođenja baze podataka olakšao je praćenje stanja cijevnog snopa generatora pare u NE Krško.

Opseg: 176 stranica teksta i tablica.

### **Izvještaj o kontrolnim ispitivanjima sekundarnog dijela NE Krško u svrhu detekcije manjka električne snage postrojenja**

**Naručilac:** NE Krško

**Autor:** Stjepan Ivančić, dipl. inž.

Ispitivanje: Čedomir Selanec, dipl. inž.  
 mr. Berislav Nadinić, dipl. inž.  
 Ernest Prištof, dipl. inž.  
 Vladimir Martinec, dipl. inž.  
 Boris Popinjač, dipl. teh.

Završeno u svibnju 1988.

Kontrolna ispitivanja sekundarnog dijela NE Krško provedena su radi detekcije i analize mogućih uzroka smanjenja električne snage na stezaljkama generatora, te kvantifikacija manjka u odnosu na veličinu utvrđenu u toku prethodno obavljenih garancijskih ispitivanja NE Krško.

Opseg: 23 stranice teksta i tablica.

## STUDIJ VISOKONAPONSKJE OPREME I PRIJENOSNIH MREŽA

**Prijedlog optimiranja mreže meteoroloških opažanja za potrebe Elektroprivrede SR Hrvatske — I dio**

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: Ante Sekso, dipl. inž.  
 Srećko Bojić, dipl. inž.  
 Krešimir Plantić, dipl. inž.  
 Aleksandar Russo, dipl. inž.

Završeno u travnju 1988.

U studiji su prikazani meteorološki parametri značajni za elektroprivredu. Dan je opis praćenja tih parametara u zemlji i u svijetu na osnovi ankete koju smo sprovedli u nekoliko zemalja. Nakon kraćeg prikaza planiranog razvoja elektroenergetskih objekata dan je prijedlog mreža specijalnih stanica za elektroprivredne potrebe (praćenje grmljavina, zagađenja izolatora te leda i vjetra). Kompletan prijedlog mreže za sve parametre s etapama izgradnje nije mogao biti obrađen zbog nepostojanja svih potrebnih podloga, i to točnog popisa opreme svih meteoroloških stanica (RHMZ) i etapnosti izgradnje važnijih postrojenja i vodova (Elektroprivreda). U prilogu dani su opsežni odgovori nekoliko evropskih elektroprivrednih organizacija o njihovom praćenju meteoroloških fenomena.

Opseg: 111 stranica sa 9 slika i 5 tablica te 4 priloga na 132 stranice.

**Koncepcija organizacije specijalnih meteoroloških mjerenja za područje »Elektroprivreda« Rijeka**

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka, Elektroprimorje, Rijeka i Elektroistra, Pula

Autor: Ante Sekso, dipl. inž.

Završeno u kolovozu 1988.

U radu je obrađen izbor metoda, mjerne opreme i lokacija za specijalna mjerenja grmljavina i zagađenja visokonaponske izolacije na području »Elektroprivreda« Rijeka. Odabrano je 13 lokacija za praćenje grmljavina i 8 za praćenje izolacije.

Dane su detaljne upute za vođenje mjerenja i obradu podataka, te tehnički opisi odabrane mjerne opreme. Težilo se da odabrana metodologija bude što suvremenija i sličnija ovoj po kojoj se već provode mjerenja u južnom dijelu primorja.

Opseg: 60 stranica sa 13 slika i 2 tablice.

**Praćenje i utvrđivanje stupnja zagađenja vanjske izolacije u ispitnim stanicama u primorju**

Naručilac: Elektroprivreda Dalmacije, Split i Elektroprenos, Split

Autor: Ante Sekso, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1988.

Obradjeni su rezultati prvih sistematskih mjerenja stupnja zagađenja izolacije međunarodno preporučenim metodama. Mjerenja se stalno vode od početka 1986. godine u ispitnim stanicama u okolini Nina i Zadra, a koriste se metode

usmjerenih spremnika te pranja izolatorskog lanca (metoda ESDD). Analiza dosadašnjih podataka daje zanimljive informacije o utjecaju visine ugradnje izolatorskog lanca, o obliku izolatorskog članka, smjeru vjetra i drugim faktorima. Na temelju prvih kvantitativnih podataka izvršena je korekcija u izboru izolatora za aparate i vodove za buduću TS 110/35 kV Nin.

Opseg: 30 strana sa 2 slike i 14 tablica.

**Komentari elektrodijela idejnog projekta TS (110) 35/10 kV Butoniga**

Naručilac: Vodovod Butoniga, Buzet

Autori: Dimitrije Avdejev, dipl. inž.  
 Miroslav Blažičko, dipl. inž.  
 Ante Sekso, dipl. inž.

Završeno u veljači 1988.

Dan je komentar i ocjena idejnog rješenja TS (110) 35/10 kV Butoniga za napajanje budućeg vodovoda u Istri. Obradeno je napajanje i izbor transformatora, zatim pitanja uzemljivača i posebno problem ev. iznošenja potencijala, te problematika daljinskog upravljanja i telekomunikacija.

Opseg: 16 stranica, 1 slika.

**Sumarni prikaz rezultata mjerenja sklopnih prenapona u 400 kV mreži u SR Hrvatskoj**

Naručilac: Studij elektrotehnike Sveučilišta u Osijeku

Autori: Ante Sekso, dipl. inž.  
 mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.

Završeno u svibnju 1988.

Radi uporedbe sa EMTP-proračunima dani su sumarni rezultati svih mjerenja sklopnih prenapona u 400 kV mreži SR Hrvatske. Priloženi su tipični oscilogrami dobiveni u različitim ispitnim konfiguracijama. Na kraju su dani podaci za vod Krško-Zagreb, te popis studija o navedenim ispitivanjima u mreži.

Opseg: 24 stranice sa 8 slika i 2 tablice, te 19 stranica sa 38 tipičnih oscilograma.

**Ispitivanje uzemljenja HE Manojlovac**

Naručilac: Elektroprivreda Dalmacije, OOUR HE na Krki i Zrmanji

Autor: mr. Dragutin Mihalic, dipl. inž.

Suradnici: Josip Mužny, dipl. inž.  
 Đuro Juretić, tehn.  
 Damir Sever, tehn.  
 Srećko Juretić, tehn.

Završeno u rujnu 1988.

Razmatranjem prilika kod jednopolnog kratkog spoja u HE Manojlovac izvršen je proračun mjerodavne struje za kontrolu uzemljivača. Mjerenja su provedena

u srpnju 1988. Utvrđeno je zadovoljavajuće stanje uzemljivača i nepropisna izvedenost priključaka odvodnika prenapona na uzemljivač. Preporučeni su potrebni zahvati za sanaciju stanja.

Opseg: 20 stranica, 10 slika, 1 tablica.

### Ispitivanje elektrotehničke opreme u TE »Rijeka I« u 1988. godini

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka, OOUR TE Rijeka I

Autor: mr. Dragutin Mihalic, dipl. inž.

Suradnici: Josip Mužny, dipl. inž.  
Stjepan Zubić, tehn.  
Damir Sever, tehn.  
Srećko Juretić, tehn.  
Ivan Konfic, tehn.

Završeno u rujnu 1988.

U 1988. obavljeno je ispitivanje stanja generatora (izolacija statorskog i rotorskog namota, izolacija ležaja) i svih VN motora u TE »Rijeka I«.

U elaboratu je dan prikaz metodologije ispitivanja (mjerne metode, kriteriji za ocjenu stanja) i analiza rezultata mjerenja sa svim potrebnim ocjenama i zaključcima.

Opseg: 95 stranica, 19 slika, 59 tablica.

### Ispitivanje elektrotehničke opreme u TE »Plomin I« u 1988. godini

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka, OOUR TE Plomin I

Autor: mr. Dragutin Mihalic, dipl. inž.

Suradnici: Josip Mužny, dipl. inž.  
Stjepan Zubić, tehn.  
Damir Sever, tehn.  
Srećko Juretić, tehn.

Završeno u listopadu 1988.

U 1988. obavljeno je ispitivanje stanja generatora (izolacija statorskog i rotorskog namota, izolacija ležaja) i svih VN motora u TE »Plomin I«.

U elaboratu je dan prikaz metodologije ispitivanja (mjerne metode, kriteriji za ocjenu stanja) i analiza rezultata mjerenja sa svim potrebnim ocjenama i zaključcima.

Osim toga obavljena je detaljnija analiza stanja generatora, kao i kontrolna mjerenja nakon završetka popravka statorskog namota.

Opseg: 138 stranica, 28 slika, 78 tablica.

### Prenaponi kod isklapanja 6 kV motora vakuumskim prekidačem u TE »Plomin I«

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka, OOUR TE Plomin I

Autor: mr. Dragutin Mihalic, dipl. inž.

Završeno u veljači 1988.

Ugradnjom vakuumskih prekidača za isklapanje VN motora u TE Plomin I postavilo se pitanje o visini prenapona kod sklopnih operacija, kao i o ugroženosti motora od tako generiranih prenapona. Provedena su mjerenja, izvršena kompletna statistička obrada rezultata i provedena analiza današnjih saznanja o impulsnoj čvrstoći izolacije motora.

Opseg: 27 stranica, 14 slika i 7 tablica.

### Ispitivanje elektrotehničke opreme HE Manojlovac u svrhu praćenja stanja i ocjene mogućnosti povećanja snage

Naručilac: Elektroprivreda Dalmacije, OOUR HE na Krki i Zrmanji

Autori: Josip Mužny, dipl. inž.  
mr. Dragutin Mihalic, dipl. inž.

Suradnici: Stjepan Zubić, tehn.  
Đuro Juretić, tehn.  
Damir Sever, tehn.

HE Manojlovac je jedan od najstarijih elektroenergetskih objekata u SRH. Unatoč tome, uz značajna ulaganja u revitalizaciju, elektrana je neprestano u pogonskoj spremnosti. To je, među ostalim, omogućilo i praćenje stanja elektrotehničke opreme, te u vezi s time poduzimanje odgovarajućih mjera. Osim toga, razmatrana je mogućnost povećanja snage s obzirom na stanje i mogućnosti ugrađene elektrotehničke i hidromehaničke opreme.

### Proračun kratkog spoja u mreži 110 kV SAP Kosova za 1990/95. godinu

Naručilac: SOUR Elektroprivreda Kosova

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.

Završeno u ožujku 1988.

U radu je proveden proračun najvećeg početnog tropskog i jednopolnog kratkog spoja u mreži SAP Kosova za godinu 1990/95, kada će biti aktualni rezultati proračuna kratkog spoja u elektrovnim podstanicama 110/25 kV Valač, Kosovo Polje i Grlica. Mreža za 1990/95. je u nedostatku valoriziranih planova razvoja procijenjena na osnovi podatka koje je dao naručilac, a računata je uz pretpostavku da je mreža prije nastanka kvara u praznom hodu, dok je napon prije nastanka kvara pretpostavljen kao najviši pogonski.

Opseg: 35 stranica sa 3 slike i 1 tablicom.

### Proračun raspodjele najvećih mogućih struja početnog jednopolnog kratkog spoja u vodovima DV 2 × 110 kV Resnik-Mraclin, DV 110 kV Mraclin-Ivanić i DV 2 × 110 kV Mraclin-Sisak (Pračno) za mrežu 1990. godine

Naručilac: RO Dalekovod, Zagreb, OOUR Inžinjeri, Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.

Završeno u lipnju 1988.

U elaboratu je za potrebe proračuna utjecaja DV (rasplet TS 220/110 kV Mraclin) na tf. vodove NK-1 i NK-2 proveden proračun raspodjele trostrukih nultih struja u zemlji i u vodičima kod neistodobnih jednopolnih kratkih spojeva duž trasa navedenih dalekovoda.

Opseg: 31 stranica sa 7 slika i 3 tablice.

### Pogonska sigurnost postrojenja 110 kV i stanje 110 kV prekidača u postrojenju TE-TO Zagreb

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb, OOUR za proizvodnju toplinske i električne energije Termoelektrana-toplana

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.

Suradnici: dr. Miroslav Jung, dipl. inž.  
Josip Mužny, dipl. inž.  
Stjepan Zubić, tehn.  
Đuro Juretić, tehn.

Završeno u kolovozu 1988.

U studiji je provedena kontrola pogonske sigurnosti postrojenja 110 kV i stanje 110 kV prekidača u postrojenju Termoelektrana-toplana Zagreb, respektirajući priključak novog bloka 190 MW i priključak TE-TO na otpad.

U studiji su uvedeno navedene tehničke karakteristike visoko naponske i srednjenaponske opreme TE-TO Zagreb pregledno za I i II fazu izgradnje (rasklopno postrojenje, prekidači, rastavljači, vodovi, transformator i generatori). U nedostatku potrebnih podataka provedena su mjerenja i proračun nultih konstanti transformatora. Prikazane su zatim raspoložive prostorne mogućnosti za širenje postrojenja, kao i planovi razvoja proizvodnih i prijenosnih postrojenja u okolini TE-TO Zagreb i njihov postojeći status.

Kontrola pogonske sigurnosti je u nastavku obuhvatila elektroenergetske analize prilika u mreži 110 kV i proračun kratkog spoja u mreži 110 kV na području Zagreb-makro u normalnom i sekcioniranom pogonu. Rezultati proračuna su

prikazani tabelarno i na slikama, zbog preglednosti. Oni upućuju na potrebe hitne zamjene prekidača I faze izgradnje postrojenja (rasklopne moći 5000 MVA) s jačim već za današnju mrežu, kao i zamjene (rekonstrukcije) dijela sabirnice 110 kV u uvjetima priključenja novog bloka 190 MW.

Analiza razvoja 110 kV mreže na području Zagreb-makro, uz zadovoljenje pretpostavki o (poprečnom) sekcioniranom pogonu mreže, navodi na zaključak o očekivanoj graničnoj resklopnoj snazi u postrojenju 110 TE-TO Zagreb od 6000 MVA odnosno 31,5 kA.

Umjesto zaključka navodimo ovdje izvadak iz recenzije: »Rezultati studije još jednom pokazuju, da je razvoj mreže 11 kV na području Zagreb-makro veoma kompleksan posao, pa studiranju istog treba prići veoma obimno, solidno što konkretnije, posebno kod uključenja novih blokova u 110 kV mrežu....«.

Opseg: 100 stranica sa 17 slika i 16 tablica.

### Proračun raspodjele najvećih mogućih struja početnog jed-nopolnog kratkog spoja na DV 400 kV Melina-Tumbri

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb, OOUR Elektroprenos, Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.

Završeno u listopadu 1988.

U elaboratu je za potrebe kontrole utjecaja na tf. vodove proveden proračun raspodjele najvećih mogućih struja početnog jed-nopolnog kratkog spoja (trostruke nulte struje) duž trase DV postojećeg i novog (smanjenih dimenzija) stupa 400 kV. Rezultati proračuna jasno upućuju na zanemarive razlike u izračunatim strujama za vod sa smanjenom glavom stupa u odnosu na postojeće vodove 400 kV, što upućuje na važnost točnog ekvivalentiranja nadomjesne mreže.

Opseg: 32 stranice sa 3 slike i 3 tablice.

### Konzalting aktivnosti u izgradnji TE Plomin 2 — MRU oprema

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka, OOUR TE Plomin 2

Autor: mr. Boris Kalan, dipl. inž.

Konzalting aktivnosti na području MRU opreme odnosile su se na komentare i izradu tenderske dokumentacije za ekransko upravljanje i nadzor elektroenergetskih postrojenja TE Plomin 1 i TE Plomin 2, zatim na komentare QC postupka, kao i preuzimanje prema potrebi investitora.

### QA/QC aktivnosti tokom remonta '88 NE Krško za I & C opremu

Naručilac: NE Krško

Izvršio: Dimitrije Avdejev, dipl. inž.  
mr. Boris Kalan, dipl. inž.

U toku remonta NE Krško obavljene su QA/QC aktivnosti za opremu i sisteme mjerenja, regulacije i upravljanja prema programu remontnih aktivnosti i planu radnih naloga. Praćena su izvođenja modifikacija na sigurnosnoj opremi s provjerom ispunjenja projektnih i QA/QC zahtjeva u toku pogonskih ispitivanja.

Na kraju remonta dana je stručna ocjena kvalitete obavljenih remontnih radova.

### Ispitivanja u mreži 10 kV s uzemljenom neutralnom točkom napajane iz TS 110/10 kV Osijek 3

Naručilac: Elektroslovanija, Osijek

Autor: Josip Kučak, dipl. inž.

Suradnici: Tomislav Veselić, inž.  
Ivan Konfic, tehn.

Završeno u veljači 1988.

Izgradnjom transformatorske stanice 110/10 kV Osijek 3 omogućen je pogon mreže 10 kV krada Osijeka, sa uzemljenjem neutralne točke preko malog otpora, koji ograničava struju jed-nopolnog kratkog spoja na 300 A.

Istraživanja u mreži 10 kV obuhvatila su sljedeća ispitivanja:

- iznošenje potencijala iz TS 110/10 kV Osijek 3
- mjerenje potencijala TS 10/0,4 kV
- povezivanje zaštitnog i radnog uzemljenja TS 10/0,4 kV
- kontrola napona dodira i koraka.

Kabelska i nadzemna mreža grada mjerena je na sljedećim područjima:

- Osijek grad
- Zapad-Čepin
- Zapad-Tenjski Antunovac
- prijelaz nadzemnog voda u kabel.

U kabelskoj mreži 10 kV na svim ispitivanim TS 10/0,4 kV potencijal združenog uzemljivača zadovoljava jer ne prelazi dozvoljenih 65 V.

U mješovitoj mreži 10 kV, kabelsko-nadzemna, od ukupno mjenenog broja na 30% TS 10/0,4 kV treba izvršiti poboljšanje uzemljivača u smislu spajanja zaštitnog i radnog uzemljenja.

U nadzemnoj mreži 10 kV Zapad-Tenjski Antunovac od ukupno mjenenog broja uzemljivača TS 10/0,4 kV, na 50% stanica treba izvršiti spajanje postojećeg zaštitnog i radnog uzemljenja, a na preostalih 50% treba izvršiti poboljšanje uzemljivača na dozvoljeni potencijal od 65 V. Na prijelazima kabela u nadzemni vod, odnosno linijskih rastavljača na drvenom A-stupu i željeznorešetkastom, mjerodavan je dozvoljeni napon dodira od 65 V. Rezultati ispitivanja pokazali su da od ukupnog broja mjenenih prelazi na 15% treba izvršiti poboljšanje uzemljivača.

Kod rastavljača na stupovima rezultati mjerenja su znatno lošiji jer čak na 90% treba izvršiti poboljšanja u smislu smanjenja napona dodira na dozvoljenih 65 V.

Opseg: 78 stranica i 12 priloga.

### Mjerenje iznošenja potencijala iz TS 110/10 (20) kV Botinec

Naručilac: Dalekovod, Zagreb, OOUR Izgradnja

Autor: Josip Kučak, dipl. inž.

Suradnici: Josip Mužny, dipl. inž.  
Ivan Konfic, tehn.  
Damir Sever, tehn.  
Srećko Juretić, tehn.

Završeno u ožujku 1988.

Izgradnjom transformatorske stanice 110/20 kV Botinec, izvršeno je mjerenje iznesenog potencijala pri jed-nopolnom kratkom spoju na sabirnicama 110 kV u postrojenju TS Botinec.

Potencijal može biti iznesen preko električne zaštite jednožilnih kabela 20 kV i preko bakrene užadi položene u kabelski rov iznad kabela spojenih na uzemljivač TS 110 KV Botinec i druge strane na uzemljivač TS 10(20)/0,4 kV.

Mjerenje iznošenja potencijala kod simuliranog jed-nopolnog kratkog spoja u TS 110/10(20) kV Botinec izvršeno je niskim naponom 220 V frekvencije 50 Hz.

Iznošenje potencijala i napona dodira kontrolirano je na prelazu kabela u nadzemni vod Botinec-Mala Mlaka i na dvije TS 10/0,4 kV Lučko i Istražni centar RSUP-a.

U sadašnjoj fazi izgradnje mreže 20 kV kod najnepovoljnijeg slučaja jed-nopolnog kratkog spoja, rezultati mjerenja dali su rezultate koji zadovoljavaju Tehničke propise.

Opseg: 13 stranica i 10 priloga.

### Mjerenje napona opasnosti u dojavnim vodovima pod utjecajem dalekovoda 110 (35) kV na otocima Krk i Rab

Naručilac: Elektroprenos, Opatija

Autor: dr. Miroslav Jung, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1988.

Izravnim mjerenjima provjereni su rezultati proračuna napona opasnosti, iz elaborta utjecaja, u tri dojavna voda na otoku Krku i dva dojavna voda na otoku Rabu, kod jed-nopolnih kvarova na kritičnim mjestima voda 110 (35) kV Krk-Rab, u pogonu sa nazivnim naponom 35 kV. Dobiveni rezultati preračunati su još na struje koje se očekuju nakon stavljanja navedenog voda pod napon 110 kV, oko god. 1990.

Rezultati ispitivanja pokazuju da u postojećoj mreži 35 kV opasnost, u smislu naših važećih propisa, ne postoje ni u jednom od ispitanih dojavnih vodova odnosno, da isti ne iziskuju nikakvu zaštitu od napona opasnosti. Isto vrijedi i za dojavne vodove na otoku Rabu u budućoj mreži 110 kV, oko godine 1990, dok je istodobno za dva dojavna voda na otoku Krku dovoljna već uzgrađena zaštita odvodnicima prenapona. U dojavnom vodu ATC Krk-ATC Baška pritom se očekuje opasnost od 1815 V, pa do prijelaza energetskog voda pod napon 110 kV treba poduzeti jednu od mjera za zaštitu navedenog dojavnog voda.

Opseg: 9 stranica teksta, 1 tablica, 8 oscilograma.



### Pripremni radovi za mogućnost promjene vrijednosti unutarnjih prenapona u 10 (20) kV mrežama pomoću otpornog uzemljenja zvjezdišta

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: mr. Luciano Delbianco, dipl. inž.  
dr. Miroslav Jung, dipl. inž.  
dr. Ivo Hrs, dipl. inž.

Završeno u lipnju 1988.

Izravnim mjerenjima u jednostrano radialno napajanoj kabelskoj mreži 10 kV grada Pule ispitivan je utjecaj uzemljenja zvjezdišta mreže na razinu prenapona, kod uklapanja i isklapanja dozemnih kvarova. Ispitivanja su provedena za tri različita uklopna stanja mreže, čije su kapacitivne struje zemljospoja iznosele 8, odnosno 83 A.

U mrežama s izoliranim zvjezdištem izazivani su kruti zemljospoj i zemljospoj preko luka u električki najudaljenijim postrojenjima od pojne točke, a u mrežama sa zvjezdištem uzemljenim preko rezistencije od 6,8; 10; 20; 40, odnosno 60 oma izazivan je kruti jednopolni kratki spoj na sabirnicama u pojnoj točki, uz mjerenje triju faznih napona na potonjem mjestu u svim slučajevima.

Ukupno je provedeno 457 pokusa, a rezultati mjerenja i njihove statističke obrade prikazani su u studiji, te se preporuča zvjezdište mreža 10(20) kV uzemljiti preko otpornika nazivne struje: 1000 A u (pretežno) kabelskim mrežama, 300 A u mješovitim mrežama, odnosno 150 A u nadzemnim mrežama i mješovitim mrežama, u kojima iz gospodarskih razloga (ograničenje napona dodira) u kojima iz gospodarskih razloga (ograničenje napona dodira) nije isplativa primjena otpornika nazivne struje 300 A.

Opseg: 70 stranica teksta, 86 slika, 30 tablica.

### Prenaponi i koordinacija izolacije: b. uzemljenje zvjezdišta mrežnih i blok-transformatora

Naručilac: Zajednica jugoslavenske elektroprivrede, Beograd

Autori: dr. Miroslav Jung, dipl. inž.  
dr. Ivo Hrs, dipl. inž.

Završeno u lipnju 1988.

Studija je radena u obliku tehničke preporuke, koja uskoro treba biti prihvaćena od Skupštine JUGEL-a, kao granski standard.

U poglavlju Postupci sa zvjezdištima mreža visokog napona prikazane su mreže s uzemljenim i izoliranim zvjezdištem te kompenziranom strujom zemljospoja. Radi ograničenja sklopnih napona predloženo je da se (uglavnom) sva zvjezdišta razdjelnih mreža (10 do 35 kV) uzemlje neizravno preko rezistencije ili reaktancije, a sva zvjezdišta prijenosnih mreža (110 do 400 kV) uzemlje izravno.

U poglavljima Uzemljenje zvjezdišta mrežnih transformatora i Uzemljenje zvjezdišta blok transformatora prikazani su opći i posebni uvjeti za izvođenje uzemljenja zvjezdišta pojedinih visokonaponskih namota transformatora, kao i uvjeti za ona zvjezdišta, koja po odluci mjerodavne elektroprivredne organizacije, ostaju u pogonu povremeno ili trajno izolirana. U poglavlju Prenaponska zaštita zvjezdišta dani su uvjeti za navedenu zaštitu u pogonu izoliranih zvjezdišta.

### Rješenje priključka hidroelektrana u slivu Kupe na elektroenergetski sistem

Naručilac: Elektroprojekt, Zagreb

Autori: mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.  
Goran Jerbić, dipl. inž.

Završeno u studenom 1988.

Studija razmatra mogućnost priključka planiranih hidroelektrana u slivu Kupe na elektroenergetski sistem. Naponski nivo za priključak elektrana određen je prema dozvoljenom strujnom opterećenju tipskih presjeka vodiča i uobičajenom kriteriju planiranja elektroenergetske mreže. Predloženo rješenje uskladenost je s postojećim stanjem i planovima razvoja distributivne i prijenosne mreže. Rad je zaokružena cjelina u okviru studije »Kompleksno uređenje sliva Kupe«.

Opseg: 10 stranica.

### Pouzdanost napajanja lokacije NE Prevlaka iz prijenosne mreže

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autori: mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.  
Goran Jerbić, dipl. inž.

Završeno u travnju 1988.

Pouzdanost napajanja lokacije NE Prevlaka iz prijenosne mreže analizirana je na reduciranom modelu da se procijeni opravdanost dodatnog izvora napajanja dizel-agregata. Rezultati pokazuju da je prijenosna mreža pouzdan dio elektroenergetskog sistema. Način vođenja elektroenergetskog sistema, raspoloživost izvora i topologija mreže znatno utječu na pouzdanost napajanja.

Opseg: 17 stranica sa slikama i tablicama.

### Zaštitna zona oko dalekovoda za prijem garantiranog nivoa signala

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autori: Milan Sinjeri, dipl. inž.  
mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.  
Goran Jerbić, dipl. inž.

Završeno u rujnu 1987.

Studija obrađuje problem utjecaja radiosmetnji od korone na visokonaponskim vodovima na prijem radiodifuzijskih signala. Prema karti prekrivanja teritorija SR Hrvatske srednjovalnim odašiljačima odabrane su lokacije na kojima su u sklopu ove studije izvršena mjerenja profila radiosmetnji 400 kV dalekovoda. Rezultati mjerenja profila radiosmetnji pri lijepom i kišovitom vremenu za niz odabranih frekvencija prikazani su u tablicama. Pored toga opisana je metoda određivanja zaštitne udaljenosti za prijem garantiranog nivoa radiosignala.

Opseg: 69 stranica, 5 slika, 3 priloga (1 karta, 9 slika, 23 tablice).

### Podloge za izradu projektnog zadatka za rekonstrukciju TS 110/10 (20) kV Matulji

Naručilac: RO Elektroprivreda, Rijeka, OOUR Elektroprenos, Opatija

Autor: Goran Jerbić, dipl. inž.

Završeno u ožujku 1988.

Elaborat se nadovezuje na studiju »Energetske podloge za rekonstrukciju TS Matulji i konceptijsko rješenje« i razmatra probleme vezane uz rekonstrukciju trafostanice. Na ograničenom prostoru postojeće transformatorske stanice smjestit će se EVP i TS 110/10(20) kV Matulji. Posebno je obrađen problem konfiguracije 110 kV postrojenja, raspleta vodova i pogonskog stanja za vrijeme rekonstrukcije.

Opseg: 46 stranica sa slikama.

### Dugoročni razvoj prijenosne mreže na području južne Dalmacije

Naručilac: ZEOH

Autor: mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.

Završeno u veljači 1989.

U studiji su prvo dane značajke područja južne Dalmacije i osvrt na dosadašnje razrade mreže. Analiziran je dosadanji razvoj i karakteristike konzuma, stanje mreže i proizvodnja električne energije na tom području. Na bazi planskih dokumenata za razvoj SR Hrvatske određena je potrošnja po petogodišnjim presjecima do 2010. i ocijenjena je moguća proizvodnja. S tim ulaznim podacima ispitivane su varijante pojačavanja mreže na naponu 110 kV i 220 kV. U zaključku su predložena dva alternativna rješenja približno jednake kvalitete, kao prijedlog za donošenje odluke u odgovarajućim stručnim komisijama ZEOH-a.

Opseg: 122 stranice, slike i tablice.

### Razvoj prijenosne mreže 400 kV, 220 kV i 110 kV na području SAP Kosovo za utvrđene izvore i konzum za godine 1988, 1990, 1995, 2000. i vizijom do 2010. godine

Naručilac: SOUR Elektroprivreda Kosova

Autor: mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1988.

Elektroenergetske podloge formirane su utvrđivanjem globalne prognoze potrošnje električne energije i snage SAP Kosovo na bazi dosadašnjeg razvoja. Ta je prognoza potvrđena i analizom iz aspekta razdjelne mreže koja je dala i opterećenja po čvorištima potrebna za planiranje mreže. Dan je razvoj proizvodnih kapaciteta u promatranom razdoblju te karakteristike mreže. Sistem Kosova ispitivan je prema potrošnji u zadanim vremenskim presjecima i dani su zaključci za svaki promatrani presjek. Na kraju je dan cjelovit zaključak o razvoju prijenosne mreže na području SAP Kosovo s rekapitulacijom svih relevantnih pokazatelja.

Opseg: 182 stranice, 71 slika, tablice.

### Povezivanje elektroenergetskih sistema 110 kV Hrvatske i Slovenije na potezu Samobor-Brežice i pitanje perspektive voda TETO-otcjep Klara-(Botinec)-Rakitje

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.

Završeno u veljači 1987.

U studiji je dan prijedlog razvoja mreže 110 kV između zagrebačke regije i Dolenjske s obzirom na izgradnju hidroelektrana na Savi na tom području i moguće razmjene energije između planiranih i postojećih trafostanica u superponiranoj mreži. S obzirom na predloženi način povezivanja istražena je i predložena perspektiva voda TETO... Rakitje s tehničkim karakteristikama, a dan je i poseban osvrt na razvoj mreže na zapadnoj periferiji šireg zagrebačkog područja.

Opseg: 39 stranica, 14 slika.

### Energetske podloge za rekonstrukciju TS Matulji i konceptijsko rješenje

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka

Autor: mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.

Ocrtana je uloga TS Matulji u elektroenergetskom sistemu i istražen je razvoj mreže u široj okolini ove trafostanice po petogodišnjim presjecima do 2000. Na osnovi toga ocijenjena je adekvatnost postojećeg stanja postrojenja 110 kV u promatranoj perspektivi. Dana je koncepcija rekonstrukcije postrojenja s jed-nopolnom shemom i dispozicijom te rješenjem provizorija pogona u toku rada.

Opseg: 42 stranice, 16 slika.

### Povezivanje mreže 110 kV Istre sa mrežom Slovenije

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka

Autor: mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.

Rekapitulirani su noviji planovi razvoja prijenosne mreže na području Istre koji su elaborirani za hrvatsku i slovensku elektroprivredu. Formirane su jedinstvene elektroenergetske podloge i na osnovi njih je ispitivan model mreže Istre i Primorja. Dani su zaključci o potrebnim pojačanjima i predloženi konkretni pravci.

Opseg: 15 stranica, 10 slika.

### Mogućnosti rada HE Podsused u izvanrednim uvjetima pogona

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autori: mr. Muharem Mehmedović, dipl. inž.; mr. Branko Horvat, dipl. inž.; Marina Delač, dipl. inž.;

mr. Milan Stojšavljević, dipl. inž.; mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.; Bruno Stanković, dipl. inž.; prof. dr. Stanislav Tadić, dipl. inž.; doc. dr. Aleksandar Gajić, dipl. inž.; prof. dr. Dušan Obradović, dipl. inž.; doc. dr. Srđan Babić, dipl. inž.; doc. dr. Sejid Tešnjak, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1988.

U studiji su istraživane mogućnosti rada HE Podsused u izoliranom pogonu. U podsistemu konzumnog područja HE Podsused utvrđena je tranzijentna stabilnost hidroelektrane u radu na elektroenergetski sistem i prijelazni hidraulički procesi. Izvršena je identifikacija kritičkih potrošača, posebno iz aspekta mogućnosti pokretanja pogona TETO. Dane su osnovne preporuke za podešenje turbinskih regulatora za otočni režim i izvršena je usporedba ponašanja hidroagregata s Kaplanovom odnosno cijevnom turbinom.

Opseg: 165 stranica, slike, tablice.

### Sekcioniranje prijenosne mreže 110 kV na području Zagreb-makro

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.

Završeno u travnju 1987.

U studiji je istraživano i utvrđeno najpovoljnije sekcioniranje mreže užeg zagrebačkog područja. Dana je filozofija pristupa u dvije varijante i svaka od njih je posebno ispitivana. U zaključku je izabrana i predložena ona koja je realno pogonski ostvariva.

Opseg: 59 stranica, 31 slika.

### Opravdanost izgradnje DV 110 kV Vrnograč (SR BiH) — Glina (SRH)

Naručilac: Elektroprivreda BiH, Sarajevo, Elektroprivreda, Zagreb

Autor: mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.

Završeno u studenom 1987.

Utvrđena je razmjena električne energije SRH-SRBH i posebno njezina perspektiva na području Elektroprivrede Zagreb. Valorizirana je uloga mreže 110 kV u toj razmjeni i njena budućnost. Dan je osvrt na planiranu izgradnju na tom području i u tom je smislu kritički komparirana uloga voda Glina-Vrnograč. Ocijenjena su potrebna ulaganja za planiranu izgradnju i dano je njezino ekonomsko vrednovanje.

### Budućnost DV 2 × 110 kV Pračno-Una (Banja Luka)

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.

Završeno u travnju 1988.

U studiji je rekapitulirana uloga voda 110 kV Sisak-Banja Luka u medurepubličkoj razmjeni. Opisana je havarija u kojoj je spomenuti dalekovod srušen i istražene su mogućnosti supstitucije srušenog dalekovoda. U zaključku je predloženo rješenje koje respektira postojeću i perspektivnu elektroenergetsku realnost s obje strane republičke granice.

Opseg: 45 stranica, 4 slike.

### Instaliranje programskog paketa CLF/OPF na sistem ZEOH-a i obuka kadrova

Naručilac: ZEOH

Autor: mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.

Završeno u siječnju 1989.

Program za optimalnu raspodjelu opterećenja CLF/OPF koji je implementiran i adaptiran u Institutu za elektroprivredu prebačen je na elektroničko računalo ZEOH-a, uz odgovarajuću obuku kadrova.

## Superponirana mreža Jugoslavije za 1995. godinu

Naručilac: ZJE, Beograd

Autori: mr. Zdenko Tonković, dipl. inž.  
mr. Krešimir Bakić, dipl. inž.

Završeno u svibnju 1989.

Na temelju ustanovljene potrošnje Jugoslavije i sagledanih izvora elaborirane su elektroenergetske podloge za ispitivanja superponirane mreže. Posebna je pažnja posvećena ulozi međurepubličkih interkonekcija i predloženi su prioriteta izgradnje.

Opseg: 106 stranica, slike.

### 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 kod očekivanih struja zemljospoja ili jednopolnih kratkih spojeva.

#### Ispitivanje kabela

Ispitivani su kabeli radi određivanja kvalitete i karakterističnih konstanti. Mjerena su svojstva izolacije izmjeničnim, istosmjernim i udarnim naponima, kao i dielektički gubici. Rezultati mjerenja poslužiti će za usporedbu različitih konstrukcija i izvedbi kabela.

Uz ispitivanje u proizvodnji i na novim kabelima obavljena su ispitivanja kabela nakon polaganja.

Značanje takvih ispitivanja je veliko jer se pravodobno mogu otkriti pogreške učinjene prilikom polaganja i izbjeći kasniji prekidi pogona.

Ispitivane su kabelske glave i spojnice. Ispitivanja su obuhvatila naponska ispitivanja izmjeničnim i udarnim naponima, kao i nepropusnost na mjestima brtvljenja. Također su ispitivane i atestirane izolacijske rasklopne motke za uzemljenje, te izolacijske ploče kod rada u postrojenju pod naponom.

#### Ispitivanje prototipa opreme i odvodnika prenapona u laboratoriju

Ispitivani su prototipovi neke opreme. Pritome je bila osobito uspješna suradnja između VN laboratorija i proizvođača jer se nije samo formalno upozorilo na nedostatke nego su se davali i prijedlozi za njihovo uklanjanje sve dok navedena ispitivanja nisu pokazala da proizvod potpuno zadovoljava propise i naznačenu primjenu. Nakon toga naručilac je od Instituta dobio atest za ispitivani proizvod.

Ispitivanje odvodnika prenapona obuhvaća kontrolu izmjeničnog i udarnog prorađnog napona.

U sklopu ovih ispitivanja obavljena su i dodatna ispitivanja odvodnika prenapona udarnim naponom u laboratoriju jer su prethodna terenska ispitivanja tih odvodnika prijevoznom visokonaponskom ispitnom stanicom ustanovila sumnjive vrijednosti prorađnih izmjeničnih napona.

#### Izrada uređaja za ispitivanje

##### Uređaj IR-50 A

Uređaj služi za ispitivanje i podešavanja releja sa strujnim ili naponskim poticajnim članom i eventualno pripadajućeg vremenskog člana. Uređaj ima sljedeće karakteristike:

**Struja:** Struja se kontinuirano mijenja u cijelom području pojedinih izvoda 5, 15 ili 50 A. Mjerenje se obavlja ugrađenim digitalnim ampermetrom sa 3 3/4 dekade s mjernim dosegom 3 A na razdvojenost s mA i točnost 0,2%.

**Napon:** Napon se kontinuirano mijenja od 0 do 250 V uz opteretivost 0,5 A. Mjerenje se vrši ugrađenim digitalnim voltmetrom s prikazom 3 3/4 dekade s mjernim dosegom 200 V bez razdvojenosti 100 mV i uz točnost 0,2%.

**Vrijeme:** Vrijeme se mjeri ugrađenom digitalnom štopericom s prikazom od osam znamenaka i mjerenjem od 0,01 sek do 24 sata. Odstupanje 1 sek/24 sata maks.

Uređaj se priključuje na napon 220 V 50 Hz.

Uređaj je smješten u metalnu kutiju dimenzija 263 × 443 × 337 mm.

Uz uređaj se isporučuju potrebni spojeni vodovi i upute za rukovanje.

##### Uređaj IR-UZ

Uređaj služi za ispitivanje i podešavanje releja s vatmetarskim, strujnim ili naponskim poticajnim članovima i eventualno pripadajućeg vremenskog člana. Uređaj ima sljedeće karakteristike:

**Struja:** Struja se kontinuirano mijenja u cijelom području pojedinih izvoda 1-5-15-50 A. Mjerenje se obavlja ugrađenim digitalnim ampermetrom s 3 3/4 dekade s mjernim opsegom 3 A uz razdvojenost 1 mA i točnost 0,2%.

**Napon:** Napon se kontinuirano mijenja na područjima 0–10 V i 0–250 V uz opteretivosti 0,5 A. Mjerenje se vrši ugrađenim digitalnim voltmetrom s prikazom 3 3/4 dekade s mjernim dosegom 400 V uz razdvojenost 100 mV i uz točnost 0,2%.



Uređaj IR-UZ

**Fazni pomak:** Fazni pomak se grubo regulira od 0 do 360° el. u koracima od 60° el. Unutar svakog koraka obavlja se kontinuirana regulacija. Fazni pomak mjeri se ugrađenim digitalnim instrumentom koji pokazuje 0–18° el.

**Vrijeme:** Vrijeme se mjeri ugrađenom digitalnom štopericom s prikazom od osam znamenaka i mjerenjem od 0,01 sek do 24 sata. Odstupanje 1 sek/24 sata maks.

Uređaj se priključuje na napon 380/220 V 50 Hz. Uređaj je smješten u metalnu kutiju dimenzija 263 × 443 × 337 mm.

Uz uređaj se isporučuju potrebni spojni vodovi i upute za rukovanje.

##### Uređaj IR-1000 A

Služi za proširenje strujnih područja uređaja IR-50 A i IR-UZ kod primarnog ispitivanja i podešavanja zaštite. Uređaj ima izvode 50-100-250-500-1000 A. Priključuje se na uređaj IR-50 A ili IR-UZ s kojima se provodi kontinuirana regulacija i mjerenje.

Uređaj je smješten u metalnu kutiju dimenzija 500 × 300 × 300.

Uz uređaj se isporučuju potrebni spojni vodovi.

##### Uređaj IR-2000 A

Služi za proširenje strujnih područja uređaja IR-50 A i IR-UZ kod primarnog ispitivanja i podešavanja zaštite. Uređaj ima izvod za 2000 A. Priključuje se na uređaj IR-50 ili IR-UZ s kojima se provodi kontinuirana regulacija i mjerenje. Uređaj je smješten u metalnu kutiju dimenzije 305 × 240 × 320 mm.

Uz uređaj se isporučuju potrebni spojni vodovi.

##### Indikator polariteta IP-1

Za pravilan rad pojedinih relejnih zaštita i mjerenja nužno je znati koji krajevi mjernih transformatora u istom trenutku imaju isti polaritet. Krajevi namota označeni su u tvornici proizvođača mjernih transformatora, ali moguće su pogreške ili oštećenja oznaka. Indikator polariteta IP-1 moguće je brzo i jednostavno odrediti polaritet primarnih i sekundarnih namota, kako strujnih i tako naponskih transformatora. Uređaj se priključuje na primarne i sekundarne izvode mjernog transformatora i pritiskom na taster pouzdano se određuje polaritet bez obzira na prijenosni omjer.

Uređaj ima vlastito baterijsko napajanje.

Uz uređaj se isporučuju spojni vodovi i uputa za rukovanje.

##### Uređaj IPKN-20

Uređaj služi za ispitivanje izolacije kabela poslije polaganja, kao i za povremeno profilaktičko ispitivanje.

Osim za ispitivanje, uređaja služi za smanjenje prijelaznog otpora na mjestu proboga izolacije radi lakšeg određivanja mjesta kvara.

Uređaj omogućuje ispitivanje izolacije kabela i plašta kabela prema IEC 502 i IEC 229 za nazivne napone do 12/20 kV.

Tehničke karakteristike uređaja

najveći istosmjerni napon	50 kV
izlazi visokog napona	50 kV i 10 kV
opteretivost	50 kV 0,1 A 10 kV 0,5 A

Uređaj se sastoji od dva dijela:

- visokonaponskog dijela
- dijela za regulaciju napona te mjerenje napona i struje odvoda kroz izolaciju

Uz uređaj se isporučuju svi potrebni spojni vodovi i upute za rukovanje.

##### Uređaj IPKN-1

Uređaj služi za ispitivanje izolacije kabela nazivnog napona do 0,6/1 kV. Može se koristiti i kao dodatni dio uređaja IPKN-20 radi ubrzanja smanjenja prijelaznog otpora na mjestu proboga.

Tehničke karakteristike

najveći istosmjerni napon:	5 kV
izlazi visokog napona:	2,5 kV i 5 kV
otpornost:	5 kV — 1 A 2,5 kV — 2 A

Uređaj se sastoji od dva dijela:

- visokonaponskog dijela
- dijela za regulaciju napona te mjerenje napona i struje odvoda kroz izolaciju (isti kao za IPKN-20).

Uz uređaj se isporučuju potrebni spojni vodovi i upute za rukovanje.

## STUDIJ HIDROTEHNIČKIH SISTEMA

### Studija regulacije Savice i uređenje površine prostora budućeg odlagališta ugljena u TE-TO Zagreb

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: Aleksander Russo, dipl. inž.

U studiji je dan prikaz mogućeg rješenja izgradnje platoa deponija ugljena novog Bloka IV (TE-TO Zagreb) u rukavcu Savice, te izmještenje korita Savice izvan kruga TE-TO.

Na osnovi provedenih tehničko-ekonomskih analiza određeni su potrebni zahvati i utvrđeni približni troškovi za izvedbu i uređenje promatrane površine. Na kraju Studije predložene su daljnje aktivnosti vezane za dodatne istražne radove na lokaciji deponija ugljena i prokopa Savice radi prikupljanja potrebnih podataka i podloga za daljnje projektiranje i izgradnju.

Opseg: 50 stranica, 20 crtanih priloga.

### Kompleksno uređenje sliva Kupe, knjiga 3.3, Vodni nivoi velikih voda, Zagreb, listopad 1988. godine

Autor: mr. Mladen Petrićec, dipl. inž.

Suradnici: Krešimir Plantić, dipl. inž.  
Marija Martinović, inž.

Prema projektnom zadatku proveden je proračun vodnih nivoa stacionarnog tečenja za karakteristične protoke vodotoka Kupe, Korane, Mrežnice, Dobre i Gline za postojeće i planirano stanje (nakon realizacije energetskih i vodoprivrednih objekata) predviđenih u okviru studije »Kompleksno uređenje sliva Kupe«. Proračuni vodnih nivoa izvršeni su korištenjem programskog paketa HEC-2 na računaru VAX 8300 Instituta za elektroprivreda, i to za sljedeće dionice: Kupa od Siska do Ozlja; Korana od ušća do Velemerića; Mrežnica od ušća do Duge Rese i Dobra od Lešća do Gojaka za protoke Q 10 000, Q 1 000, Q 25, Q 2, 3Qsr i Qsr.

Studija se sastoji od 36 stranica pisanog teksta i velikog broja tablica s rezultatima proračuna i grafičkih priloga, te kompjutorskom grafikom uzdužnih profila navedenih vodotoka s ucrtanim linijama vodnih nivoa.

### Kompleksno uređenje sliva Kupe

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb  
RSVIZ, Zagreb  
SIZ za vodno područje sliva Save, Zagreb  
SIZ za područje primorsko-istarskih slivova, Rijeka

Autori: mr. Mladen Petrićec, dipl. inž.  
Krešimir Plantić, dipl. inž.  
Marija Martinović, inž.

Istraživanja za izbor najpovoljnijeg rješenja uređenja sliva uključila su sve mjerljive posredne i neposredne efekte realizacije objekata na Kupi, Dobri, Mrežnici i Korani.

Korištenjem simulacionog modela proveden je proračun moguće proizvodnje električne energije planiranog sistema HE uz uvažavanje zahtjeva i potreba ostalih korisnika voda i prostora u okviru vodoprivrede i Korane.

Izbor najpovoljnijeg rješenja proveden je svodjenjem svih troškova i koristi diskontnim računom na početnu godinu eksploatacije.

Studija sadrži 120 stranica teksta, tabelarnih i grafičkih priloga. Rezultati proračuna na računaru dani su u 240 priloga.

### Dodatna istraživanja osnovnog rješenja Mure nizvodno od Gibine

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb  
Sestavljena organizacija elektrogospodarstva Slovenije, Maribor  
SVIZ Drava – Dunav, Osijek  
Zveza vodnih skupnosti Slovenije, Ljubljana

Autori: Nedjeljko Šimundić, dipl. inž.  
Aleksander Russo, dipl. inž.  
Barbara Gregur, dipl. inž.  
Irena Pavić, dipl. inž.  
Miroslav Blažičko, dipl. inž.  
Đurđica Cahun, dipl. inž.

Završeno u listopadu 1988.

Uz izradu tehničkih rješenja objekata vodnih stepenica na Muri nizvodno od Gibine provedena su istraživanja mogućnosti i svrsishodnosti primjene tipskih rješenja građevinskih objekata, hidromehaničke i elektrostrojarske opreme. Posao je obavljen kroz više cjelina, kako slijedi:

Knjiga 0 Skupni izvještaj  
Knjiga 1/1 Tehnička rješenja vodnih stepenica — tekst  
Knjiga 1/2 Tehnička rješenja vodnih stepenica — prilozi  
Knjiga 2 Proračuni vodnih lica  
Knjiga 3/1 Troškovi i koristi — tekst  
Knjiga 3/2 Troškovi i koristi — prilozi  
Knjiga 4 Gospodarsko-tehničke usporedbe varijanti

Opseg: 960 stranica teksta s prilogima uz test; 76 stranica grafičkih priloga.

### Izbor najpovoljnijeg tipa turbine i moguća proizvodnja električne energije HE Podsused

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autori: Nedjeljko Šimundić, dipl. inž.  
Barbara Gregur, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1988.

S obzirom na uvjete lokacije HE Podsused (hidrologija, raspoloživi padovi i režim rada) istražena je podobnost primjene četiri tipa vertikalnih turbina (agregata) jednakog instaliranog protoka, koji se razlikuju s obzirom na: računске padove, promjere radnog kola turbina i nazivne brzine vrtnje; te je odabrano najuspješnije rješenje.

Opseg: 136 stranica teksta s prilogima uz tekst.

### Pregled i ocjena investicijskog programa HE Lešće

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autori: Nedjeljko Šimundić, dipl. inž.  
Zoran Selanec, dipl. inž.  
Srećko Bojić, dipl. inž.  
Marijan Magdić, dipl. inž.

Opseg: 30 stranica.

### Energetsko iskorištenje retencije Čaprazlije u hidroenergetskom sistemu Cetine

Naručilac: Elektroprivreda Dalmacije, Split

Autori: mr. Mladen Petrićec, dipl. inž.  
mr. Slavko Alerić, dipl. inž.

Završeno u srpnju 1988.

U radu su provedene analize mogućnosti energetskog iskorištenja planirane retencije Čaprazlije u sistemu HE Orlovac.

Proračun stupnja mogućeg iskorištenja voda u slivu Čaprazlije proveden je na osnovi raspoloživih hidroloških podataka i simulacije rada c. s. Lusnić. Proračun mogućeg proizvodnje električne energije u slivu nakon izgradnje Čaprazlije proveden je na osnovi modificiranja JUGEL-ovog hidrološkog niza 1926–1953.

Studija se sastoji od 45 stranica teksta i 29 tabličnih i grafičkih priloga.

## Program istražnih radova na području lokacije predviđene za deponiranje šljake i pepela

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb, OOUR TE-TO Zagreb

Obradili: Marijan Zelić, dipl. inž.  
Ljiljana Aleksić, dipl. inž.

Suradnici: Vladimir Jelavić  
dr. Darko Mayer  
doc. dr. Željko Vidaček  
prof. dr. Jakob Martinović

Završeno u svibnju 1988.

Programom su definirane vrste istražnih radova, opseg istraživanja, tehnički uvjeti provedbe istraživanja, orijentacioni troškovi radova, te tehnološki slijed i organizacija istraživanja s prijedlogom mogućih izvršilaca radova.

Opseg: 40 stranica.

## Prethodna studija utjecaja deponije šljake i pepela na lokaciji »Mlake«

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb, OOUR TE-TO Zagreb

Obradili: Marijan Zelić, dipl. inž.  
Ljiljana Aleksić, dipl. inž.

Suradnici: doc. dr. Željko Vidaček  
prof. dr. Petar Durman  
prof. dr. Jakov Martinović  
mr. Ivan Zorko, dipl. inž.  
mr. Judit Jandričko, dipl. inž.

Zadatak studije je bio utvrđivanje prednosti i nedostataka predložene lokacije deponija na okolinu, te prijedlog mjera zaštite za smanjenje tih utjecaja i programa daljnjih istraživanja za potrebe Konačne studije utjecaja.

Studija se sastoji od 105 stranica teksta i 2 priloga.

## Studijski radovi u suradnji s SJ VI

»Prethodna studija o utjecaju termoelektrane Jertovec II na okolinu«, listopad 1988. godine

Suradnici: Ljiljana Aleksić, dipl. inž.  
Boris Štajer, dipl. inž.

»Prethodna studija o utjecaju TE-TO Resnik na okolinu«

Suradnici: Ljiljana Aleksić, dipl. inž.  
Marijan Zelić, dipl. inž.  
Boris Štajer, dipl. inž.

»Izbor lokacije za termoelektranu na uvozni ugljen na području Dalmacije«, veljača 1988. godine

Suradnici: Ljiljana Aleksić, dipl. inž.  
Boris Štajer, dipl. inž.

## POVEĆANJE INSTALIRANE SNAGE U HE ZELENI VIR

HE Zeleni Vir izgrađena je 1921. godine, kada je ugrađen samo prvi agregat od predviđena dva. Instalirana snaga agregata 1 000 kVA, odnosno elektrane ukupno 2 000 kVA, što uz  $\cos \rho = 0,8$  daje 1 600 kW. Drugi agregat je uključen 1967. godine.

Zahvat vode potoka Curak (Gorski kotar) napravljen je na samom izvoru odakle vodi betonski kanal duljine 320 m do vodne komore iz koje se spušta čelični cjevovod do strojarne. Odvojci za prvi i drugi agregat izvedeni su okomito na cjevovod. S hidrauličkog gledišta to je krajnje nepovoljno, odnosno povećava gubitke.

Instalirani je protok  $2 \times 2 \text{ m}^3/\text{sek}$ , a srednji neto-pad 52,4 m. Budući da je prvi agregat u pogonu od 1921. godine ili 68 godina (što je izvjestan demanti prihvaćenom vijeku trajanja opreme, danas se ocjenjuje da je stanje toga agregata sa stajališta pogonske spremnosti nesigurno. Nužna je zamjena s obzirom na to da bi osposobljavanje postojećeg za sigurniji pogon zahtijevalo gotovo ista sredstva kao nabava novoga.

Uz uvjet da se računa s istim dovodnim organima (kanal, vodna komora, čelični cjevovod) potrebno je, budući je zamjena naizbježna, ispitati da li je moguće sa stajališta dovođa ugradnja agregata veće snage, i da li je to energetske-ekonomski opravdano.

RO »ELEktroprimorje« Rijeka u čijem je sastavu HE Zeleni Vir ugovorila je sa stručnjacima Instituta za elektroprivredu Zagreb izradu studije »Energetsko-ekonomska valorizacija povećanja instalirane snage u HE Zeleni Vir«.

Studija je obradila ova pitanja:

- Opravdanost zamjene agregata sa stajališta vijeka trajanja
- Energetsko-ekonomska opravdanost instaliranja veće snage prilikom zamjene dotrajalog agregata
- Ekonomska opravdanost veće instalacije sa stajališta troškova nabave iste snage i energije iz sistema
- Granične vrijednosti investicija nove hidroelektrane Zeleni Vir.

U zaključcima studije se preporučuje:

S obzirom na stanje agregata, koje se manifestira kroz sve veće zastoje i sve veće troškove održavanja, kao logična posljedica gotovo 70-godišnjeg pogona (znatno iznad uobičajenog s kojim se računa — 50 g) zamjena agregata je nužna i neosporna.

Opravdano je ići na maksimalno moguću instaliranu snagu koliko dopuštaju dovodni organi, što će se utvrditi u toku projektiranja.

Preporuča se izrada projekta nove račve jer postojeća račva — okomiti priključci — ima znatne gubitke.

Zamjena račve može uslijediti i kasnije ako investitor ne može istovremeno osigurati sredstva, jer zamjena račve ne zahtijeva dulji zastoj.

I. R.

## PRIRODNI PLIN U ENERGETSKOM RAZVOJU HRVATSKE

Energetska budućnost razvoja SR Hrvatske dobrim dijelom se temelji na korištenju plina. Višegodišnjim istraživa-

njima na području Republike utvrđena su bogata nalazišta prirodnog plina (naročito u Podravini, dijelu Slavonije, a novija su istraživanja i na jadranskom području). Poretpostavlja se da su te rezerve plina još veće nego što su dosad utvrđene.

Glavni nosilac istražnih radova i eksploatacije plina je RO »INA-Naftaplin«.

U vezi s unapređenjem proizvodnje i korištenjem plina u industrijske svrhe i opskrbi široke potrošnje u kolektivu »INA-Naftaplin« usvojen je Projekt »Podravina«.

Projektom »Podravina« obuhvaćena je gradnja dvadesetak novih plinskih i plinsko-kondenzantnih proizvodnih bušotina na postojećim poljima Molve, Kalinovec i novootvorenom polju »Stari Gradec«, području na oko 50 km<sup>2</sup> južno od Drave, zatim izgradnja sabirno-transportnog sustava i nove centralne plinske stanice na Molvama za izdvajanja štetnih sastojaka iz ovog plina (ugljik-dioksida, sumporovodika i žive). Planirana je izgradnja i elektroenergetskih objekata, te sustav za nadziranje i upravljanje pri dobivanju plina.

Projektom je planirano povećanje proizvodnje plina sa sadašnjih dva na blizu tri milijarde m<sup>3</sup>, koliko će se dobiti nakon realizacije Programa 1990. godine.

Stalnim povećavanjem proizvodnje i dodatnim minimalnim povećavanjem uvoznog plina iz Sovjetskog Saveza moći ćemo podmiriti potrebe za plinom u našoj Republici do 2000. godine onako kako su to iskazale društveno-političke zajednice. U 2000. godini mogućnosti proizvodnje je 4,2 milijarde m<sup>3</sup> plina.

### Izgradnja plinovoda

Projektom je planirana izgradnja plinovoda Virovitica-Kutina, što će proizvođaču umjetnog gnojiva u Kutini dugoročno osiguravati za njega osnovnu sirovinu. Nadalje, programirana je gradnja plinovoda Osijek-Vukovar, te Zagreb-Karlovac, a u bliskoj budućnosti Beničanci-Našice i Našice-Slavonski Brod-Bosanski Brod.

Izgradnjom novih plinovoda stvara se mogućnost priključenja novih potrošača.

Za realizaciju Projekta »Podravina« potrebna su ulaganja 280 do 300 milijuna dolara. To je danas jedna od najvećih investicija u SRH. No treba uzeti u obzir da su utvrđene rezerve plina tako velike da omogućuju dugogodišnju eksploataciju, a sama godišnja vrijednost s plinskih polja u Podravini je takva da će proizvodnja za samo nekoliko godina povratiti veći dio uloženi sredstava.

### Prerada plina

Plin iz dijela Podravine, osim metana koji se isporučuje širokoj potrošnji i petrokemijskoj industriji u Kutini, bogat je drugim sastojcima koji su sirovinska osnova za petrokemijsku industriju. Na prvom je mjestu etan, koji je vrlo značajna komponenta plina. Povećanjem proizvodnje iz podravske ležišta, po dovršetku Projekta »Podravina« iz plina se može dobiti toliko etana da će etilensko postrojenje u Zagrebu napokon moći raditi punim kapacitetom. To postrojenje, planirano za proizvodnju 90 tisuća tona etilena, dosad je radilo samo s pola kapaciteta. Povećana proizvodnja etilena je vrlo važna za OKI, jer je to za OKI glavna sirovina. U buduću otpast će uvoz etilena čija je cijena na stranom tržištu vrlo visoka. Povećanom proizvodnjom plina iz novih polja obuhvaćenim Projektom »Podravina« utjecat će i na finalnu proizvodnju tekućih plinova, kao što je

propan-butan, primarni benzin i drugih koji su sastavni dio tog plina.

Posebna je vrijednost Projekta što se na tim poljima osim plina dobiva i plinski kondenzat. Kondenzat je vrlo lagana nafta koja se na tržištu prodaje vrlo skupo. Iz kondenzata mogu se dobivati i druge sirovine koji se koriste u petrokemijskoj i kemijskoj industriji. Iz kondenzata može se izdvojiti 30 posto normalnih parafina, vezanih za proizvodnju deterdženata i sličnih proizvoda široke potrošnje. Nakon završetka projekta raspolagat ćemo sa 400 tona kondenzata; oko 30 posto namijenjeno je izvozu.

Projektom »Podravina« obuhvaćena je i izgradnja nove centralne plinske stanice Molve III, koja kapacitetom premašuje današnju ukupnu proizvodnju stanica Molve I i II.

Sve tri centralne plinske stanice projektirane su kao fleksibilna cjelina. Mogu raditi pojedinačno, ali i sve tri zajedno. Centralne plinske stanice Molve I i II imaju kapacitet 4 milijuna m<sup>3</sup> plina dnevno, a Molve III imat će više od 5 milijuna m<sup>3</sup> plina dnevno.

Nakon dovršenja novih proizvodnih plinskih bušotina, uz već postojeće, proizvodnja plina će se gotovo udvostručiti — na najmanje 7,5 milijuna m<sup>3</sup> dnevno. Na temelju takvog predviđanja donesena je odluka da kapacitet nove centralne plinske stanice Molve III bude 5 milijuna m<sup>3</sup> dnevno.

Projekt »Podravina« koncipiran je tako da se u sklopu njegovog sistema proizvodi vlastita električna energija. Poznato je da ovakva postrojenja troše značajne količine struje, pa je stoga izgrađena vlastita energana, kao i na centralnim plinskim stanicama Molve I i II gdje se za pogon turbina troši plin. Vrijednost tako postavljenog elektroenergetskog sustava jest to veće što je predviđen takav kapacitet da se struja u slučaju potrebe može slati i na vanjsku mrežu. S vanjskom mrežom povezan je komunikacijski sustav Projekta »Podravina« kojim je obuhvaćena razdaljina objekta oko stotinjak kilometara. Na izvedbi i opremi pojedinih objekata programiranih Projektom »Podravina« angažiran je niz industrija i poduzeća iz cijele Jugoslavije, no jedan dio opreme osigurat će se iz uvoza.

I. R.

## ISTRAŽIVANJE NAFTE SA STRANIM PARTNEROM

Kombinat »Energoinvest« iz Sarajeva pokrenuo je opsežne radove uz međunarodnu suradnju na istraživanju ima li u Dinaridima ležišta nafte i prirodnog plina i koje su mogućnosti eksploatacije ležišta u dinaridskom području Jugoslavije.

Nedavno je Energoinvest potpisao ugovor s poznatom svjetskom kompanijom »Amoco Production« iz Hustona SAD o zajedničkom nastupu istraživanju nafte i prirodnog plina na području SR Bosne i Hercegovine. Zajednički projekt obuhvaća istražne radove u koje će kompanija »Amoco« u prvoj fazi istražnih radova uložiti oko 2,8 milijuna dolara. Ugovorom je predviđeno da u slučaju povoljnih rezultata istraživanja o postojanju nafte i prirodnog plina na području Dinarida i o isplativosti njihove eksploatacije Energoinvest i »Amoco« nastave sa zajedničkim ulaganjima. Predviđena istraživanja izvest će na površini oko 30 tisuća km<sup>2</sup>.

Isti ugovor odnosi se na području Dinarida u SR Hrvatskoj, i također je nedavno potpisan ugovor s kombinatom »INA-Naftaplin«.

Oba projekta ostvarit će se u ovoj i 1990. godini.

I. R.

## ULAGANJA U AKUMULACIJU ZORETIĆI

HE Valići, instalirane snage 18 MW s akumulacijom Zoretići, koristit će vodotok Rječine. Oni su ujedno hidroenergetski i vodoprivredni objekt, odnosno objekt s tzv. višenamjenskim karakterom.

Vrlo intenzivan razvoj turizma na širem riječkom području s jedne strane i intenzivan rast potrošnje električne energije s druge, ujedinili su napore zainteresiranih korisnika na traženju rješenja za kompleksno korištenje vodotoka Rječine.

Godišnja proizvodnja HE Valići iznosila bi prosječno oko 48,5 GWh električne energije. Za vodoopskrbu predviđeno je osigurati 1 300 litara sek pitke vode za opskrbu potrošača s područja Rijeke, Opatije, Krka i Crikvenice.

HE Valići je derivaciono tlačno postrojenje smješteno na gornjem dijelu dnevnog izravnavanja postojeće HE Rijeka ispod Lopače, a povezana s akumulacijom Zoretići dovodnim tunelom dužine 4 km, promjera 3,30 m. Akumulacija Zoretići zaprema prostor iz izvora Rječine do iznad sela Zoretići — površina akumulacije 0,93 km<sup>2</sup>, ukupna zapremnina 16,66 hm<sup>3</sup>. Akumulacija će potopiti oko 92 hektara površine i selo Kukuljani. U investiranju izgradnje HE Valići i akumulacije zajednički sudjeluju elektroprivreda Hrvatske i vodoprivredne organizacije.

Nedavno je potpisan aneks samoupravnog sporazuma o izgradnji objekata. RO »Elektroprivreda« Rijeka sudjelovat će sa 70 posto vrijednosti ukupne investicije, Republička vodoprivredna interesna zajednica sa 10 posto, ostalih 20 posto osigurat će općine Rijeka, Opatija, Krk i Crikvenica.

Investicije za izgradnju HE Valići i akumulaciju Zoretići iznosi oko 65 milijuna dolara. Početak izgradnje planira se početkom 1990. godine. Trenutno se razrješavaju imovinsko pravni odnosi. Gradnjom akumulacije bit će potopljeno selo Kukuljani sa pedesetak domaćinstava.

I. R.

## IZGRADNJA TERMoeLEKTRANA NA UVOZNI UGLJEN

Program razvoja Elektroprivrede Hrvatske predviđa i izgradnju termoelektrana na uvozni ugljen na području Hrvatske. Dosada su studijsko-istražnim radovima obrađena područja Hrvatske. Istraživanja se nastavljaju kako bi se u obalnom području Hrvatske uz učešće stručnih i znanstvenih institucija pronašli pogodni prostori za izgradnju takvih postrojenja.

S obzirom na povoljnu i stalnu cijenu uvoznog kamenog ugljena, Elektroprivreda Hrvatske je prihvatila varijantu izgradnje na uvozni ugljen kao jednu od realnih i ekonomski opravdanih varijanti razvoja. U realizaciji programa izgradnje pojavljuju se problemi s izborom lokacije. Međutim, neovisno o tome računat će se s izgradnjom — na zasada nedefiniranoj lokaciji na moru — termoelektrane na ugljen instalirane snage 300 MW. Iste snage bile bi termoelektrane na kopnu, samo bi troškovi goriva bili nešto viši radi transporta željeznicom.

Sa stajališta transportnih troškova uvoznog ugljena najpovoljnije su lokacije u neposrednoj blizini postojećih morskih luka. Takvih lokacija nema pripremljenih, osim postojeće lokacije u Urinju (uz TE Rijeka I), ali za tu lokaciju postoji odluka Skupštine općine Rijeka o zabrani izgradnje. Radi brže izgradnje postavlja se eventualno pitanje izgradnje TE na uvozni ugljen na nekoj od postojećih lokacija TE u SRH unatoč višim transportnim troškovima ugljena.

## Izbor lokacija

Na osnovi preliminarnih analiza lokacija ostalih pet TE objekata na području SR Hrvatske može se zaključiti sljedeće. Na svim lokacijama postoji mogućnost izgradnje i dogradnje barem jednog bloka loženog ugljenom snage do oko 300 MW. Samo lokacija TE Jertovec nema fizičke mogućnosti dogradnje bloka uz postojeće objekte, nego bi trebalo izgraditi novi blok na lokaciji udanjenom oko 2 km od postojeće. Preostale četiri lokacije, ukupno gledajući, maju jednake pogodnosti, ali se u pojedinostima bitno razlikuju.

Lokacija TE Osijek ima najslabiju infrastrukturu, ali je jedina lokacija gdje ima mjesta i za serijsku izgradnju više od jednog bloka i najvećih snaga od 300 MW. Ta lokacija je najopvoljnija za protočni sistem hlađenja zbog minimalnog toplinskog utjecaja na vodotok, kao i mogućnost jeftinog riječnog transporta ugljena.

Lokacija TE Sisak se također nameće kao povoljno rješenje, jer izgradnja trećeg bloka u nizu čini prirodno rješenje na već kompletno izgrađenu prateću infrastrukturu. Prva dva bloka su građena ostavljajući prostor za treći blok. U svim dosad razrađenim studijama za treći blok na ugljen snage 210 MW razrađeni su i planovi za transport ugljena, deponije i prostor za odlaganje šljake.

Postoji zainteresiranost društvenih zajednica kao i okolne industrije, koja je zainteresirana za industrijsku paru i toplu vodu.

Lokacija TE Plomin prirodnim uvjetima najbolje zadovoljava zahtjeve za izgradnju bloka na uvozni ugljen snage 300 MW.

Na lokaciji postoji dovoljan prostor za izgradnju i deponij ugljena, postoji riješen problem šljačista, postoji iskustvo u korištenju ugljena kao goriva. Manji nedostaci tehničke izvedbe, koji su rješivi, jesu samo problem transporta ugljena i ispusta rashladne vode.

Premda je TE-TO Zagreb kao rješenje rezultat potrebe za supstitucijom mazutnih kotlova i potreba rada elektrane u spojnem procesu (industrijska para i vrela voda za grijanje grada), izabrana veličina bloka od 200 MW (učinka kotla 650 t/h pare) danas je donja granična veličina za potpuno kondencacijske blokove. Na lokaciji ima mjesta i za izgradnju bloka i za deponiju ugljena, postojeća infrastruktura je praktično kompletna, protočni sistem hlađenja je izvediv i jedini je nedostatak što je time lokacija fizički iscrpljena za izgradnju novih blokova. Ograničenje snage bloka na 200 MW rezultat je ograničenja transportnih mogućnosti željezničke pruge Rijeka-Zagreb.

Istraživanja novih lokacija započeta su u 1987. godini i prema sadašnjim rezultatima istraživanja na obalnom dijelu naše republike postoji nekoliko lokacija podobnih za izgradnju termoelektrana na uvozni ugljen. Kako se radi o osjetljivom problemu i sukobu interesa, istraživanja se nastavljaju uz angažiranje najmeritornijih znanstvenih institucija u Republici radi toga da konačna odluka o podobnosti prostora za tu namjenu bude što objektivnija.

I. R.

## MODERNIZACIJA ELEKTRIČNIH LOKOMOTIVA

SOUR »Rade Končar« Zagreb i »Mašinska industrija« Niš potpisali su ugovor sa Željezničko-transportnom organizacijom Beograd o modernizaciji i rekonstrukciji 130 električnih lokomotiva. Prve lokomotive su već dopremljene u radionice tvornice »Rade Končar«. Riječ je o petogodišnjem ugovoru na osnovi kojeg će se pouzdanost rada, rukovanje i održavanje elektrolokomotiva beogradskog željezničkog prijevoznika znatno poboljšati.

Vrijednost ugovorenog posla po cijenama iz prosinca 1989. godine iznosi oko 300 milijardi dinara.

Potpisnici ugovora SOUR »Rade Končar« i »MIN« Niš obavezali su se da nakon obnova i preinaka ispadanje lokomotiva iz vuče ne smije premašiti četiri posto, a broj kvarova tri na 100 000 kilometara, odnosno da se osposobe tako da mogu bez generalnog popravka voziti i više od milijun kilometara. Prve obnovljene lokomotive biti će puštene u promet potkraj ljeta i dobit će garanciju da su kao nove, što znači da praktički mogu raditi 15 godina.

I. R.

## POTROŠNJA UGLJENA U SR HRVATSKOJ

Po podacima Poslovne zajednice za proizvodnju i potrošnju ugljena Hrvatske potrošnja ugljena u 1988. godini u SRH iznosila je oko 934 tisuće tona. Od ukupne potrošnje po vrstama 443 tisuće otpada na mrki ugljen; 447 tisuća tona na lignit i 12 tisuća na brikete iz uvoza. U usporedbi s prijašnjim godinama, 1988. karakterizira visok pad potrošnje u industriji i premda uglavnom zbog pada industrijske proizvodnje, a relativan pad ukupne potrošnje ugljena kod široke i opće potrošnje rezultat je kako poboljšane kvalitete isporučenog ugljena (manji postotak učešća jalovine), tako i blage zime i cijene ugljena u odnosu na standard stanovništva. Struktura potrošnje u SRH iz domaćih izvora dobave iznosi: u industriji i saobraćaju 448 tisuća tona, u širokoj i općoj potrošnji 474 tisuće tona, što je ukupno 922 tisuće tona. U industrijskoj grupi glavni su potrošači kombinat »Borovo«, šećerane u SR Hrvatskoj (Županja, Osijek, Beli Manastir i Virovitica), te »Jugovinil« i dr.

Poslovna zajednica smatra da je potrebno voditi dugoročnu politiku u odnosu na rudnike ugljena u drugim republikama, a posebno u odnosu na proizvođače mrkog ugljena. Naime, od rudnika »Tito« u Banovićima i »Đurđevik« nije moguće očekivati u idućem razdoblju veće isporuke ugljena od onih koje su isporučene u 1988. godini, a od rudokopa »Kamenograd« kod Sanskog Mosta treba očekivati danjnji pad dobavljenih količina zbog pogoršanja kvalitete i s obzirom na »čistoću« i s obzirom na asortiman ugljena.

I. R.

## PROIZVODNJA NAFTE I PLINA U 1988. GODINI

Energetskom bilancom SR Hrvatske za 1988. godinu planirana je bila proizvodnja nafte u količini od 2 999 000 tona, uključujući i 189 000 tona nafte iz Angole. Nabava nafte iz uvoza i domaće nafte osigurala bi preradu 6 833 000 tona nafte, a uključujući i uvoz »petrokemijske« nafte, ukupna prerada je planirana u količini 8 033 000 tona nafte. Planirana proizvodnja prirodnog plina u 1988. godini iznosila je  $2\,100 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, a uvoz  $770 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, dok je potrošnja planirana u količini oko  $2\,176 \times 10^6$  m<sup>3</sup> plina.

### Proizvodnja nafte i plina

- Proizvodnja nafte, uključujući i Angolu, ostvarena je prema planu u količini 2 999 000 tona.
- Proizvodnja plina ostvarena je nanivou godišnjeg plana, dok je uvoz prirodnog plina ostvaren sa 98 posto od plana.

### Uvoz nafte

Ukupna nabava, uključujući i naftu za petrokemiju, ostvarena je u količini 4 394 000 tona. S konvertibilnog područja



uvezeno je 2 193 000 tona, s klirinškog 1 483 000 tona, a uvoz petrokemijske nafte realiziran je u količini 718 000 tona. Po energetske bilanci Jugoslavije uvezeno je ukupno 9 677 000 tona, a IN-inih rafinerija u SR Hrvatskoj u ukupnoj nafti iznosilo je oko 36 posto. Taj podatak ne uključuje petrokemijsku naftu, koja se nabavljala uz posebne uvjete. Prerada nafte i proizvodnja derivata Energetskom bilancom Jugoslavije predviđena je u količini od 16 000 000 tona. Rafinerija INA planirala je preradu u količini 8 033 000 tona, uključujući i petrokemijsku naftu. Međutim, ostvarenje plana je izvršeno sa 91 posto, odnosno prerađeno je oko 7 300 000 tona, jer je kasnila realizacija »petrokemijske« nafte. Od ukupno planiranog uvoza u količini od 1 200 000 tona realizirano je do kraja godine 720 000 tona nafte. Iz ukupno uvezene i domaće nafte najveće količine prerađile su rafinerije u Rijeci (3 419 000 tona) i Sisku (3 344 000 tona). Za druge partnere rafinerije INE prerađeno je još oko 446 000 tona nafte.

Iz te prerade dobiveno je najviše motornog benzina, plinskog ulja, ulja za loženje, manji dio otpada na bitumen,

mlazno gorivo, tekući plin, primarni benzin i ostalo. Iako je prerada nafte bila zadovoljavajuća, nije mogla pokriti »špi-ce« potrošnje u potrebi za derivatima, i to posebno za motornim benzinom, plinskim uljima i mlaznim gorivom. Nestajica derivata ublažena je zahvaljujući činjenici da je najveći dio derivata iz prerade petrokemijske nafte ostao na domaćem tržištu.

Unatoč tome derivati su se u ljetnom razdoblju morali uvoziti, i to:

— motornog benzina	60 303 tone
— mlaznog goriva	36 508 tona
— plinskog ulja	25 089 tona
— loživog ulja	116 830 tona

Ukupno 238 830 tona

Za podmirenje potreba tržišta u SR Hrvatskoj nabavljeno je iz drugih domaćih rafinerija još oko 150 000 tona derivata.

I. R.

## IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

### PORAST POTROŠNJE ENERGIJE U 1987. GODINI U SVIJETU

U toku 1987. godine svjetska potrošnja energije porasla je za 2,8%. U pokrivanju potreba najveći udio ima nafta sa 37,6%, premda je taj udio smanjen prema prethodnoj 1986. godini, kad je iznosio 38,1%. Zatim slijedi ugljen sa 30,6%, prirodni plin 19,9%, hidroenergija 6,7% i nuklearna energija 5,2%.

Uzme li se u obzir nafta, koja se u sadašnjem opsegu dobiva u arapskim zemljama, SAD i SSSR-u, njezine bi rezerve mogle još trajati 41,5 godina. Uz jednake uvjete rezerve ugljena dostaju još za 222 godine.

RGE, god. 1988, br. 11

Mrk.

### ELEKTRIČNA ENERGIJA U DANSKOJ 1987. GODINE

U Danskoj je u 1987. godini 95% električne energije proizvedeno u termoelektranama na uvozni ugljen (24,5 TWh). Na bazi nafte i zemnog plina proizvedeno je oko 5%, dok se pomoću vode i vjetra dobilo samo 0,1% potrebne električne energije. Ukupna je potrošnja 1987. iznosila 29,7 TWh, što je gotovo 4% više nego prethodne godine. Oko 12% elektroenergije uvezilo se od susjeda. Privatni proizvođači, prvenstveno vlasnici elektrana na vjetar, dobavili su distribuciji 0,19 TWh.

Elektrizitätswirtschaft, god. 87 (1988), br. 25

Mrk.

### VEZA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA SR NJEMAČKE S ČEHOSLOVAČKIM SISTEMOM

Između mreže njemačkog elektroenergetskog poduzeća Bayernwerke i mreže čehoslovačkog poduzeća Češki energetski zavodi (ČEZ) izgradit će se visokonaponska istosmjerna veza snage 600 MW. Istosmjerna stanica bit će podignuta u postrojenju Etzenricht u blizini Weidena, a bit će usmjerivačko-presmjerivačkog tipa (tzv. stanica leđa uz leđa). Iz nje će u Čehoslovačku do stanice Hradec voditi trofazni vod 380 kV dug 130 km. Cijeli uređaj, uključiv i dalekovod, stajat će 260 milijuna DEM. Veći dio ove sume dat će Njemačka, jer će čehoslovačka strana trebati da drži kratkotrajnije raspoloživu rezervu.

Elektrizitätswirtschaft, god. 87 (1988), br. 25

Mrk.

### ŽICE OD NOVIH SUPRAVODIČA

Laboratorijima Marcoussis (Francuska) uspjelo je izraditi žice s novim supravodljivim materijalom (YBa Cu O) visoke kritične temperature, koji se može hladiti tekućim dušikom (77 K). Kao što je poznato, taj se supravodljivi materijal dobiva u obliku keramike koja se ne može obraditi u žice ili vrpce. Rješenje je nađeno u izradi metalnih matrica. Metalne cijevi od bakrene legure ispune se praškom od supravodljivog materijala i izvaljaju u žice promjera 1 mm duge 100 m. Uz ostale probleme važno je pri izradi da se u materijalu sačuva koncentracija kisika. Dosada je takvu metalnu matricu bilo moguće proizvesti samo na bazi srebra, što je vrlo skupo.

Kritična struja za opisani materijal, pri temperaturi 77 K, iznosi nekoliko stotina A/cm<sup>2</sup>, no takva se gustoća može po-

stići npr. vodičima od srebra. Sigurno je da je to još daleko od postavljenog cilja, gustoće od  $10^4$  A/cm<sup>2</sup>, ali je postignut napredak u ekonomičnosti.

RGE, god. 1989, br. 2

Mrk.

## NAJVEĆI UREĐAJ U NJEMAČKOJ KOJI KORISTI PLINOVE IZ SMEĆA

U listopadu 1988. pušten je u pogon najveći njemački energetska uređaj u Berlinu koji se koristi plinovima iz deponije smeća. Plin metan služiti će za pogon toplane koja će davati 7 MW toplinske i 4 MW električne energije za javnu mrežu. Toplinska će energija služiti za grijanje stanova. Cijeli je uređaj stajao 21,5 milijuna DEM.

Elektrizitätswirtschaft, god. 87 (1988), br. 25

Mrk.

## FOTOVOLTAIČKE ČELIJE NISU JOŠ RENTABILNE ZA VELIKE INVESTICIJE

Savezna Republika Njemačka, uz SAD i Japan, vrlo mnogo investira u istraživanja obnovljivih izvora energije. Od oko jedne milijarde DEM, koliko je predviđeno da će se u te svrhe u iduće četiri godine utrošiti u SR Njemačkoj, oko 40% otpada na istraživanja korištenja fotovoltaičkih ćelija. Sa 100 milijuna DEM, koliko će se već utrošiti u 1989, SR Njemačka će biti prva u svijetu u visini investicija u takve projekte. Zanimljivo je stoga razmotriti što je potaklo SR Njemačku na takve akcije i koji su ciljevi istraživanja. Istaknuto je 5 ciljeva koje treba postići na polju fotovoltaike:

1. sniženje proizvodnih troškova,
2. povećanje koeficijenta iskorištenja pretvorbe svjetla u električnu energiju,
3. povećanje fundamentalnih istraživanja,
4. poboljšanje tehnike primjene,
5. iskušavanje mogućnosti korištenja fotovoltaičkih ćelija u različitim područjima primjene.

Motivi su ekološki i ekonomski: razviti energetske izvore koji ne zagađuju atmosferu, koji prvenstveno ne proizvode ugljik-dioksid, i toliko sniziti cijenu fotovoltaičkih uređaja da ih mogu prihvatiti i zemlje u razvoju. Mora se konstatirati da je u posljednjih desetak godina cijena fotovoltaičkih ćelija pala za faktor 20. No za još veći pad cijena potrebna je mnogo veća proizvodnja. Danas ona iznosi u svijetu 20 do 25 MW godišnje, što je premalo.

Dok u SAD misle da će devedesetih godina cijene električne energije iz voltaičkih elektrana pasti na 5,5 do 8,5 centi po kWh, u Velikoj Britaniji takvu tehniku još ne smatraju dovoljno ekonomičnom za elektroprivredu. U SR Njemačkoj pak nastoje ispitati mogućnosti fotovoltaičke tehnike. Zasad ona još ne dolazi u obzir za velika postrojenja.

Elektrizitätswirtschaft, god. 87 (1988), br. 26

Mrk.

## VELIKI ELEKTROENERGETSKI SISTEMI — DA ILI NE

Premda je članak V. A. Venikova pod tim naslovom izašao u sovjetskom časopisu »Električestvo« još u ožujku 1987, još uvijek u tom časopisu traje polemika o tom problemu. Kao što smo već pisali u časopisu »Energija« (br. 5 i 6 iz 1987. i br. 1 iz 1989), radi se o problemu povezivanja danas odvoje-

nih elektroenergetskih sistema SSSR-a u velik jedinstveni sistem od Baltika do Vladivostoka. Postavlja se pitanje da li da cijela zemlja ima nekoliko sekcioniranih elektroenergetskih sistema ili ih povezati trofaznim ili istosmjernim vezama vrlo visokog napona. V. A. Venikov u spomenutom svom članku zastupa mišljenje da cijeli sistem SSSR-a može uspješno raditi povezan trofaznim vezama s ugrađenim modernim regulacionim uređajima. U »Električestvu« br. 1/1989. nastavlja se diskusija i javljaju se autori V. I. Galanov, A. N. Zeiliger i L. A. Koščev s člankom gdje upravo diskutiraju o alternativnom povezivanju trofaznim ili istosmjernim vezama. Razmatrajući mogućnost regulacije i sigurnost pogona, zaključuju da bi razdvajanje jedinstvenog elektroenergetskog sistema SSSR-a u dijelove koji rade asinhrono bilo vrlo nepogodno. Stvaranje potpuno upravljivih presjeka mreže može biti korisno samo pri vanjskim vezama jedinstvenoga elektroenergetskog sistema.

I ovom se prilikom diskutanti ne priklanjaju jednoj određenoj varijanti rješenja u smislu trofaznog ili istosmjernog povezivanja u sistemu, već plediraju na iscrpnim analizama i ispitivanjima pojedinih varijanata kako bi dobili najpovoljnije tehničko ekonomsko rješenje. Težište polažu ponajprije na pouzdanost. Trofazna su povezivanja razmotrena na naponskom nivou 1 200 kV, a istosmjerna na 1 500 kV (između polova). I. G. Rojtelman iz Energoset-projekta u Kijevu najprije konstatira da se pri prijenosu trofaznim sistemom na velike udaljenosti može riješiti problem prijenosa bilo koje snage pomoću regulacije reaktivnom snagom, no tom se tehnikom ipak ne mogu nadomjestiti prednosti istosmjernog prijenosa.

Istosmjerne veze između sistema u principu neka ne budu paralelne s trofaznim vodovima zbog mogućnosti rada vezanih sistema s malim razlikama frekvencije. Automatika mora biti tako konstruirana da se nastali kvar ograniči na tu sekciju gdje je nastao.

Na kraju treba konstatirati da se iz časopisa ne vidi da je diskusija završena.

Mrk.

## RAZVOJ ELEKTROAUTOMOBILA

Elektroautomobili s baterijama pokazali su mnoge prednosti pred automobilima s eksplozivnim motorima, posebno za vožnju u gradu. Pogonski elektromotor je jednostavniji, tiši i ne zagađuje okoliš, a u gradskoj vožnji i mnogo ekonomičniji. Danas se smatra da bi se elektromobili mogli razvijati na bazi natrij-sumpornih baterija. Uz istu težinu takvih baterija radius kretanja vozila može biti 4 puta veći nego pri upotrebi olovnih akumulatora.

Daljnja nastojanja u razvoju elektrovozila idu za tim da se primijeni elektromotor bez četkica, smanji težina po jedinici snage, poveća koeficijent iskoristivosti i smanje proizvodni troškovi. Nadalje će se široko primijeniti trajni magneti digitalno upravljani presmjerivači, kao i energetska elektronika. Pretpostavlja se da će navedene mjere ubrzati upotrebu elektroautomobila za gradske vožnje, na što upućuju i dosadašnja iskustva s takvim pokusnim vozilima.

ETZ, god. 110 (1989), br. 2

Mrk.

## DOBAVA ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ SOVJETSKOG SAVEZA U ITALIJI

Talijansko državno elektroprivredno poduzeće ENEL pokušava dobavljati električnu energiju iz SSSR-a. U tom se smislu već obratila Jugoslaviji i Čehoslovačkoj. Ideja nije

nova. Nakon nemogućnosti da se nuklearne elektrane grade u zemlji, talijanska nuklearna industrija pokušava ih graditi u SSSR-u. Za to je najviše zainteresirana industrijska grupa Ansaldo koja bi SSSR-u stavila na raspolaganje svoje projekte i iskustva u vezi s gradnjom nuklearnih izvora.

RGE, god. 1989, br. 2

Mrk.

### STIMULACIJA POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U NOĆI U ŠPANJOLSKOJ

Španjolska elektroprivredna poduzeća investiraju 500 milijuna pezeta u kampanju kojom bi informirali i publicirali noćni potrošak električne energije. Utvrđenom tarifom još 1983, ta je energija 55% jeftinija od dnevne. No unatoč tome dosada je takav način trošenja energije prihvatilo tek 20 000 potrošača. Za usporedbu, u Velikoj Britaniji noćnu energiju troši oko milijun potrošača.

RGE, god. 1989, br. 2

Mrk.

### SUPRAVODLJIVI GENERATOR SNAGE 850 MVA

Njemačka tvrtka Siemens predat će 1995. naručiocu prvi supravodljivi generator snage 850 MVA (750 MW).

Razvoj supravodljivih generatora počeo je sedamdesetih godina na temelju pogrešne pretpostavke da će u skoroj budućnosti biti potrebni veliki generatori koji se iznad snage 2 000 MW neće više moći hladiti vodikom i vodom. Pokazalo se, međutim, da nije prijedena snaga od 1 300 MW, a tendencija je da se grade generatori manje snage.

U principu se supravodljivi generator ne razlikuje od klasičnog turbogeneratora.

Namoti statora su od bakra, hlađeni vodom na konvencionalni način. Namot rotora građen je od slitine niobij-titan (Nb Ti) koju treba, da bude supravodljiva, stalno držati na temperaturi 4 K do 5 K. Rotor ima dva dijela. Topli vanjski (-50 °C do 100 °C).

Da se spriječi prodiranje topline iz toplog dijela u hladni, u međuprostoru je vakuum. Toplina u unutarnji dio ulazi vodenjem putem metalnih nosača, pa se i oni moraju hladiti tekućim helijem. Helij se kao tekućina ubrizgava u rotor, a kao plin izlazi iz rotora u rashladni stroj i time se krug zatvara. Ovakva nova tehnologija omogućava mnogo veće

gustoće struje nego pri hlađenju vodom, a osim toga nema gubitaka. Snaga se povećava po jedinici mase za 2 do 3 puta, a faktor iskorištenja je poboljšana 0,5% do 1%. Postiže se, nadalje, veća stabilnost stroja i veće reaktivno područje pri poduzbudi. Razvoj supravodljivih generatora vezan je za rješenja mnogih specifičnih električnih i mehaničkih problema od kojih su najtipičniji:

- izbjegavanje omskih gubitaka u supravodiču zbog vremenskih promjena okolnog magnetskog polja; zbog toga se mora predvidjeti posebni ekran,
- pričvršćenje namota rotora kako bi se svladale sile nastale zbog velikih struja i centrifugalne sile, a da pritome bude dovoljno slobodne površine vodiča kako bi se omogućilo što efikasnije hlađenje tekućim helijem,
- treba predvidjeti potrebne mjere ako ispadne hlađenje i vodiči rotora prijeđu u normalno vodljivo stanje (kvenč).

Kako bi se mogli problemi što bolje prostudirati, izrađen je prototip rotora za snagu generatora od 400 MVA, a dobivena iskustva zatim primijenjena na rotoru 850 MVA.

Predviđa se da će ukupni troškovi razvoja od 1973. do 1995. biti oko 140 milijuna DEM.

ETZ, god. 110 (1989), br. 3

Mrk.

### SVE VEĆA PRIMJENA ELEKTRONIČKIH RAČUNALA PRI RADU

Sve više ima radnih mjesta gdje je nužno u poslovanju upotrebljavati kompjutor. U Njemačkoj su sakupljeni podaci o upotrebi računala na radnim mjestima. Podaci govore o tome na kojim se radnim mjestima upotrebljava stalno, često i malo, a gdje uopće nije potrebno. Pokazalo se da je računalo pri radu sve potrebnije. Učinjena je tablica o postotku radnih mjesta i korištenju računala za godine 1970. i 1980. i predviđanje za 1990. i 2000. godinu.

Korištenje računala	Postotak radnih mjesta (%)			
	1970.	1980.	1990.	2000.
stalno	0,5	1	3	4
često	1,5	5	15	20
malo	3	12	25	40
nikako	95	82	57	36

ETZ, god. 110 (1989), br. 4

Mrk.

## NOVE KNJIGE

Carl-Jochen Winter, Joachim Nitsch:

### HYDROGEN AS AN ENERGY CARRIER

Izdavač: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, 1988; stranica 377, slika 188, tablica 60, format 24 x 16,5 cm, tvrdo ukoričeno, cijena 158 DM

Knjiga obrađuje sa stajališta fizike, systemske tehnike, cijena i ekoloških utjecaja moguće primjene vodika kao energetskog izvora. Zbog kompleksne problematike knjiga je podijeljena u tri dijela, što omogućuje čitaocu jednostavniji pristup do specifičnih područja.

U prvom dijelu je elaborirana sadašnja potreba za sintetičkim energentima s opisom vodika kao kemijskom sirovinom i tehnologijama za sadašnju i buduću upotrebu. Posebno je naglašen sigurnosni aspekt korištenja vodika kao energenta. Kao zaključak nameće se mogućnost univerzalne primjene vodika, uz električnu energiju, kao energenta

za buduću energetiku koja će se osnivati na nefosilnim izvorima.

U drugom dijelu su obrađene mogućnosti proizvodnje vodika iz nefosilnih primarnih izvora. Obradeni su svi aspekti procesa konverzije, i to fotoelektrični procesi i elektroliza vode, koji se pokazuju kao najpovoljnije tehnologije za intenzivno korištenje solarne energije.

Razrađena je evaluacija troškova za provjerene tehnologije skladištenja i transporta na osnovi kojih je moguće izgraditi internacionalni sistem transporta vodika.

U trećem dijelu razrađena je ideja buduće sveobuhvatne svjetske primjene Sunčeve energije kao glavnog energetskog izvora. Primjena solarnih postrojenja za proizvodnju vodika ima veliku perspektivu s obzirom na zahtjeve na materijale, energiju i potrebne investicije, kao i zbog posebno atraktivnih ekoloških i pogonskih aspekata.

Volumen indeksirane literature je indikator ukupnih aktivnosti koje dekadama provode širom cijelog svijeta na istraživanjima mogućnosti primjene vodika kao energenta.

Korištenje računala	Postotak radnih mjesta (%)		
	1970	1980	1990-2000
stajno	0,2	1	4
često	1,2	5	20
mnogo	3	12	40
nikako	92	82	36

RTZ, god. 110 (1989), br. 4

Mtk.

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Godište 38 (1989)

Zagreb 1989

Br. 5

Zajednica elektroprivrednih  
organizacija Hrvatske

Institut za elektroprivredu, Zagreb

SIZ za znanstveni rad Hrvatske

## SADRŽAJ

<i>Vranković I.</i> : Konvencionalne elektrane s pročišćavanjem dimnih plinova — energetska opcija kraja 20. stoljeća (Stručni rad) . . . . .	379
<i>Markovčić B.</i> : Najviši prijenosni naponi danas (Stručni rad) . . . . .	385
<i>Soklič A.</i> : Praćenje potrošnje električne energije i vršne snage u Željezari Jesenice (Pregledni rad) . .	391
<i>Obad M.</i> : Koncept istraživanja veličine i karaktera električnih opterećenja potrošačkih grupa u elektrodistribuciji (Prethodno saopćenje) . . . . .	399
<i>Darveniza M.</i> : Lightning and Overvoltage Protection (Originalni znanstveni rad) . . . . .	407
<i>Sitar I.</i> : Ispitivanje na kratki spoj trofaznog tronamotnog transformatora 20/20/13,34 MVA (Stručni rad) . . . . .	421
<i>Milunović M.</i> : Analiza strujnog redukcijuskog faktora 110 kV kabela s paralelno položenim bakrenim užetom u zemlji (Stručni rad) . . . . .	427
<i>Krulc Z.</i> : Opasna i čudljiva munja — neke važne spoznaje i pouke za zaštitu (Stručni rad) . . . . .	431
<b>Iz strane stručne literature</b> . . . . .	437
<b>In memoriam</b> . . . . .	440
<b>Oglasi</b> . . . . .	441

## IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

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 — EDITORIAL BOARD

Glavni urednik - Editor-in-chief: dr Zorko Cvetković, dipl. inž.  
Urednik - Editor: Zdenka Jelić, prof.

Urednici rubrika — Contributing Editors: »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 — Technical Editor: Branko Mališ — Lektor — Linguistic Adviser: Vladimir Strojny, prof. — Metrološka recenzija — Metrologic review: 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 60000 dinara, a za poduzeća i ustanove 150000 dinara (za studente 30000) dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 10000.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišiji — Print: 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

①

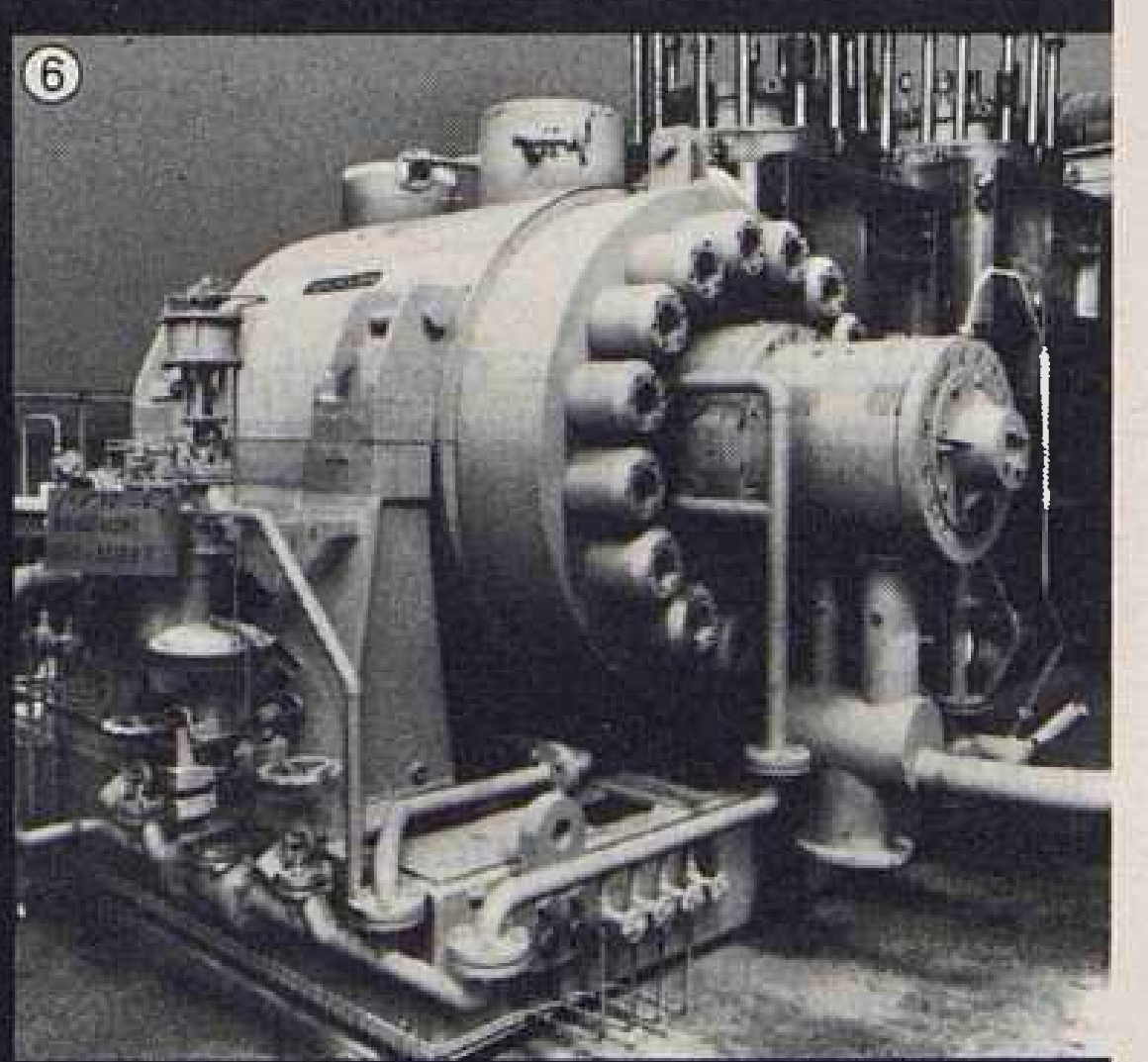
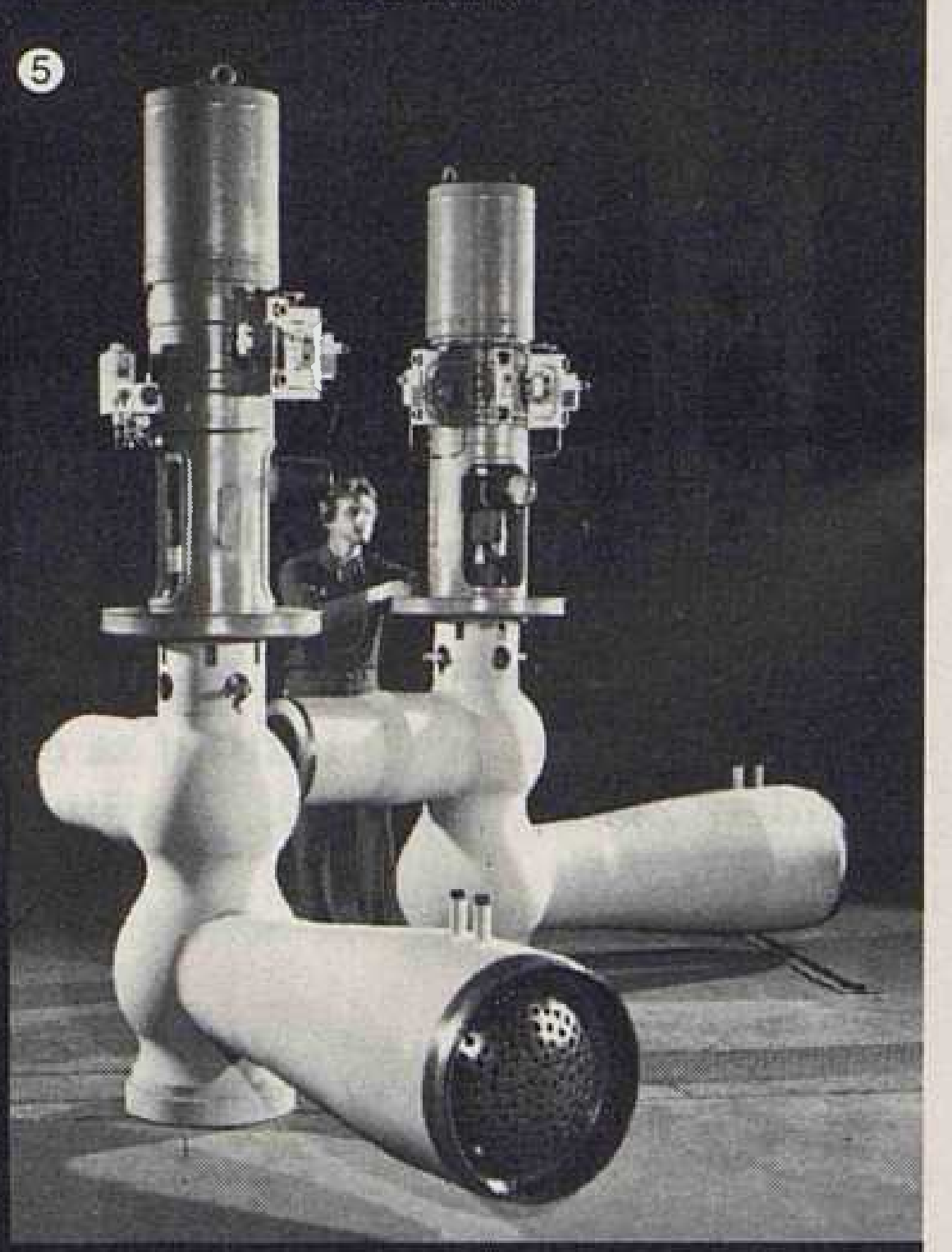
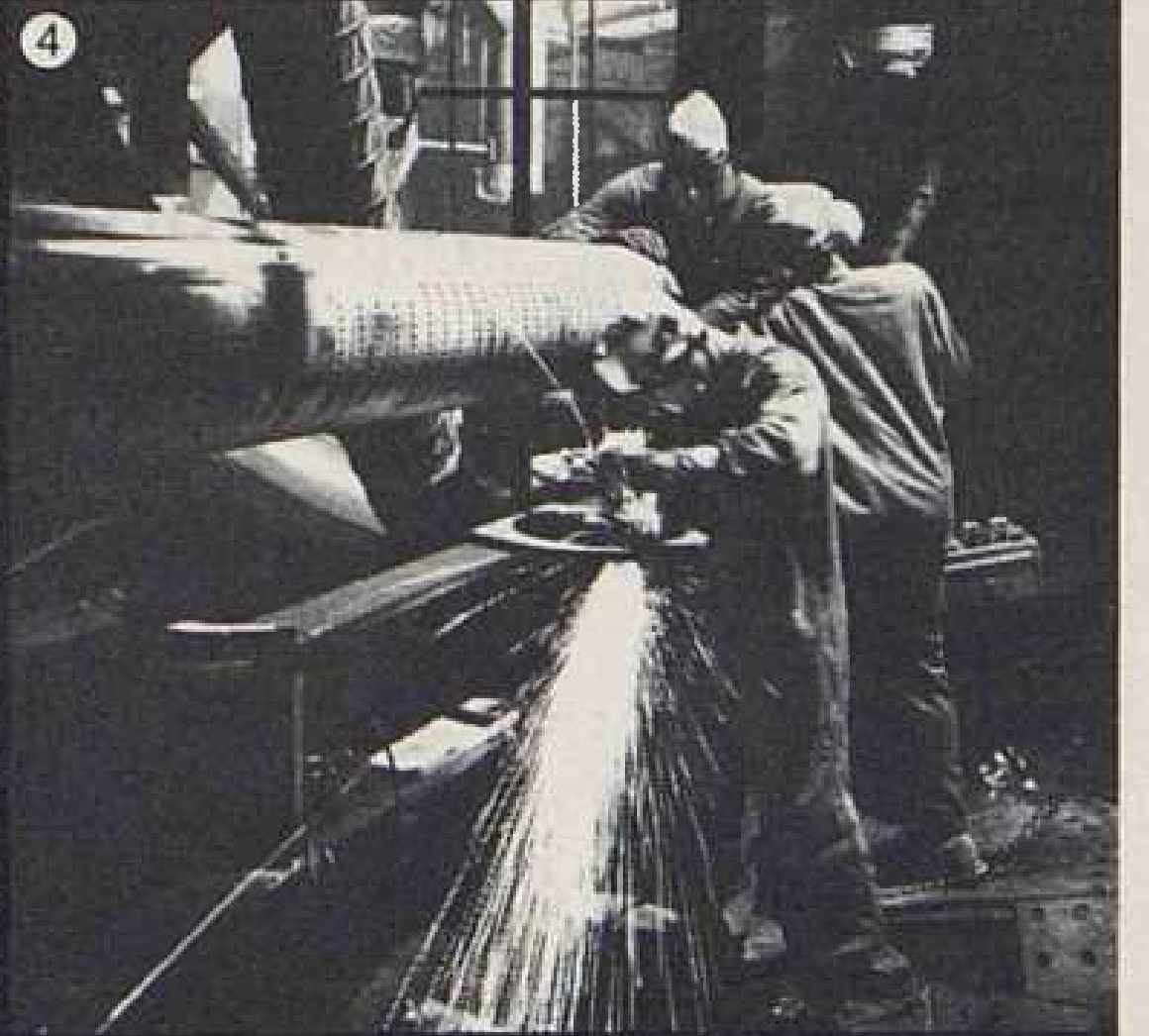
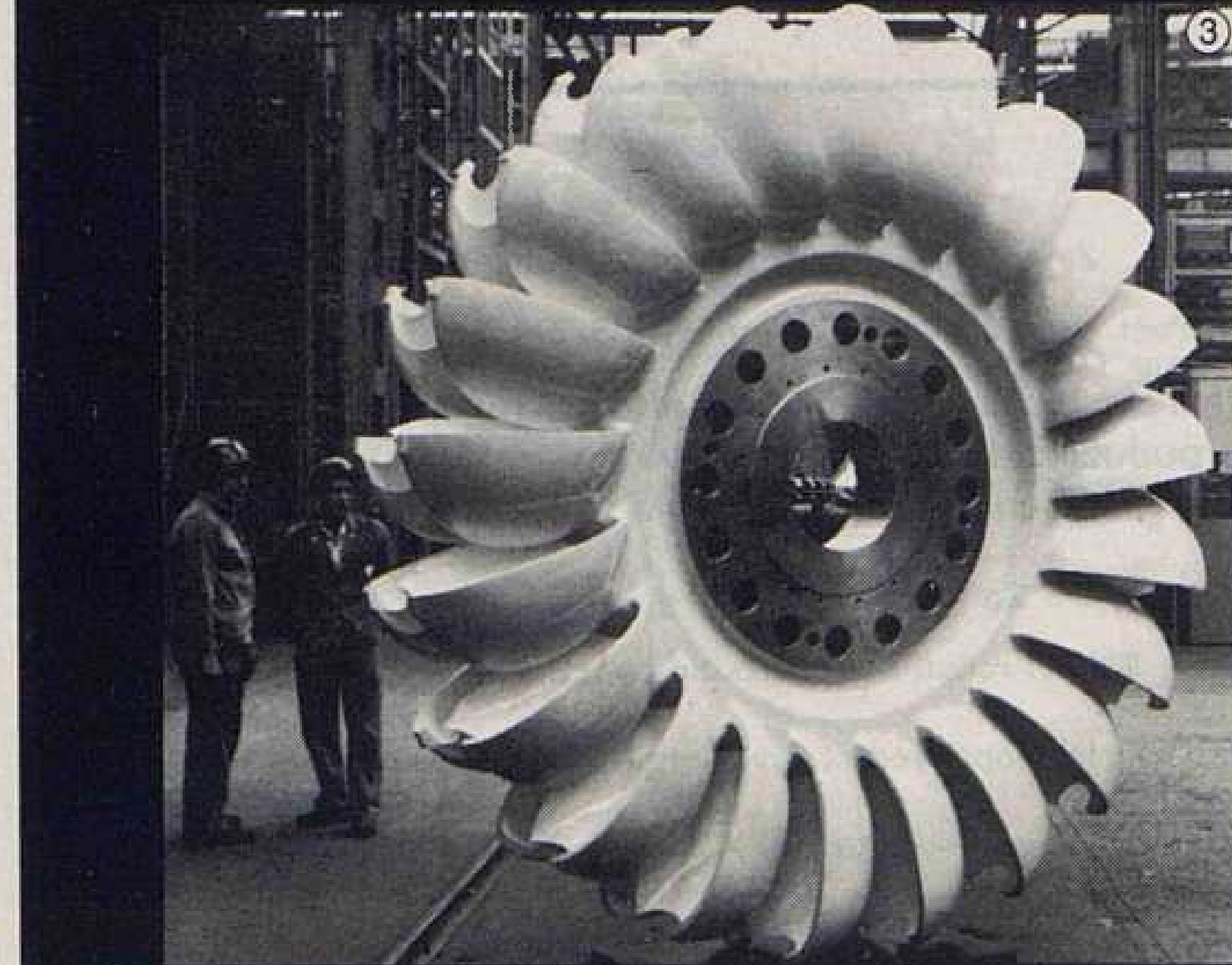
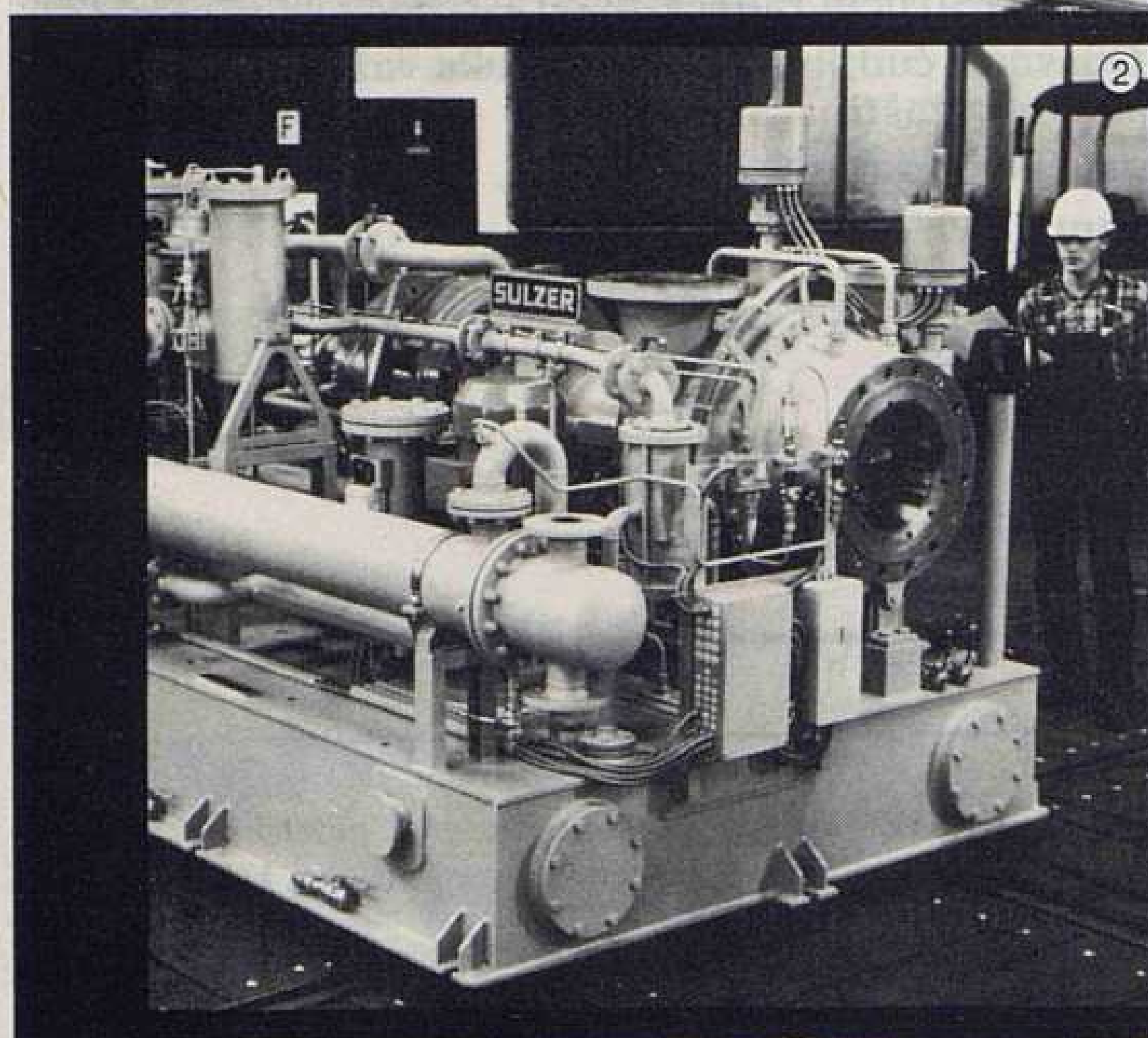
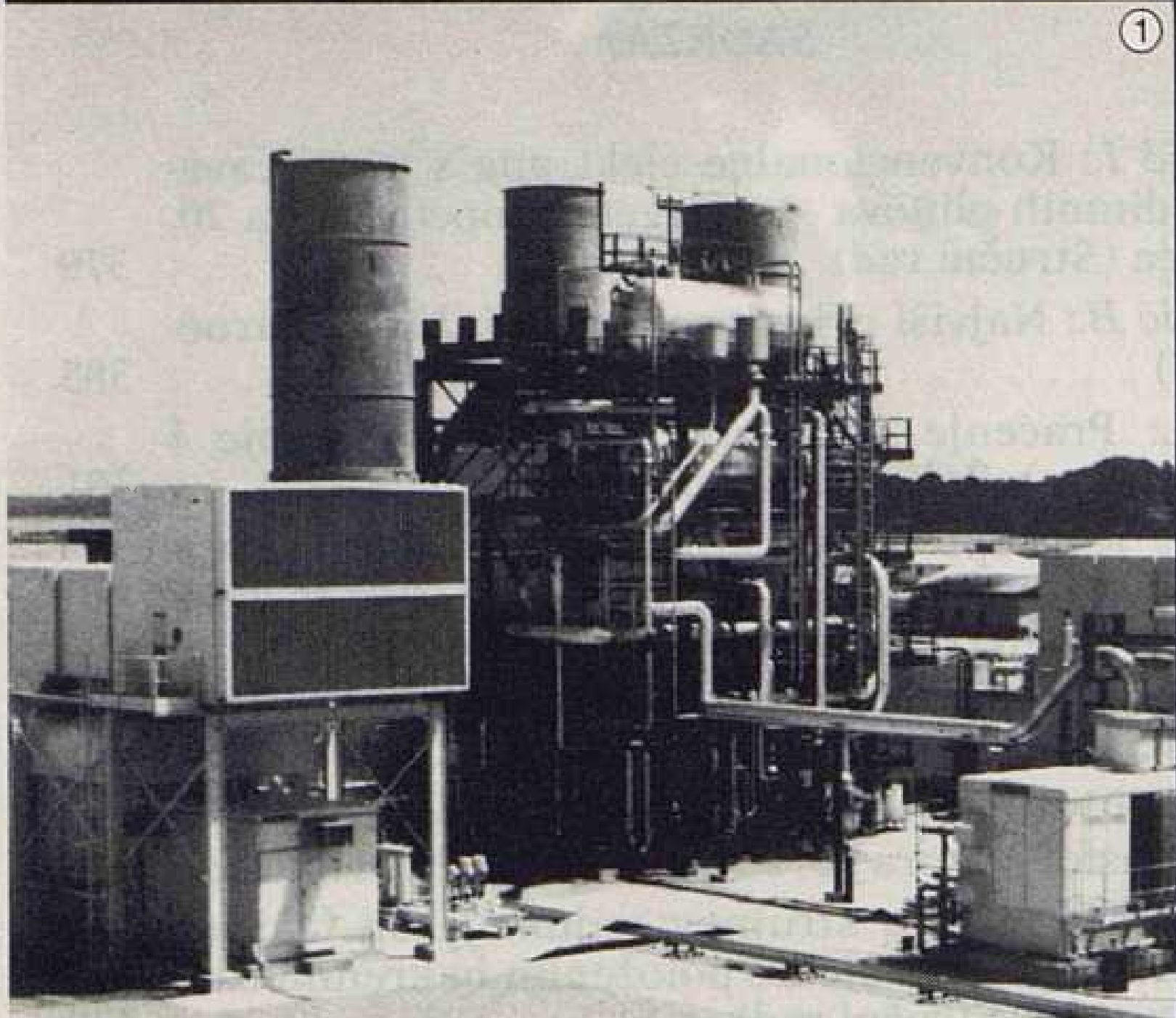
②

③

④

⑤

⑥



# KONVENCIONALNE TERMoeLEKTRANE S PROČIŠĆAVANJEM DIMNIH PLINOVA — ENERGETSKA OPCIJA KRAJA 20. STOLJEĆA

Ivan Vranković, Zagreb

UDK 621.311.22

STRUČNI RAD

Opisana je funkcionalna i tehnološka shema uredaja za pročišćavanje dimnih plinova na novom bloku TE Plomin, te pokazan utjecaj tog uredaja na sniženje emisije SO<sub>2</sub> i krutih čestica, kao i način rješavanja problema što se pritom javljaju.

**Ključne riječi:** odsumporavanje dimnih plinova, termoelektrane na ugljen, emisija iz termoelektrana na ugljen.

## 1.0. UVOD — RAZVOJ ENERGETIKE I ZAŠTITA OKOLINE

Osnovni kriteriji za izbor tipa energetskeg objekta još donedavno su bili raspoloživost energenta i minimizacija troškova izgradnje i pogona. Krajnji rezultat trebala je biti pouzdana i jeftina proizvodnja električne energije kao osnova za međunarodnu konkurentnost industrijske proizvodnje. Ekološke prilike u ovom desetljeću, kao i narasla svijest o očuvanju prirodne sredine nametnule su kao osnovni i trajni kriterij — zaštitu čovjekove okoline.

Pouzdan, ekološki podobne i energetske visokoeffikasne tehnologije konverzije energije (usavršeni nuklearni reaktori i sistemi rasplinjavanja ugljena za kombi-procese) su zasad još u fazi ispitivanja.

Uzevši u obzir stanje iskorištenosti energetskih izvora (hidropotencijala i nafte), kao i momentane mogućnosti tehnologije izgaranja u fluidiziranom sloju i alternativnih tehnologija, proizlazi da će se u ovom prijelaznom razdoblju **energetika velikih snaga uglavnom bazirati na konvencionalnim termoelektrana na kruto gorivo uz pročišćavanje dimnih plinova i otpadnih voda.**

## 2.0. UTJECAJ TERMOENERGETSKOG OBJEKTA NA ČOVJEKOVU OKOLINU I KONTROLA ZAGAĐENJA ZRAKA NA PODRUČJU SR HRVATSKE

Konvencionalni termoenergetski objekt u toku svoje izgradnje i pogona djeluje na određene elemente čovjekove okoline, i to na:

- a) zrak,
- b) vode (podzemne, rječne, morske),
- c) tlo (na području platoa elektrane),
- d) biljni svijet,
- e) životinjski svijet,
- f) klimu,

- g) kulturno nasljeđe,
- h) estetiku okoline,
- i) život i zdravlje čovjeka te njegove tradicionalne djelatnosti.

Iako se utjecaj termoenergetskog objekta na čovjekovu okolinu ostvaruje putem niza interakcija, neposredno i posredno, ipak se ocjenjuje da najveću opasnost za čovjeka i prirodu predstavlja zagađenje zraka i vode direktnim odbacivanjem produkata tehnološkog procesa u okolinu.

Zbog toga se pri utvrđivanju koncepta tehnološkog procesa termoelektrane posebna pozornost poklanja:

- pročišćavanju dimnih plinova
- obradi otpadnih voda
- odlaganju krutog otpada
- zaštiti od buke
- toplinskom opterećenju rashladnog resursa.

Ovdje se namjerava detaljnije razmotriti samo problematika kontrole zagađenja zraka i zahtjevi koje važeća regulativa postavlja na emisiju dimnih plinova termoelektrane.

Emisija dimnih plinova u okolinu termoenergetskih objekata na području SR Hrvatske zasad nije regulirana posebnim zakonom.

Na našem području sada vrijede preporuke Svjetske zdravstvene organizacije (WHO) o maksimalno dozvoljenim koncentracijama pri tlu koje je prihvatio Savjet za čovjekovu okolinu i prostorno uređenje SIV-a 1979. godine.

Također nas na kontrolu emisije dimnih plinova te na odgovarajuću primjenu zaštitnih mjera obvezuje i pristup evropskoj konvenciji o smanjenju emisije sumpornog dioksida.

Budući da su odgovarajući Savezni propisi o emisiji dimnih plinova u pripremi, prema sadašnjoj praksi

granične koncentracije štetnih sastojaka u dimnim plinovima na izlazu iz dimnjaka termoelektrane određuje Republički komitet za građevinarstvo, urbanizam, stambene, komunalne poslove i zaštitu čovjekove okoline, a na osnovi važećih propisa o dozvoljenim maksimalnim koncentracijama pri tlu, javno prihvaćene studije o utjecaju na okolinu konkretnog termoenergetskog objekta i posebnog mišljenja Republičkog komiteta za zdravlje.

### 3.0. ODSUMPORAVANJE DIMNIH PLINOVA TE PLOMIN 2

#### 3.1. TE Plomin 2 i odluka o izgradnji postrojenja za odsumporavanje

TE Plomin 2 trajne maksimalne snage 210 MW s pogonom na raški ugljen (8–11% S), predviđena je kao polutemeljni blok, a početkom 80-ih godina definiran je njezin tehnički koncept:

- konvencionalni kotao s loženjem na ugljenu prašinu
- kondenzacijska parna turbina u dvokučišnoj izvedbi
- elektrostatski filtar za dimne plinove i dimnjak visok 340 metara.

Ovaj tehnički koncept zadovoljio je propise i proceduru ishoda suglasnosti, te je nakon ishoda načelne suglasnosti sredinom 1985. god. projektiranje, isporuka opreme, montaža i puštanje u pogon ugovoreno sa PZ »Ingra« Zagreb, a građevinski radovi sa SOUR »Rijeka – gradnja« Rijeka.

U sastavu PZ »Ingra« funkciju generalnog projektanta vrši »Elektroprojekt« — Zagreb, s odgovornošću za kompletnu tehničku dokumentaciju, te usklađenost i kompletnost funkcija jedinice.

Naknadnom odlukom Sabora SRH, početkom 1986. god., iniciranom težnjom za maksimalnom zaštitom čovjekove okoline, odlučeno je da se kao nezavisni investicijski program izgradi Postrojenje za odsumporavanje dimnih plinova (PODP), koje će nakon završetka izgradnje činiti s blokom jedinstvenu tehnološku cjelinu. Po odluci Sabora SRH upravnim postupkom određene su granične vrijednosti emisije i emisije kako slijedi:

- max. SO<sub>2</sub> koncentracija pri tlu (godišnji prosjek) 0,060 mg/Nm<sup>3</sup>
- granične koncentracije štetnih plinova na izlazu iz dimnjaka . . . . . 400 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>  
200 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup>
- leteći pepeo iza elektrostatskog filtra 110 mg/Nm<sup>3</sup>
- leteći pepeo iza postrojenja ODP 50 mg/Nm<sup>3</sup>

#### 3.2. Izbor tehnologije odsumporavanja

Konvencionalni kotao TE Plomin 2 projektiran je s niskim toplinskim opterećenjem i temperaturama u ložištu, kako bi se u radu kotla izbjegao problem lijepljenja šljake na stijenske kotla prisutan kod bloka 1.

S tim u vezi proizvođač kotla ocjenjuje da će koncentracija NO<sub>x</sub> u dimnim plinovima biti u dozvoljenim granicama, pa se problem pročišćavanja dimnih plinova svodi uglavnom na odsumporavanje i otprašivanje.

Komercijalno provjereni postupci ODP primijenjeni na kotlovima termoelektrana mogu se podijeliti na sljedeći način:

- a) Prema procesu pročišćavanja dimnih plinova:
  - mokri postupak
  - suhi postupak
  - polusuhi postupak.
- b) Prema primijenjenom apsorbentu:
  - vapnenac
  - vapno
  - natrijev karbonat
  - magnezijev oksid
  - citrati (limunska kiselina + NaOH)
  - amonijak
  - natrijeva lužina
  - dolomit.
- c) Prema pratećem proizvodu procesa pročišćavanja dimnih plinova:
  - prateći proizvod ima tržišnu vrijednost
  - prateći proizvod nema tržišnu vrijednost.
- d) Prema načinu izgradnje:
  - naknadna ugradnja u postojeću elektranu
  - nova instalacija (projektirano s elektranom).

Na izbor najprikladnije tehnologije u pojedinom slučaju utječu sljedeći faktori:

- količina i karakteristika dimnih plinova
- utvrđeni zahtjevi emisije dimnih plinova
- specifičnosti lokacije i drugih karakteristika elektrane
- raspoloživost apsorbenta
- mogućnost plasmana pratećeg proizvoda
- pouzdanost i fleksibilnost pogona
- pogonski i investicijski troškovi
- jednostavnost upravljanja pogonom
- reference i komercijalna provjerenost.

Na osnovi podataka iz preliminarnih ponuda koje su prikupljene nakon raspisa za izbor tehnologije pročišćavanja dimnih plinova TE Plomin, Investitor se, uzevši u obzir sve okolnosti i faktore u konkretnoj situaciji, odlučio za komercijalno najprovjerenu i u praksi najviše iskušanu tehnologiju (koja čini 80% svih izvedenih postrojenja za odsumporavanje na termoelektranama), tj.

**Mokri postupak odsumporavanja dimnih plinova s vapnencem kao apsorbentom i proizvodnjom komercijalnog gipsa.**

#### 3.3. Tenderski koncept postrojenja za odsumporavanje TE Plomin 2

Nakon odluke o izboru postupka »Elektroprojekt« — Zagreb je na zahtjev Investitora izradio Idejno rješenje postrojenja za odsumporavanje TE Plomin 2, definirajući pritom idejno: tehnološke sheme, dispoziciju objekata i postrojenja, specifikaciju opreme i gra-



đevinskih radova te priključke i interakcije s okolinom i s TE Plomin 2 u izgradnji.

### 3.3.1. Tehničke karakteristike koncipiranog postrojenja

a) Postrojenje ODP sastoji se iz sljedećih tehnoloških cjelina:

- dimovni kanali i regenerativno predgrijanje pročišćenih dimnih plinova
- skladištenje i manipulacija vapnenca
- mljevenje vapnenca i priprema apsorbenta
- apsorber
- odvajanje gipsa
- sušenje i briketiranje gipsa
- skladištenje i otprema gipsa
- obrada otpadnih voda
- sistem procesne i rashladne vode
- sistem komprimiranog zraka
- dovod električne energije
- sistem vodene pare.

b) Nepročišćeni dimni plinovi na ulazu u ODP

- količina 830 000 m<sup>3</sup>/h<sub>3</sub> vl.dim.pl.
- sadržaj SO<sub>2</sub> 17 500 mg/Nm<sup>3</sup> suh.dim.pl.
- sadržaj HCl 600 mg/Nm<sup>3</sup> vl.dim.pl.
- sadržaj letećeg pepela 110 mg/Nm<sup>3</sup> vldim.pl.
- temperatura 175 °C.

c) Pročišćeni dimni plinovi na izlazu iz ODP

- količina 940 000 m<sup>3</sup>/h vl.dim.pl.
- sadržaj SO<sub>2</sub> 400 mg/Nm<sup>3</sup> suh.dim.pl.
- sadržaj HCl 15 mg/Nm<sup>3</sup> suh.dim.pl.
- sadržaj letećeg pepela 50 mg/Nm<sup>3</sup>
- temperatura 90 °C

d) Pročišćene otpadne vode prije ispuštanja u okolinu:

- količina 24 m<sup>3</sup>/h
- temperatura 48 °C
- pH 6,5–8,5
- sadržaj topljivih sulfata 1 000–3 000 mg/L
- sadržaj suspendiranih tvari 20–60 mg/L
- sadržaj topljivih klorida 20000–50000 mg/L
- sadržaj teških metala 0,8–1,5 mg/L.

e) Potrošnja apsorbenta, energenata i drugih medija kod pogona sa 100% MTO:

- vapnenac 25 t/h
- el. energija 8,5–12,5 MWh/h
- vodena para za sušenje gipsa 15 bara/310 °C — 12 t/h
- procesna voda 90 m<sup>3</sup>/h
- rashladna morska voda 70 m<sup>3</sup>/h
- značajnije kemikalije u obradi otpadnih voda
- HCl 0,25 t/h
- TMT15 20L/h
- NaOH 0,3 t/h.

f) Proizvodnja komercijalnog gipsa

- briketirani gips 44 t/h.

### 3.3.2. Opis funkcije koncipiranog postrojenja

Dimni plinovi iz TE Plomin 2 dovode se dimovodnim kanalima, preko specijalno brtvljenog Ljungström

zagrijača plin-plin, do apsorberskog tornja, gdje se prolazom kroz 8 redova mlaznica, kroz koje se u protustruji raspršuje tekuća suspenzija vapnenca, vrši pročišćavanje prethodno ohlađenog dimnog plina. Nakon izlaza iz apsorberskog tornja pročišćeni dimni plinovi dogrijavaju se u regenerativnom Ljungström zagrijaču i odvede u dimnjak. Za pokrivanje padova tlaka u PODP predviđen je posebni Booster ventilator koji je smješten na izlaznom dimovodnom kanalu između apsorbera i Ljungströma.

U slučaju većeg kvara na PODP nepročišćeni dimni plinovi puštaju se kroz by-pass kanal u dimnjak pomoću daljinski upravljanih zaklopki.

Suspenzija apsorbenta recirkulira kroz apsorber u čijem donjem dijelu se sakuplja, oksidira (propuhivanjem zrakom) i zasićuje sa CaSO<sub>4</sub> otopina, koja se odvodi u sistem odvajanja gipsa (vakuum-filtre ili centrifuge) gdje se mokri gips odjeljuje od procesne tekućine.

Suspenzija apsorbenta priprema se mokrim mljevenjem zdrobljenog vapnenca u specijalnim mlinovima s kuglama i skuplja u posebnom spremniku suspenzije odakle se potrebna količina dovodi u apsorber.

Mokri gips odvodi se u parne sušače, a zatim u postrojenje za briketiranje. Briketirani gips odlaze se u zatvorenom skladištu i zatim odvozi kamionima.

Kao varijanta rješenja moguća su:

- skladištenje suhog gipsa u prahu u betonskim silosima i naknadno briketiranje po potrebi
- skladištenje mokrog gipsa u A-skladištu i daljni odvoz kamionima ili po potrebi sušenje i briketiranje određene količine uskladištenog mokrog gipsa i odvoz briketiranog gipsa kamionima.

Sve transportne linije unutar PODP, počevši od istovara vapnenca do utovara briketiranog gipsa u kamione, automatizirane su i redundantno kapacitirane.

U mokrom postupku odsumporavanja dimnih plinova posebnu pozornost treba posvetiti obradi otpadnih voda. Naime, procesna tekućina, odvojena od gipsa u tehnološkom postupku, preuzima sve za čovjekovu okolinu štetne, sastojke iz dimnih plinova i letećeg pepela. Procesna tekućina djelomično recirkulira u procesu, a djelomično se zajedno s vodama podne drenaže odvodi u sistem obrade otpadnih voda gdje se uz dodatak odgovarajućih kemikalija u postupku oksidacije, neutralizacije, flokulacije, taloženja i filtriranja odvađa pročišćena otpadna voda od krutog taloga.

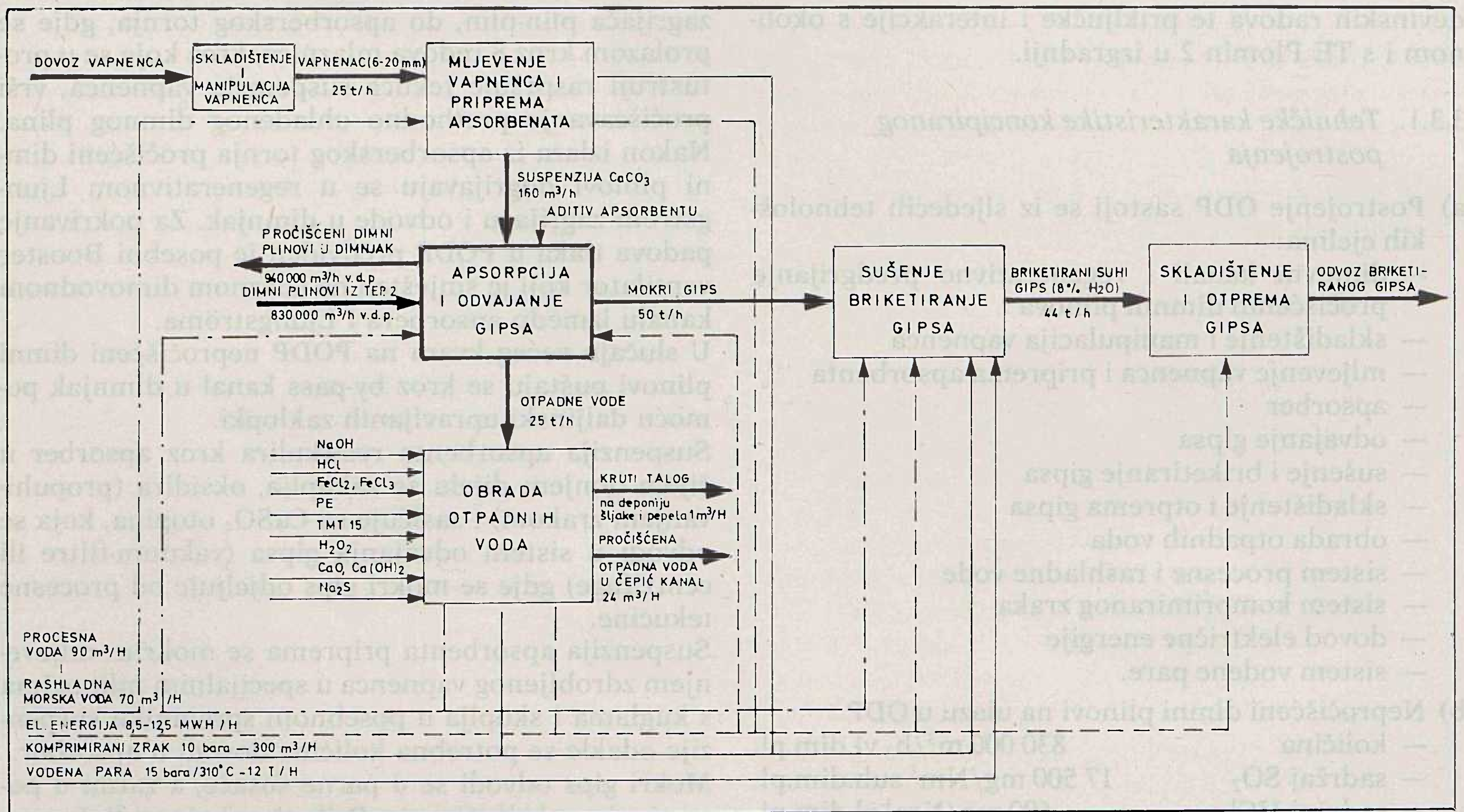
Pročišćena otpadna voda odvodi se kanalom u more, a kruti talog (kolač) odvozi se na kontrolirano područje deponije šljake i pepela.

Tenderski koncept PODP TE Plomin 2 prikazan je na grafičkim priložima:

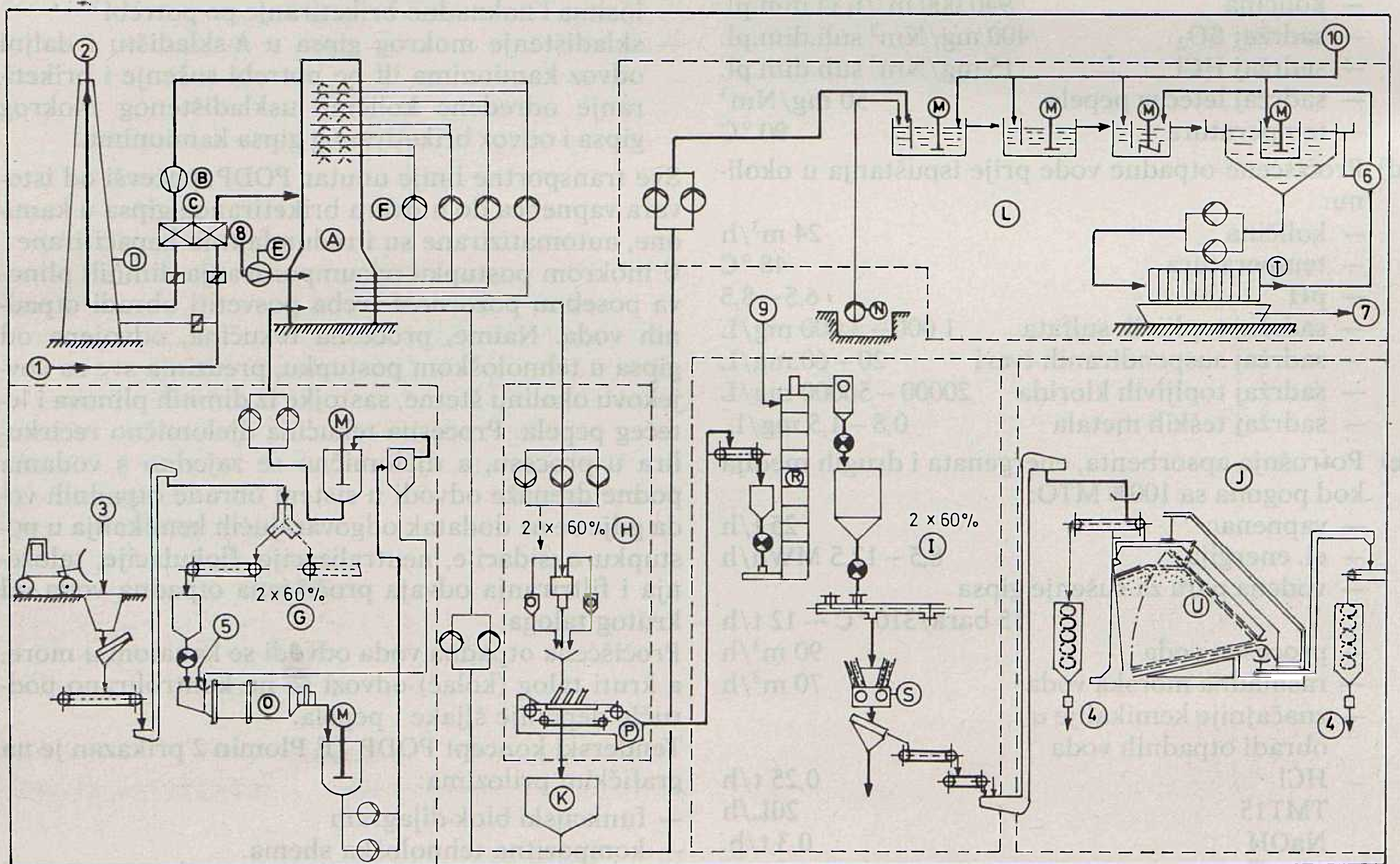
- funkcijski blok-dijagram
- kompozitna tehnološka shema.

### 3.4. Stanje realizacije postrojenja za odsumporavanje TE Plomin 2

Sredinom 1988. godine investitor je raspisao međunarodni natječaj za isporuku postrojenja ODP po sistemu »ključ u ruke« za procesnu opremu, tj. bez pri-



Slika 1. Funkcijska blok shema PODP TE Plomin 2 (2 × 25 t/h gipsa)



A — apsorber, B — booster ventilator ODP, D — regenerativni zagrijač OP, D — dimnjak, E — oksidaciono puhalo, F — recirkulacione pumpe, G — priprema apsorbenata, H — odvajanje mokrog gipsa, I — sušenje i briketiranje gipsa, J — skladištenje i odvoz gipsa, K — sakupljanje procesne tekućine, L — obrada otpadnih voda, M — mješalice, N — podna drenaža, O — mlin za mlikro mljevenje vapnenca, P — tračni vakuum-filtar, R — sušač gipsa, S — preša za briketiranje s valjcima, T — komorna filter-preša, U — portalni strugač.

1 — nepročišćeni dimni plinovi iz TE Plomin 2, 2 — pročišćeni dimni plinovi, 3 — drobljeni vapnenac, 4 — briketirani gips, 5 — procesna voda, 6 — otpadna voda, 7 — kruti talog, 8 — atmosferski zrak, 9 — vodena para za sušenje gipsa, 10 — potrošne kemikalije.

Slika 2. Kompozitna tehnološka shema mokrog postupka ODP s proizvodnjom komercijalnog gipsa

ključaka, građevinskih radova i pratećih postrojenja. Svoje ponude priložilo je sedam ponuđača uglavnom renomiranih stranih firmi s domaćim partnerima, prihvativši pritom plaćanje inozemnog dijela isporuka i usluga kompenzacijskim aranžmanom.

U toku evaluacije ponuda i ponuđenih tehnoloških rješenja investitor se odlučio za **reviziju tenderskog koncepta** postrojenja ODP, ocijenivši da je u ovom slučaju optimalno rješenje:

- skladištenje mokrog gipsa, odakle se gips može transportirati u tom stanju ili po potrebi doradivati sušenjem i briketirati u jednoj tehnološkoj liniji kapaciteta 26 t/h (1×60%) te transportirati briketirani gips potrošačima — proizvođačima građevinskih materijala i proizvoda.

Nakon što ponuđači u tom smislu revidiraju svoje ponude, izvršit će se i izbor najpovoljnijeg ponuđača, osigurati financijska sredstva prema finalnom investicionom programu te zaključiti ugovor s izabranim dobavljačem.

Rok puštanja postrojenja ODP u komercijalni pogon je 30 mjeseci od stupanja ugovora na snagu.

#### 4.0. USPOREDBA TERMOENERGETSKIH OPCIJA

Do usvajanja saveznih propisa o emisiji dimnih plinova granične vrijednosti emisije termoenergetskog objekta utvrđuju se upravnim postupkom. Praksa u SRH ustalila se na nivou emisije štetnih komponenta dimnih plinova od 400 mg/m<sup>3</sup> za sumporni dioksid, 200 mg/m<sup>3</sup> za dušikove okside i 50 mg/m<sup>3</sup> za leteći pepeo.

Taj nivo »čistoće« dimnih plinova ne postiže se samo izgaranjem u konvencionalnim kotlovima uz pročišćavanje dimnih plinova već također i u kotlovima s izgaranjem u fluidiziranom sloju.

Znatno niže nivoe emisije postizati će se kod termoenergetskih objekata s rasplinjavanjem ugljena i kombi-procesom, ali se njihova komercijalna primjena ne može očekivati prije 1995. Ti procesi trebali bi iskazati i druge prednosti, tj. manju emisiju ugljičnog dioksida i krutog otpada te manje dimenzije i bolji stupanj djelovanja, a po specifičnoj investicijskoj cijeni od 1 000 \$/KW neto bili bi podjednaki konvencionalnim termoelektranama s pročišćavanjem dimnih plinova.

Što se tiče kotlova na izgaranje u fluidiziranom sloju, ta tehnologija se pokazala pogodnom za spaljivanje manje kvalitetnih i visokosumpornih ugljena te manje i fleksibilne kogeneracijske energane i spalionice smeća, a komercijalno je provjerena do jedinica snage 100 MW neto.

Ovakve jedinice su investicijski skuplje (1 200 \$/KW neto) od konvencionalnih, ali su u pogonu ekonomičnije.

Usporedivost naših cijena sa svjetskima varira i zavisna je najviše od udjela uvozne opreme i aranžmana plaćanja te opreme (DPRP, kredit. kompenzacija), a na primjeru TE Plomin 2 specifične investicijske cijene kreću se:

- kompletan blok 210 MW na raški ugljen — 850 \$/KW neto
- mokri postupak odsumporavanja uz proizvodnju komercijalnog gipsa kao neovisna investicija — 450 \$/KW.

#### 5.0. ZAKLJUČAK

Konvencionalne termoelektrane na kruto gorivo uz pročišćavanje dimnih plinova i otpadnih voda bit će i u našoj zemlji baza energetike velikih snaga do kraja 20. stoljeća. Naravno, to je samo bazno rješenje koje će se koristiti pri gradnji novih i zamjenskih termoenergetskih objekata, a paralelno s korištenjem rentabilnih hidropotencijala i alternativnih izvora energije te smanjenjem specifične potrošnje energije po jedinici proizvoda racionalnim korištenjem energije.

#### CONVENTIONAL TPP WITH FLUE GASES SCRUBBING — ENERGY OPTION FOR THE END OF 20th CENTURY

In the article is described a functional and technological scheme of system for flue gases scrubbing in TPP Plomin. Presented is also effect on decreasing of SO<sub>2</sub> and dust emission as well as solutions for various arising problems.

#### KONVENTIONELLE WÄRMEDIAKTWERKE MIT KLÄRUNG DER RAUCHGASE — ENERGETISCHE OPTION BIS END DES 20. JAHRHUNDERTS

Hier wird das funktionelle und technologische Schema der Rauchgaskläranlage auf dem Niveau des Blocks TE Plomin beschrieben und der Einfluß dieser Anlage auf die Verringerung der SO<sub>2</sub> Emission und fester Teilchen, sowie die Art der Problemlösung gezeigt.

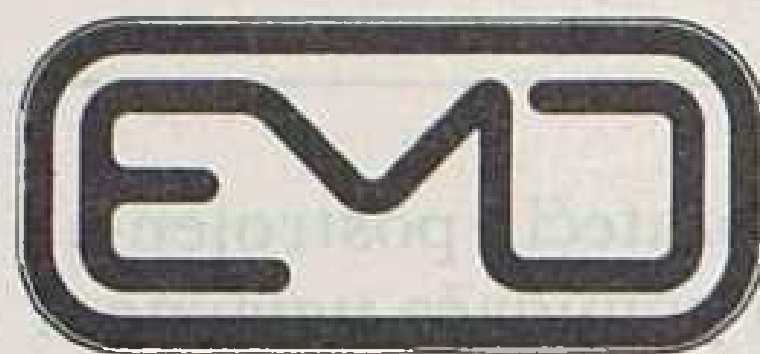
#### КОНВЕНЦИОНАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ОЧИСТКОЙ ДЫМОВЫХ ГАЗДНОВ — ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ЖЕЛАНИЕ КОНЦА 20-ого ВЕКА

Описана функциональная и технологическая схемы устройств очистки мовых газов на уробне блока тэ Плонин и показано влияние этих усторойств на понижение выброса сербистого газа и твердых честиц, а также способ решения возникающих при этом проблем.

Naslov pisca:

**Ivan Vranković, dipl. inž.**  
**Elektroprojekt Zagreb,**  
**41000 Zagreb,**  
**Proleterskih brigada 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1989-03-15



EMO OHRID

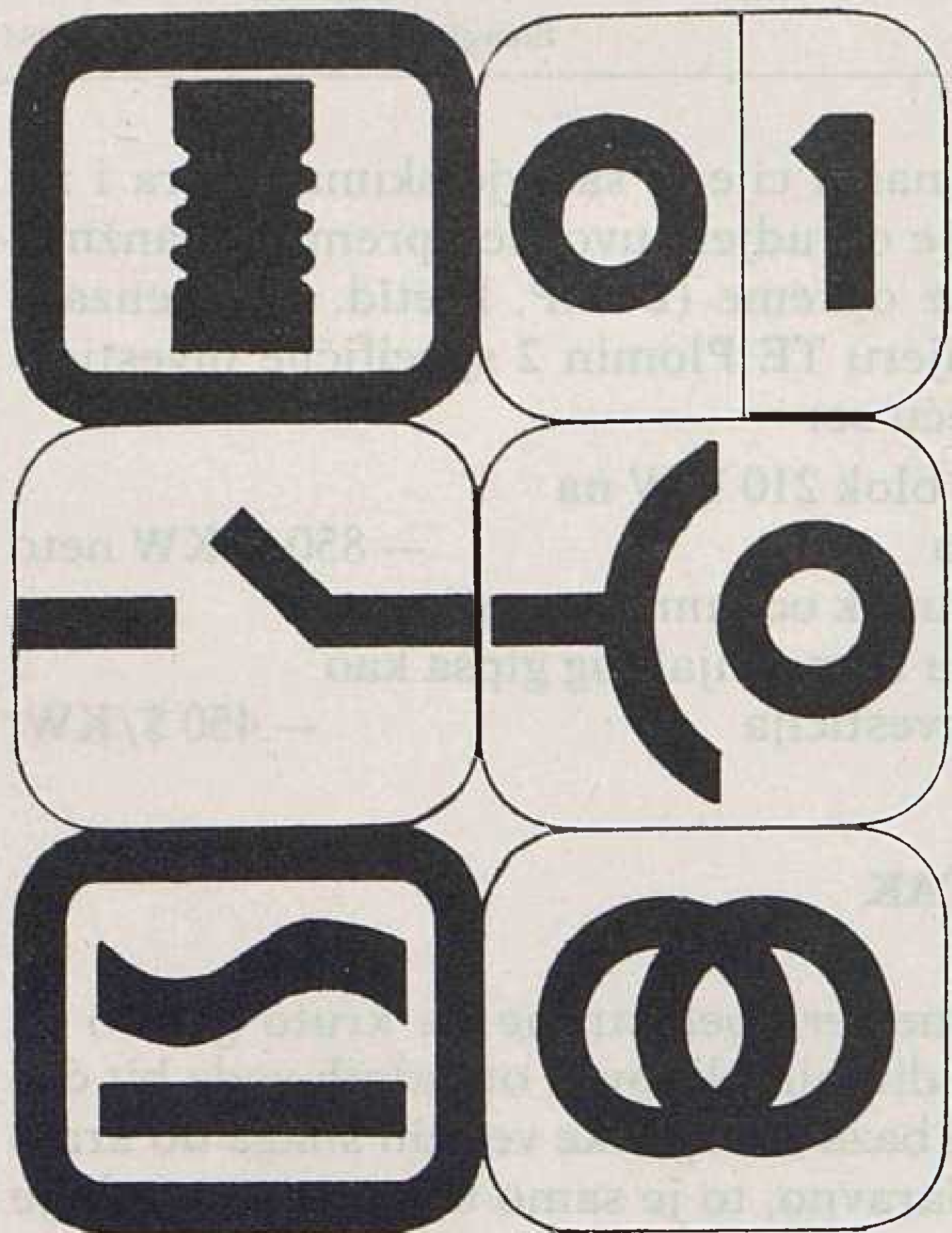
Elektroindustrija i inženjering

**PROJEKTIRANJE  
INŽENJERING  
KONSALTING**



96000 OHRID, P. Fah 118  
JUGOSLAVIJA

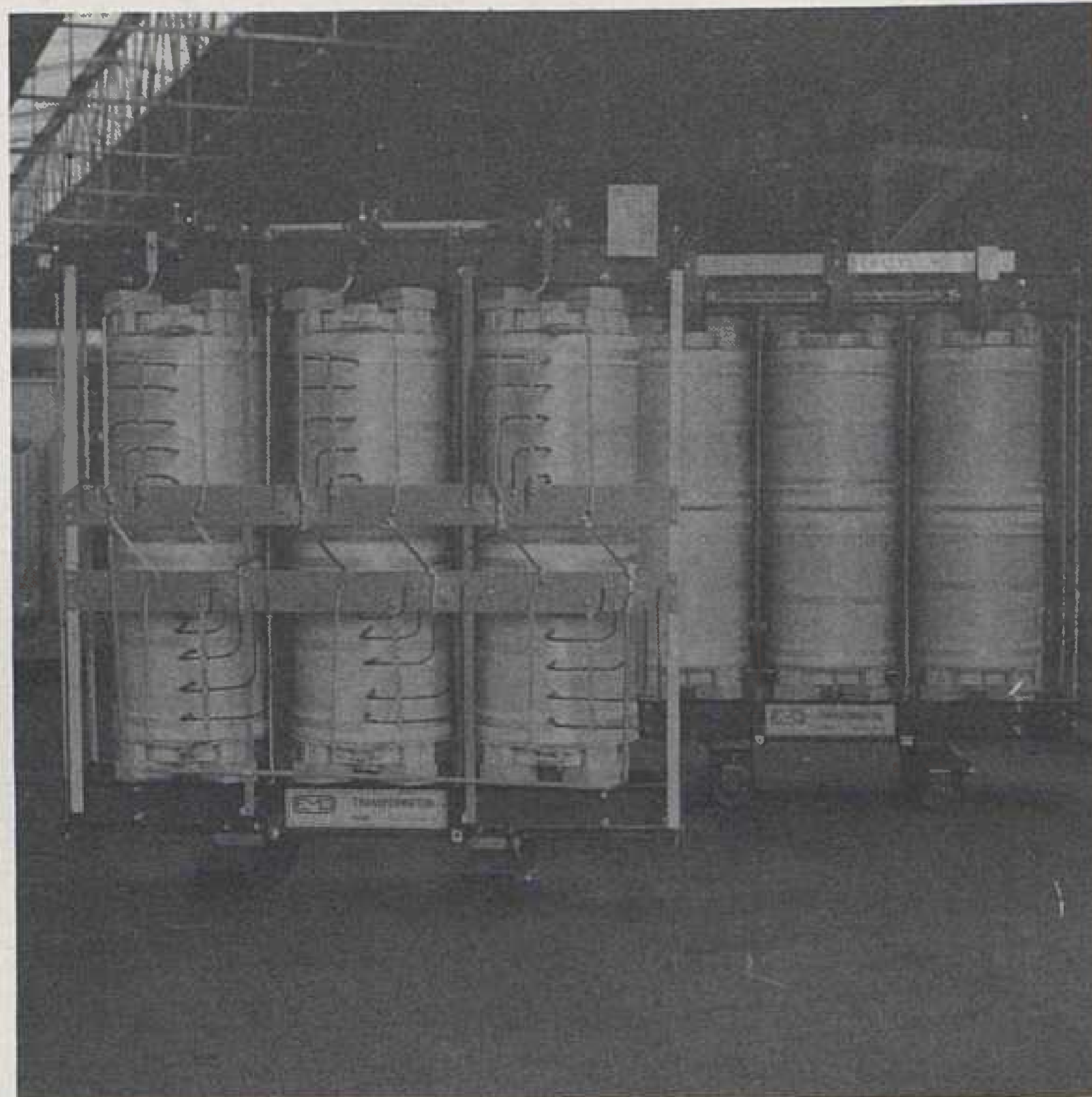
Tel. (096) 34-944  
Telex: 53829 YU EMOOH  
Telefax: 33690



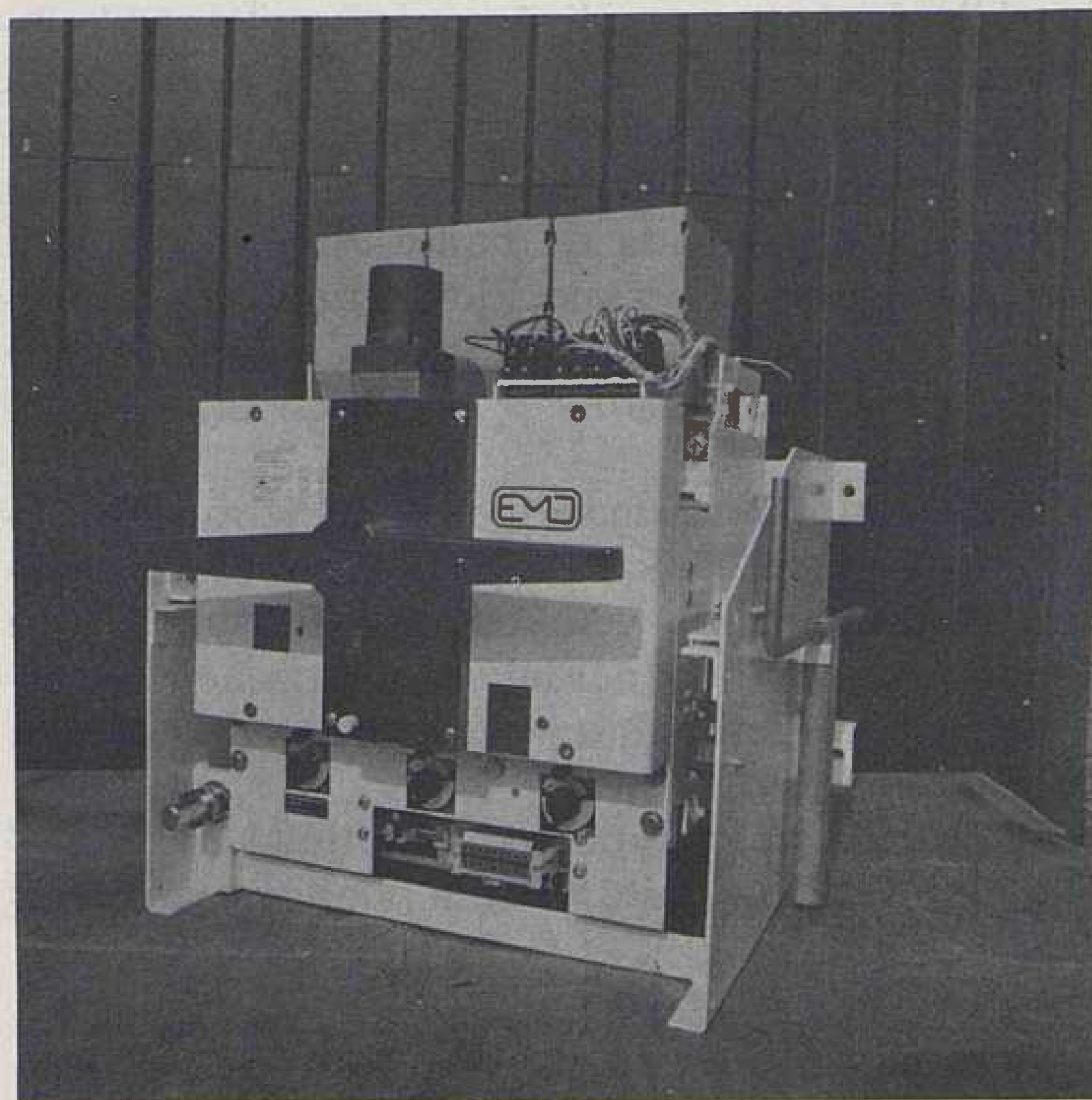
EMO OHRID projektira, proizvodi i montira elektroopremu i izvodi elektroenergetske i industrijske objekte po sistemu „ključ u ruku”.

Svoje aktivnosti EMO OHRID ostvaruje preko 15 različitih programa koji uključuju elektroopremu za niski, srednji i visoki napon, elektroaparature, kompjuterske sisteme, površinsku zaštitu materijala i inženjering. Gotovo četvrt veka prisutan je na jugoslovenskom i stranom tržištu.

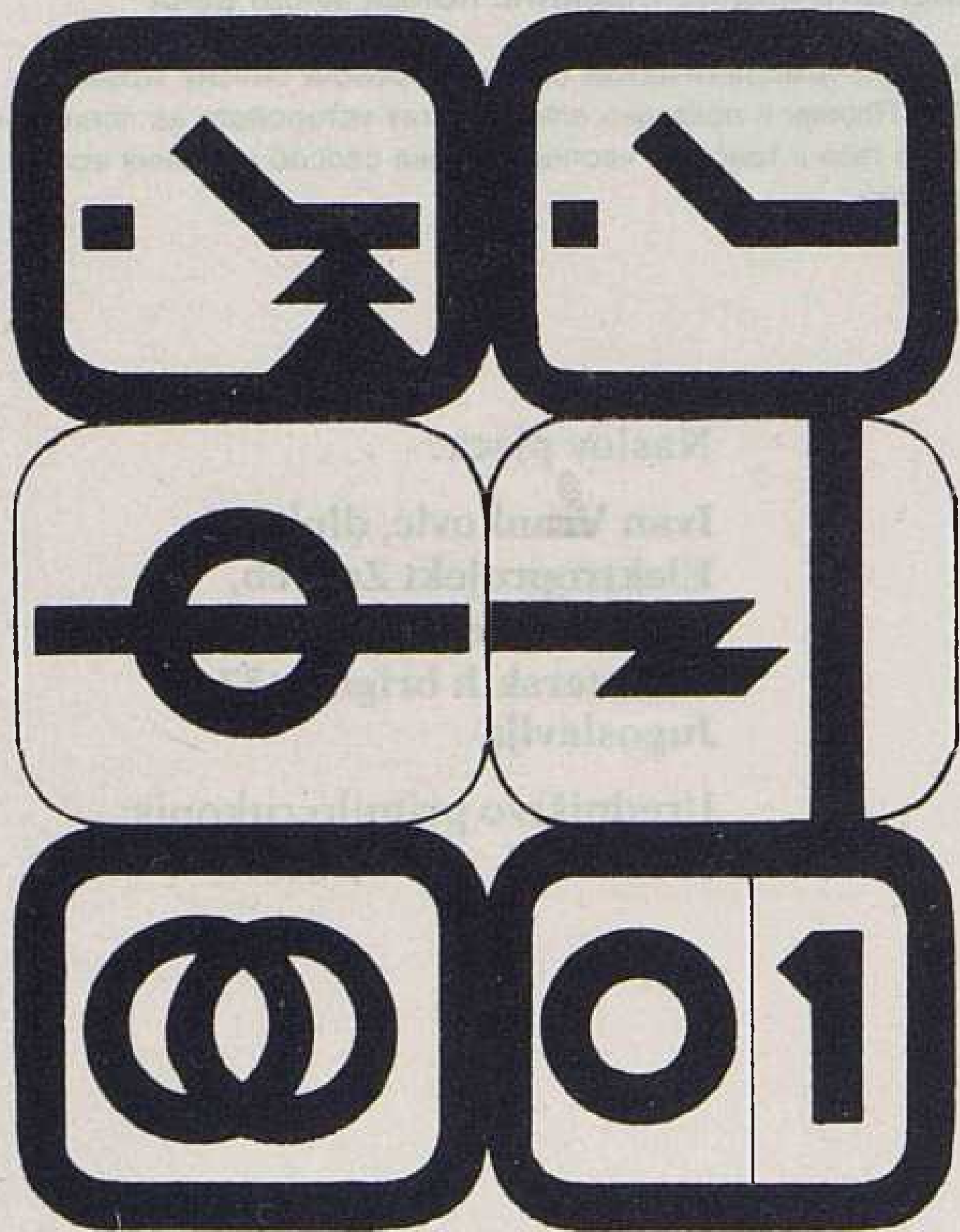
Pretstavljajnje na ovaj način trebalo bi doprineti da se zajednički interesi sa dosadašnjim i budućim partnerima lakše identificiraju, u cilju uspješnije saradnje.



Niskonaponski prekidač, 2000 A



Suhi transformator, 630 kVA  
Termička klasa izolacije H



# NAJVIŠI PRIJENOSNI NAPONI DANAS

Boris Markovčić, Zagreb

UDK 621.311.1:621.316.1.05

STRUČNI RAD

Opisuje se razvoj mreža najviših napona u svijetu, kao i pogledi na budući razvoj.

**Ključne riječi:** prijenos električne energije, ultra visoki naponi, ispitne stanice.

Potkraj šezdesetih i početkom sedamdesetih godina problemi razvoja elektroprivrede u svijetu gledani su uz pretpostavku daljnjeg porasta potroška električne energije, koji se redovito udvostručuje svakih 10 godina. Da bi se pak dobio uvid u to koji bi ultravisoki napon (UVN) u bližoj budućnosti došao u obzir — da bi se mogli tehnički i ekonomski svladati i najveći očekivani prijenosi električne energije — formirana je u sklopu CIGRE-Paris ad hoc radna grupa vodećih svjetskih stručnjaka da rasvijetli ovo pitanje. Grupa je počela s radom 1970. godine, imajući kao podlogu dotadašnja istraživanja u različitim zemljama. Zanimljivo je iznijeti tada predviđene snage koje bi se u sljedećih trideset godina morale prenositi i za koje bi trebalo utvrditi prikladne UVN. Predviđene snage navedene su u tablici 1.

**Tablica 1.**

Godina	Prijenos snage	
	na veće udaljenosti	na manje udaljenosti
1980.	2 000 do 4 500 MW	4 000 do 5 500 MW
1990.	4 000 do 7 000 MW	6 000 do 12 000 MW
2000.	8 000 do 10 000 MW	10 000 do 22 500 MW

Na temelju navedenih zahtjeva prijenosa radna grupa je donijela tehničko-ekonomska rješenja za naponske nivoe do 1 500 kV, naravno, u okviru ondašnjih mogućnosti i znanja.

Nakon 10 godina, tj. na XVIII. zasjedanju CIGRE u Parizu 1980. godine organiziran je okrugli stol i gdje se ponovno diskutiralo o potrebi UVN u budućnosti i o izvedenosti takvih postrojenja. Konstatirano je da su u međuvremenu znatno porasla tehnička znanja o ultravisokim naponima, ali su se zbog energetske krize hitno promijenili uvjeti u domeni potrošnje i proizvodnje električne energije, a time i perspektiva velikih prijenosa i velikih elektroenergetskih sistema. Tom su se prilikom pokušali iznijeti razlozi za i protiv porasta potrošnje električne energije, kako bi se na temelju toga odredila perspektiva razvoja električnih mreža. Konkretnih zaključaka nije bilo, ali je

izneseno mišljenje da će na daljnji razvoj više utjecati socijalni uvjeti nego čist ekonomski interes, a faktor zaštite okoliša sve više će sprečavati primjenu UVN. Viši naponski nivoi bit će svakako potrebni, ali je njihovo uvođenje pomaknuto znatno dalje u budućnost negoli je bilo predviđeno u prethodnom desetljeću. U literaturi i na skupovima mnogo se manje govorilo o uvođenju UVN, a više o pouzdanosti pogona i kvaliteti elemenata elektroenergetskog sistema. Kad se god govorilo o budućem razvoju elektroenergetskog sistema, istaknut je problem neizvjesnosti u planiranju potrošnje električne energije. UNIPED je 1982. godine predvidio da će u sljedećih 20 godina prosječni porast energije iznositi 1,3%, a električna energija 4,4%. Premda se porast potrošnje bitno smanjio, UVN će ipak biti nužni. Bez mreže UHV nema ekonomičnog prijenosa, a jaka mreža treba biti glavna obrana za sve vrste neizvjesnosti koje će u budućnosti biti još naglašenije.

Početkom 80-ih godina smatra se da planer elektroenergetskog sistema treba prekinuti s tradicionalnim metodama planiranja, jer je činjenica da je razvoj mnogo manje pravilan nego što je bio u prošlosti. Prigodom planiranja sve više treba uzimati u obzir socijalno-ekonomske tokove, npr. perspektivu ekonomskog razvoja, konkurentnu sposobnost električne energije u usporedbi s drugim vrstama energije, mogućnost financiranja i psihološke utjecaje. Važan faktor s kojim svakako treba računati jest javno mišljenje.

Istraživanja radi prelaska na naponske nivoe iznad 800 kV (Kanada 735 kV, 1965; SSR 750 kV, 1967; SAD 765 (800) kV, 1969) još su u toku 80-ih godina nastavljena i uglavnom završena potkraj desetljeća.

Istraživanja istosmjernih prijenosnih sistema na naponskom rasponu od  $\pm 600$  kV do  $\pm 1 200$  kV, koje su posljednjih decenija provodili EPRI (SAD), IREQ (Kanada) i CEPEL (Brazil) pokazala su da je  $\pm 800$  kV potpuno izvediv na temelju današnjih tehničkih znanja. Za istosmjerni naponski nivo  $\pm 1 000$  kV moguća je realizacije uz još dodatna istraživanja, a  $\pm 1 000$  kV ne bi bio izvediv bez ekonomskih poteškoća.

Za velike prijenose zainteresirane su posebno zemlje velikih prostranstava, većinom tehnički vrlo razvijene.

Zahvaljujući iscrpnim studijama i istraživanjima u posljednjih deset godina, prijenos električne energije UVN postala je tehnička stvarnost. Prvi takav prijenos u svijetu izgrađen je i stavljen u pogon 1985. u Sovjetskom Savezu.

Dvije terminalne transformatorske stanice 500/1 200 kV, Ekibastuz i Kokčetau, povezane su jednosistemskim vodom 1 200 kV na udaljenosti 497 km (vidjeti Energiju god. 36 (1987) br. 3). Koje će zemlje slijediti uvođenje UVN, ovisi o potrebama i troškovima.

Ostvarenju UVN prethodila su istraživanja koja su morala riješiti sve probleme transformatorskih stanica i prijenosnih dalekovoda, odnosno rada prijenosnog UVN sistema u cjelini.

UVN koji su danas prihvaćeni ili su njihova postrojenja u fazi završnih ispitivanja kreću se između 1 000 kV i 1 600 kV. Predviđeni transformatori za takve sisteme su jednofazne izvedbe, u trofaznoj sprezi od  $3 \times 667$  MVA (SSSR) do  $3 \times 1 000$  MVA (SAD), a proučava se i mogućnost izvedbe  $3 \times 1 500$  MVA. Posebna se pažnja pridaje radu prekidača i njihovoj ulozi za pouzdan pogon mreže. Prihvaćeno je ultrabrzo jednofazno ponovno uključivanje, osim u Japanu gdje predviđaju trofazno, jer se projektiraju UVN-linije s dva sistema. Maksimalno se očekuju struje kratkog spoja od 40 kA do 53 kA. Nivo sklopnih prenapona kretao bi se od 1,5 p.u. do 1,7 p.u, a dugotrajnih prenapona 1,1 p.u. do 1,4 p.u, najduljeg trajanja 0,5 s. Sve zapadne zemlje planiraju oklopljena UVN-postrojenja, a SSSR gradi otvorena. Kompenzacija je u takvim sistemima nužna, ali se predviđa različit stupanj kompenzacije u različitim zemljama. Da se održe prihvatljive promjene napona u normalnom pogonu, u SSSR-u se predviđa paralelna kompenzacija do 90%, u SAD 70 do 90%. U Italiji smatraju da treba kompenzirati samo linije duže od 250 km.

Svrha istraživanja prijenosnih UVN-dalekovoda bila je dovoljna pouzdanost, podnošljiv utjecaj na okoliš i što niže cijene. Glavna su istraživanja bila usmjerena na optimalnu konstrukciju snopa vodiča, duljinu izolatorskog lanca, zračnih razmaka faza-faza i faza-zemlja, kao i optimalnu konstrukciju stupa. Ispitivane su različite konstrukcije snopa vodiča uz variranje broja užeta u snopu, razmaka užeta, promjera itd, pa je općenito prihvaćen snop od 8 vodiča. Glavni je interes bila korona i njezini efekti kao gubici, radio smetnje i čujne smetnje. U Japanu su još posebno istraživani šumovi vodiča zbog vjetra. Treba napomenuti da su mnogi istraživači pojava korone pokušali sastaviti odgovarajuće formule kojima bi se mogli s dovoljnom točnošću pretkazati njezini efekti. U tablici 2. navedeni su podaci snopova kojima se eksperimentiralo.

Danas je vrlo važno upoznati ekološku stranu izgradnje UVN-sistema i točno utvrditi podnošljive granice smetnji. Za taj naponski nivo dominantne su čujne smetnje. Pokazalo se da se nivo čujnih smetnji pod vodom kreće od 50 do 60 dBA, a radiosmetnje (15 m od vanjske faze), 50 do 60 dB.

Tablica 2.

Država	Promjer užeta mm	Broj užeta u snopu	Razmak užeta mm
SSSR	24,1	8 i 12	400 – 400 – 1000
Italija	26,9	10	450
Italija	31,5	8	200 – 450 – 600
SAD	35,2	16 i 12	238 – 476
Japan	38,4	10 i 8	400
Japan	34,2	8	400

Važan podatak o djelovanju dalekovoda UVN na okoliš jest jakost električnog i magnetskog polja na zemlji. Podaci iz različitih izvora teško su usporedivi jer su dani za različite udaljenosti od voda i različitoj visini iznad zemlje. Naprimjer, u SAD (BPA) postavljeno je kao pravilo da granična jakost polja bude na granici trase 5 kV/m, u trasi 9 kV/m, u komercijalnom i industrijskom području 2,5 kV/m. SSSR za svoj vod od 1 200 kV traži da polje u naseljenom dijelu ne prijeđe 15 kV/m, a na prijelazima cesta 10 kV/m. U postrojenjima, pak, gdje polje prelazi 5 kV/m ljude treba zaštititi ekranom. Vrlo opsežna su ispitivanja provedena za utvrđivanje potrebne duljine izolatorskog lanca i tipova izolatora. Posebno je ispitivana zagađenost izolatora, kao i utjecaj snijega, leda i magle na izolaciju. U Americi su ispitivani nekera-mički izolatori. Takvi izolatori nakon 5 godina pogona nisu pokazali promjenu od erozije niti promjenu mehaničkih svojstava. U SSSR-u pravljene su pokusi na lancima duljine 7 do 8 m sa staklenim i polimer-nim izolatorima s oblogom od silikona, vlažnim i zagađenim. Pokazalo se da je podnosiv napon izolatora od polimetara 20 do 30% viši nego kod staklenih izolatora.

Za naponske nivoe 1 000 do 1 200 kV duljine izolatorskih lanaca kreću se od 7 do 8 m.

Zračni razmaci faza-zemlja i faza-faza bitni su za dimenzioniranje stupova, pa su se u vezi s time provodila mnoga istraživanja u laboratoriju i na otvorenom. Utjecaj čvrstoće zračnih iskrišta posebno je ispitivan u Italiji, Meksiku i Južnoafričkoj Republici, gdje će trebati graditi UVN-vodove na nadmorskim visinama do 1 500 m. Odabrani zračni razmaci u pojedinim zemljama navedeni su u tablici 3.

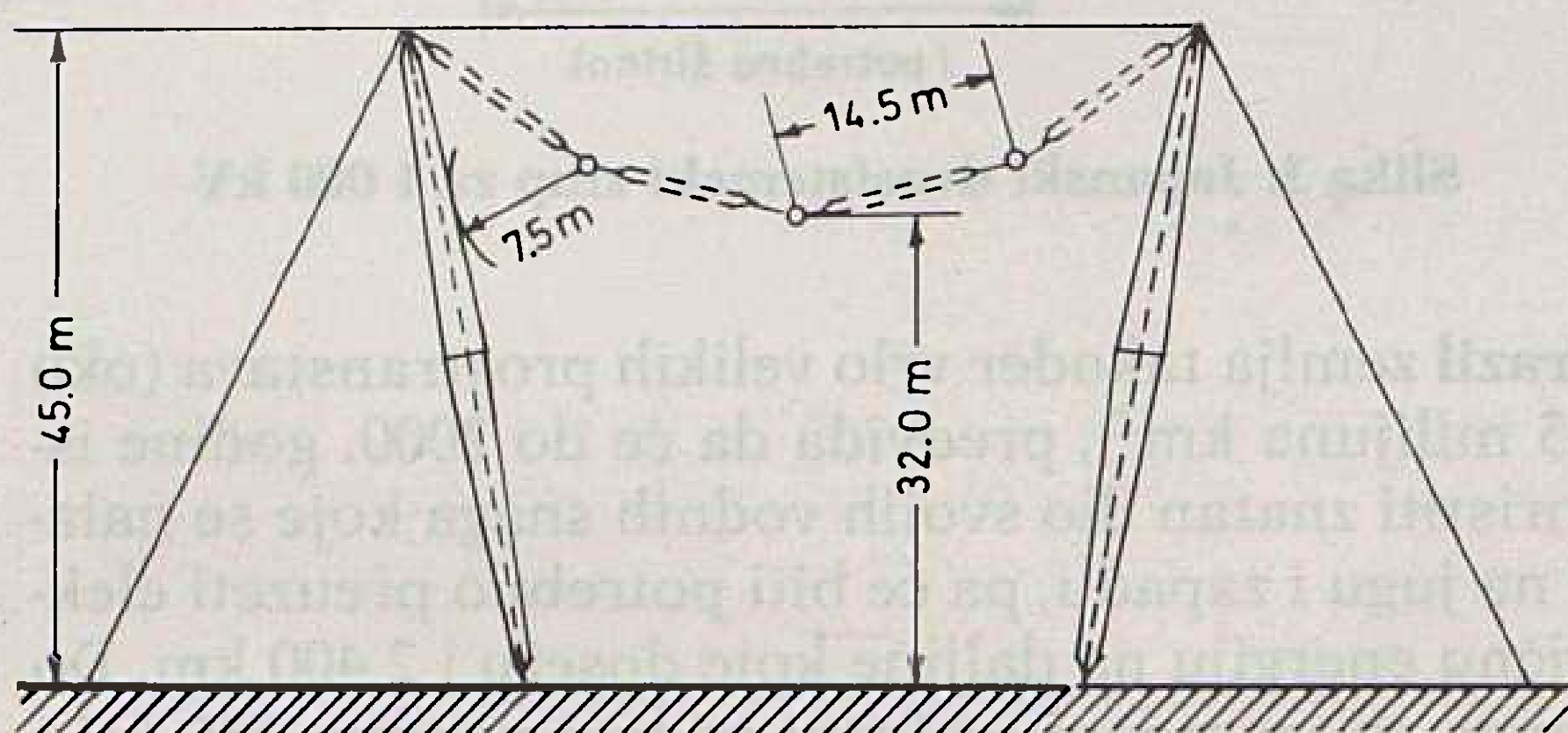
U mnogim su zemljama svijeta, kako je istaknuto, provedena opsežna istraživanja radi ostvarenja mreže UV-napona, pa su ovdje iznesena ona najznačajnija.

**Italija** nije toliko prostrana zemlja da bi se moglo govoriti o velikim daljinama prijenosa, no predviđaju se ipak znatne snage za prijenos u zemlji, ali i izvoz, pa se razvija UVN od 1 050 kV. Ispitivanja koja su započela 1971. izgradnjom ispitne stanice u Suveretu (Toskana) već su pri završetku. Upravo je u gradnji pilotsko postrojenje 1 050 kV koje će biti u pogonu 1990. U Suveretu će se izgraditi transformatorska stanica 420/1 050 kV snage  $3 \times 400$  MVA. U prvoj eta-pi napajat će vod duljine 20 km, bez opterećenja. Zatim će se linija produljiti na 45 km, izgradit će se i

Tablica 3. Osnovne karakteristike UVN uređaja u različitim zemljama

	Italija	Japan	SAD-AEP	SAD-BPA	SSSR
Najviše pog. napon kV	1 050	1 100	1 800	1 200	1 200
Pogonsko područje kV	950–1 050	1 000–1 100	1 500–1 800	1 100–1 200	1 100–1 200
Prijenosna snaga MW	3 000–5 000	5 000–13 000	...	5 000–8 000	5 000
Struja kratkog spoja kA	63	50	40–63	25–40	40
Snaga transformatora MVA	3 × 400 3 × 800	3 × 1 000	3 × 1 000	3 × 1 000 (3 × 1 500)	3 × 667
Vodiči dalekovoda	8 × 31,5 mm Alč 4 × 56,25 mm Alč	8 × 38,4 mm Alč 8 × 34,2 mm Alč	...	9 × 42,4 mm	8 × 24,1 mm AS-330
Razmak faza-zemlja m	7	6,5	10,7	8,8	8
Razmak faza-faza m	14–15	21	23,8	22	22,8–24,2
Izol. lanac min. m	7,8	8	13	5,8	9

druga transformatorska stanica 1 050/420 kV pa će cijeli sistem 1 050 kV raditi paralelno sa sistemom 400 kV. Ovakvom uspješnom završetku prethodio je dugogodišnji sustavni rad. Od 1971. do 1976. provodila su se fundamentalna istraživanja, dijelom u Suveretu, a dijelom u drugim područjima Italije. Na nekoliko je mjesta ispitivano zagađivanje izolatora, a u stanici Coltano ispitivane su mehaničke vibracije zbog vjetrova. Na dvije točke u srednjoj Italiji izgrađene su stanice za ispitivanje atmosferskih pražnjenja, a mnogo je korišten visokonaponski laboratorij CE-SI u Milanu. U Suveretu je 1977. stavljen pod napon pokusni trofazni vod duljine 1 010 m. Vod je napajan pomoću dvaju transformatora 800 kV koji se mogu vezati u kaskadu. Za ispitivanje efekta korone izgrađena je posebna linija. Daljnji je rad bio posvećen konstrukciji postrojenja 1 050 kV. Talijani su dali velik publicitet ovim istraživanjima (brošure, filmovi) na zasjedanjima CIGRE u Parizu već 1978. i 1980. Sistem stupa koji je razvijen za UVN vodove u Italiji prikazuje sl. 1.



Slika 1. Talijanski stup za vod 1 050 kV

Treba još napomenuti da su u stanici Suvereto ispitivani i kabeli najviših napona. U razdoblju 1981. do 1986. ispitivan je visokotlačni uljni kabel 1 100 kV, dug 200 m. Kabel je imao dva sistema hlađenja: vanjski vodeni i unutarnji uljni. Ispitivanja su bila uspješna, a zaključeno je da kabel može biti normalno opterećen sa 3 000 MVA, a izvanredno sa 8 000 MVA. Sekcija od 500 m bit će korištena za povezivanje raslopnog SF<sub>6</sub> postrojenja s nadzemnim vodom.

U Sjedinjenim Američkim Državama formirale su se dvije jake istraživačke grupe koje su radile na realizaciji postrojenja UVN.

Istraživačka grupa AEP (American Electric Power Co), OBC (Ohio Brass Co) iz SAD i švedska tvrdka ASEA osnovana je 1969. sa zadatkom da ispita koji je najviši naponski sistem moguć s teorijskog i praktičnog gledišta, i da omogući njegovu primjenu. Zadatak uključuje razvoj opreme za odabrani napon ili napone.

ASEA se prije svega bavila teorijskim radom i razvojem opreme, a ispitivanja prilika u mreži obavljala su se u ispitnoj stanici AEP. Ta je korporacija već 1972. imala razvijenu mrežu 765 kV (1760 km). U toku rada istraživačkoj su se grupi pridružili IREQ (Laboratory of Quebec Hydro, Canada) i CGE (Compagnie Generale d'Électricité, France).

U prvoj su se etapi provodila fundamentalna istraživanja u području čvrste izolacije, probojne čvrstoće zraka, prenapona, efekta korone i osnovne studije visokonaponskih aparata. Posebne su studije bile posvećene razvoju transformatora. Ova je etapa uspješno završena već 1971.

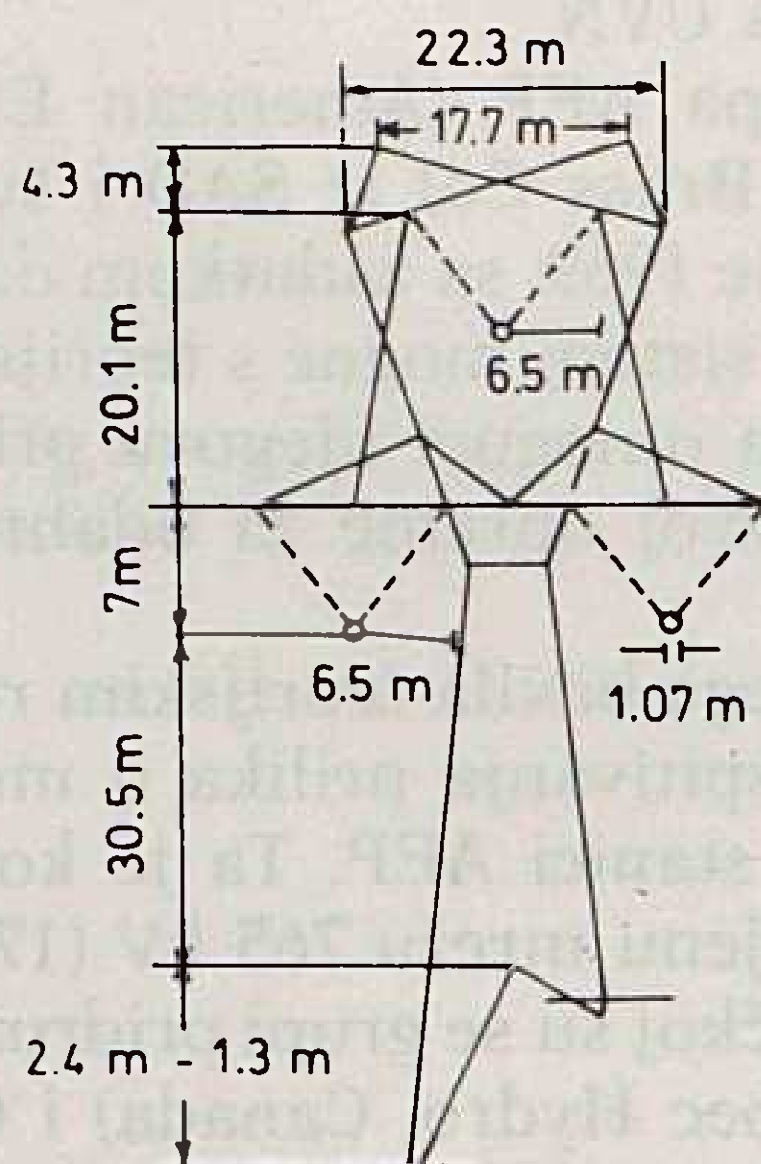
U drugoj je etapi rješavan problem praktične konstrukcije. Sagrađena je pokusna linija, gdje je studiran oblik stupa i vrsta izolatora. Tvornica ASEA izgradila je jednofaznu transformatorsku jedinicu 333 MVA naponskog odnosa  $1\,500/\sqrt{3}/765\sqrt{3}/420/\sqrt{3}$  kV za potrebe ispitivanja materijala.

Sredinom 1976. proradila je ispitna stanica Dumont (SAD-Ohio) vezana na mrežu 765 kV kompanije AEP. Ugrađena je transformacija  $1\,785/\sqrt{3}/835\sqrt{3}/420/\sqrt{3}$  kV snage 333 MVA s mogućnosti ispitivanja do 1 800 kV.

Dobivena su osnovna znanja za razvoj reaktora i opreme do napona 1 800 kV, a također transformatora i oklopljenih postrojenja, da se može prići realizaciji, no koju AEP ne predviđa prije 2000. godine. Druga je američka značajna istraživačka grupa BPA (Bonneville Power Administration) u zajednici sa Electric Research Council i Edison Electric Institute. Istraživanja su usmjerena na uvođenje napona 1 200 kV na

teritoriju BPA u sjevernom dijelu SAD. Električna energija iz velikih termoelektrana u Wyominga i Montani prenosila bi se brdovitim predjelom (Cascade Mountains) prema obali Pacifika. Danas se, međutim, smatra da ovaj napon neće biti potreban najmanje još 20 godina, jer je porast potrošnje mnogo manji nego što se svojedobno predviđalo. Na početku bi se prenosila snaga od 4 000 MW s predviđenim porastom od 8 000 MW. Vod bi se eventualno izgradio i prije ako se pokaže potreba smanjenja gubitaka prijenosa.

Za potrebe istraživanja izgrađene su dvije linije — trofazna duljine 2,2 km za električna ispitivanja i 1,2 km za mehanička ispitivanja. Trofazna linija, nedaleko od Salema (Oregon), napajana je preko tri jednofazna transformatora od 50 MVA, prijenosnog je odnosa 230/1 100–1 250 kV, a puštena je u pogon 1978. Druga pak ispitna linija od 5 raspona građena je u blizini mjesta Moro u brdima, kako bi se mogli ispitivati utjecaji leda i vjetera, a posebno ponašanje snopova vodiča. Stup prema projektu BPA prikazuje sl. 2.



Slika 2. Stup prema projektu BPA za 1 200 kV

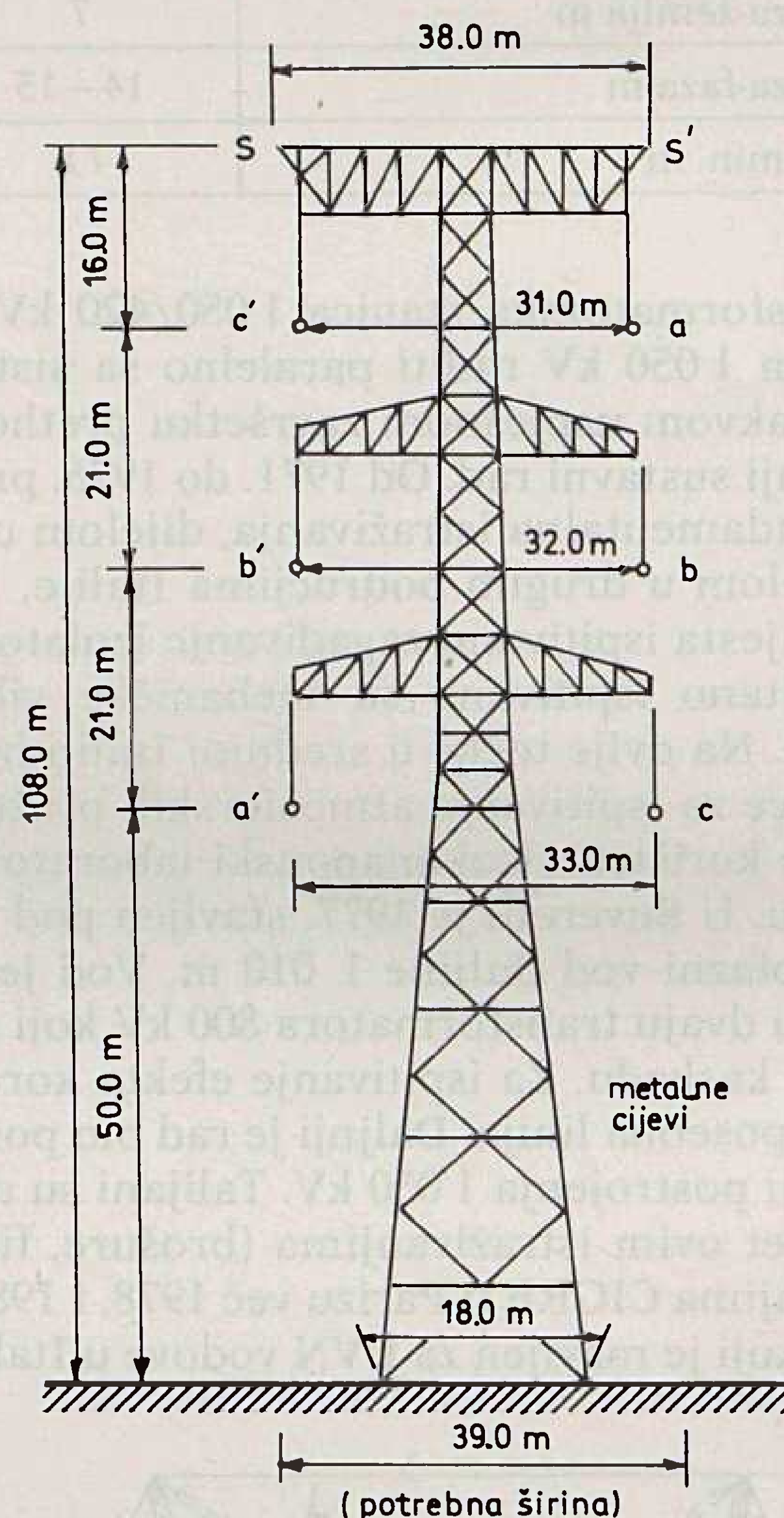
S programom BPA bila su koordinirana i istraživanja koje je financiralo Ministarstvo energetike SAD. Prema tom programu radilo se na razvoju oklopnih postrojenja, transformatora, reaktora i prekidača do 48 kA.

**Sovjetski Savez** kao najveća zemlja na svijetu (22,4 milijuna km<sup>2</sup>) svakako je jedna od najzainteresiranijih za velike prijenose. U provedbi istraživanja bitno je naglašen problem daljine prijenosa, što je u ostalim zemljama stavljeno u drugi plan. Gledajući u budućnost, sovjetski su elektroenergetičari uvijek imali viziju jedinstvenoga elektroenergetskog sistema zemlje, pa je i razvoj UVN-linija promatran u tom svjetlu. Istraživanja u SSSR- provodilo je više istraživačkih i projektnih organizacija. Kao najpogodniji superponirani napon iznad 765 kV izabran je nazivni napon 1 150 kV ili najviši pogonski 1 200 kV. Sovjetska eksperimentalna stanica 1 200 kV izgrađena je uz stanicu 500 kV Beli Rast kraj Moskve. Tamo su vršena i prethodna istraživanja za realizaciju na naponskom nivou 765 kV.

Konačan rezultat svih ovih nastojanja u SSSR-u jest puštanje u pogon prve u svijetu prijenosne linije

1 200 kV, o kojoj je bilo riječi na početku ovog napisa. To je dionica budućeg voda Kazahstan-Ural duljine 2 500 km, koji je u gradnji.

U **Japanu** je 1984. najavilo elektroprivredno poduzeće TEPCO (Tokyo Electric Power Co.) gradnju dvosruke linije 1 000 kV, koja bi trebala biti u pogonu 1992, prethodno pod 500 kV. Linija je bila dionica budućeg transportnog puta od 250 km gdje će se prenositi energija iz nuklearne elektrane na Japanskom moru prema jugozapadu u mrežu 500 kV. Prijelaz na 1 000 kV uslijedio bi u prvom desetljeću sljedećeg stoljeća. Zamišljenu siluetu japanskog stupa za 2 trojke napona 1 000 kV prikazuje sl. 3.

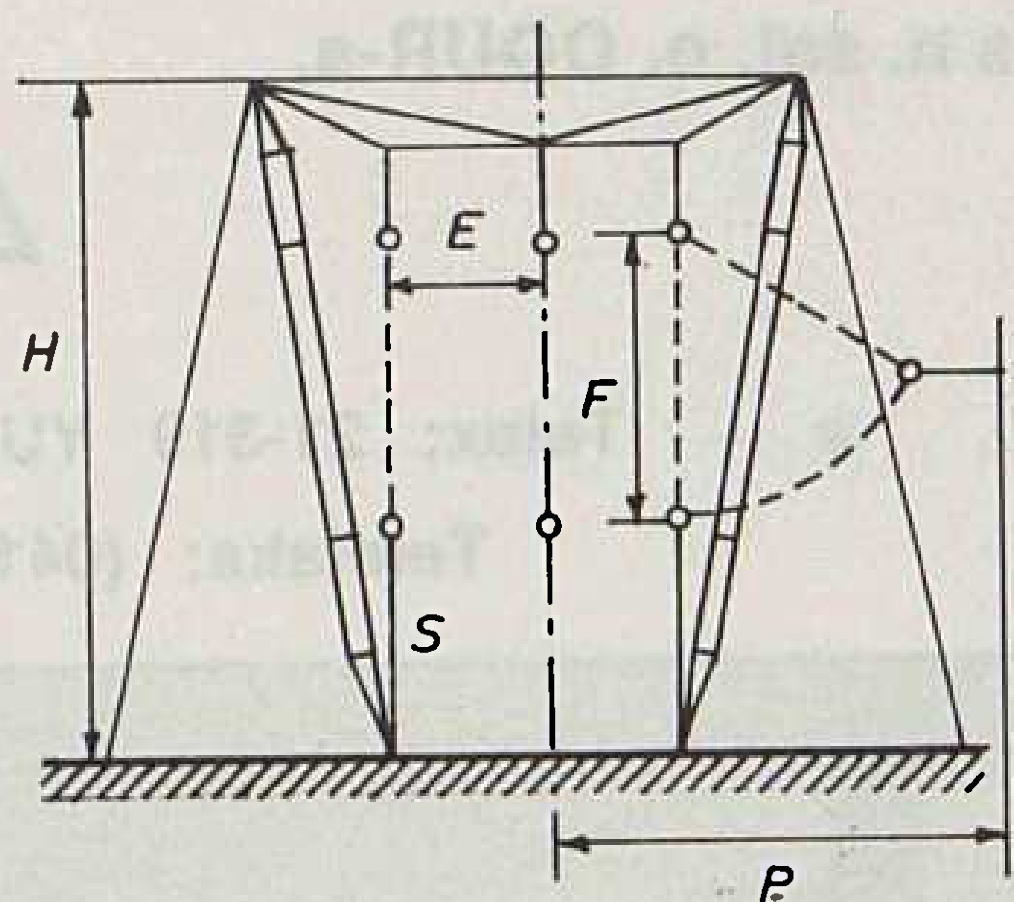


Slika 3. Japanski dvosistemski stup za 1 000 kV

**Brazil** zemlja također vrlo velikih prostranstava (oko 8,5 milijuna km<sup>2</sup>), predviđa da će do 2000. godine iskoristiti znatan dio svojih vodnih snaga koje se nalazi na jugu i zapadu, pa će biti potrebno preuzeti električnu energiju na daljine koje dosežu i 2 400 km. Do danas su izgrađeni trofazni vodovi napona 765 kV i istosmjerni prijenosni vod  $\pm 600$  kV, što je zasada najviši istosmjerni napon na svijetu. Mreža tih napona izgrađivat će se i nadalje, ali će biti potreban i UVN, vjerojatno 1 050 kV, koji se razvija u Italiji. Neke su specifična ispitivanja provedena i u Brazilu. Izgrađena je komora za ispitivanje pod umjetnom maglom, kao i eksperimentalni vod duljine 300 m. Kavez za ispitivanje korone montirat će se naknadno.

Siluetu stupa za predviđeni vod UVN prikazuje sl. 4. ( $H = 50,9$  m  $E = 15,0$  m,  $S = 17,0$  m,  $P = 42,0$  m).





Slika 4. Brazilski stup za vod UVN

**Kina**, zemlja površine 9,5 milijuna km<sup>2</sup>, ima konzumne centre u središnjem dijelu i na jugoistočnoj obali, dok su rezerve ugljena na sjeveru, a vodne snage pretežno na zapadu. Danas je u Kini najviši trofazni prijenosni napon 500 kV, a pred završetkom je istosmjerni prijenosni vod  $\pm 500$  kV, dug oko 1 000 km. U toj je zemlji u budućnosti svakako potreban UVN, pa Kina izvodi odgovarajuće pripreme već nekoliko godina. Treba spomenuti dvije glavne ispitne stanice. U vanjskoj ispitnoj stanici WHVRI (Istraživački institut za visoke napone u Whumanu), koja zauzima površinu 450 × 120 m, instaliran je udarni generator 5,4 MV, 530 kJ i kaskadni transformator 3 × 750 kV. Na maketi stupa izvode se ispitivanja izolacije. Drugi je uređaj, EPRI (Elektroenergetski istraživački institut) s impulsnim generatorom 6 MV, 300 kJ. Treba istaknuti ispitivanja o utjecaju gustoće i vlažnosti zraka na probojnu čvrstoću udarnih napona dugog trajanja.

**Indija** također predviđa da će joj biti potreban UVN, pa gradi kraj Bagalore ispitnu stanicu 1 200 kV. Stanica će imati udarni generator od 5 MV, 750 kJ, kaskadni transformator 1 500 kV, 6 A i eksperimentalni vod duljine 800 m s vodičima u snopu. Predviđen je također i laboratorij velike snage.

**Meksiko** gradi ispitnu stanicu otvorenog tipa UVN kod mjesta Irapuata. Montiran je udarni generator 5 MV i kaskadni transformator 1 500 kV, struje do 1 A. Preliminarna ispitivanja obuhvatila su utjecaj rijetkog zraka (na velikim visinama) na fiziku procesa proboja velikih zračnih iskrišta.

U **Kanadi** se laboratorij IREQ naročito bavio istosmjernim visokonaponskim ispitivanjima. Laboratorij posjeduje istosmjerni visokonaponski generator  $\pm 600$  kV, 3 A u trajanju od 3 sekunde. Među ostalim

razvijena je tehnika mjerenja razdiobe napona duž izolatorskog lanca. Osim toga rješavaju se kritični problemi usmjerivačkih istosmjernih stanica.

U **Južnoafričkoj Republici** nedavno je završen uređaj za visokonaponska ispitivanja. U planu su dielektrična ispitivanja i pojave efekta korone. Izvode se studije utjecaja gustoće i vlažnosti zraka, efekt požara ispod voda, kao i problem rada pod naponom.

#### LITERATURA

- [1] Rapports CIGRE Session 1984, 86, 88.
- [2] MARKOVČIĆ B., dipl. inž.: Prijenos vrlo visokim trofaznim naponima, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1981.

#### THE HIGHEST TRANSMISSION VOLTAGES To-DAY

In the article is discussed a development of the highest voltage networks in the world and a review of prospects.

#### DIE HÖCHSTEN ÜBERTRAGUNGSSPANNUNGEN HEUTE

Hier wird die Entwicklung der höchsten Spannungen weltweit beschrieben sowie die Ansichten über die zukünftige entwicklung.

#### НЫНЕШНИЕ САМЫЕ ВЫСОКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Описывается развитие сетей самого высокого напряжения в мире, а также взгляды на предстоящий рост напряжений

Naslov pisca:

**Boris Markovčić, dipl. inž.**  
41000 Zagreb, Vojnovićeva 26  
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:  
1989-06-22

# TPK

INDUSTRIJA TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA,  
PROCESNE OPREME I KOTLOVA s n. sol. o. OOUR-a,  
ZAGREB



Telefon: (041) 235-666

\*

Telegram: TEPEKA — Zagreb

\*

Telex: 21-319 YU TPK ZG

Telefaks: (041) 222-062

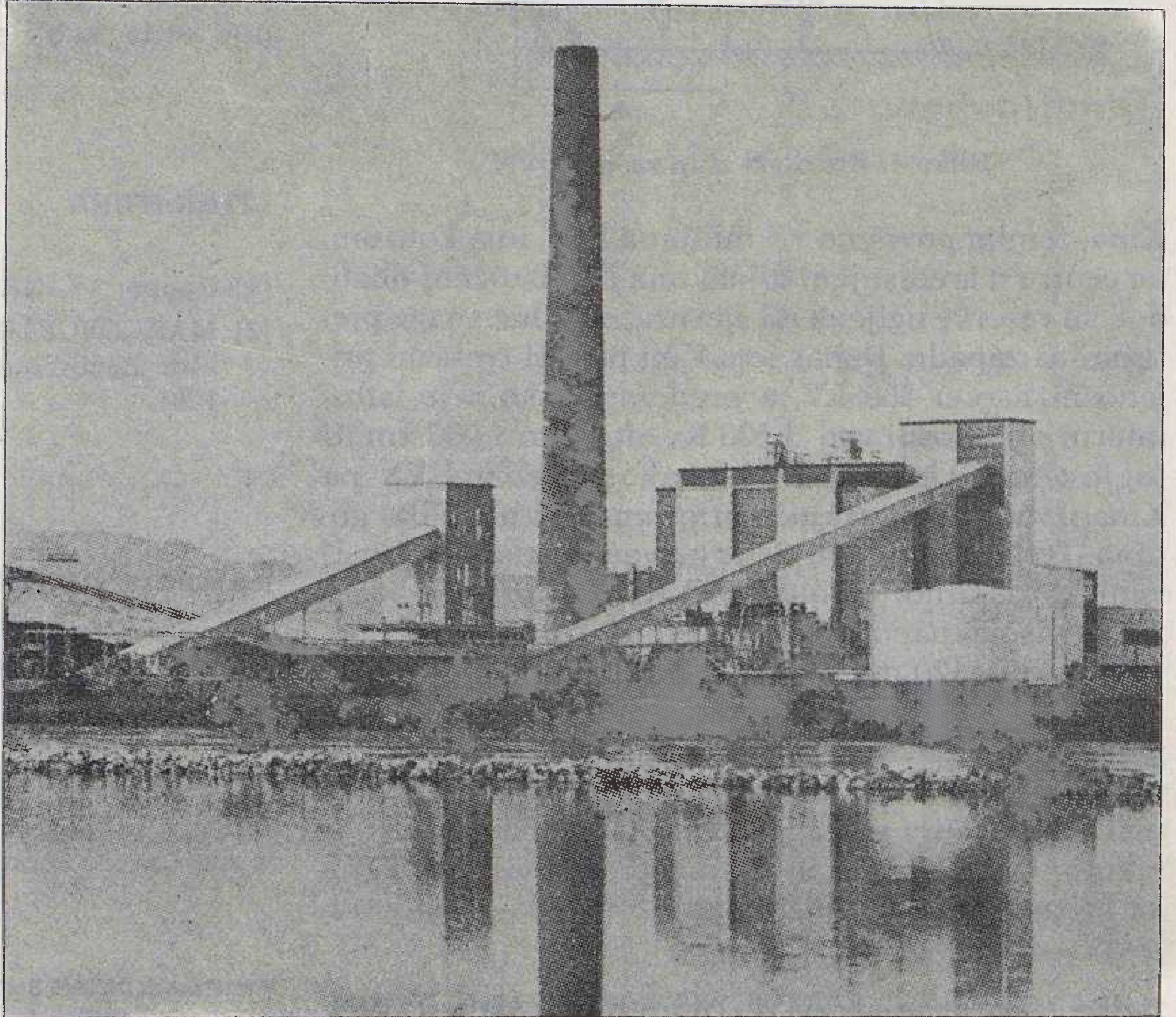
## Projektira

## 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 pipce • 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

# PRAĆENJE POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE I VRŠNE SNAGE U ŽELJEZARI JESENICE

Aleš Soklič, Jesenice

UDK 621.3:338  
PREGLEDNI RAD

Racionalno postupanje s energijom u industrijskoj energetici mora biti permanentna aktivnost koja zaokuplja nadzor upotrebe energije i uključivanje mjera za njezinu racionalnu upotrebu po odgovarajućem prioritetu s obzirom na raspoloživi kapital

**Ključne riječi:** vršna snaga, feromangan, Spiegelstahl, visoka peć, elektrolučna peć, dinamična kompenzacija jalove snage.

## 1. UVOD

Između svih metala koje upotrebljava čovječanstvo željezo i čelik su najznačajniji. Željezarstvo je veoma kompleksna industrijska grana. Željezara Jesenice, s pogonima na Javorniku i Koruškoj Beli, leži u području gdje su naši preci još u rimskim vremenima proizvodili poznati noriški čelik. Iz malih visokih peći u Karavankama od Savskih jama do Tržiča i s udruživanjem fužinarskih pogona od Bohinja do Radovljice, nastala je godine 1869. Kranjska industrijska družba (Krainische Industrie Gesellschaft), koja je poslije drugoga svjetskog rata, 1946, prerasla u Željezaru Jesenice.

Historija željezarstva u Jesenicama pamti kao značajan događaj proizvodnju feromangana u visokoj peći na Javorniku. Kranjska industrijska družba izlagala je 1873. svoje proizvode na izložbi u poznatoj Rotundi u Beču. Taj proizvod — feromangan — pobudio je veliku pažnju jer je sadržavao 37 do 40% mangana. To je bilo čak i više nego najbolji švedski feromangan (Spiegelstahl) sa 17 do najviše 20% mangana. Naš feromangan, osim visokog postotka mangana, poznat je i po tome što je bio izrađen u visokoj peći (plavžu), što je tada bio tehnološki fenomen. Feromangan se tada obično dobivao samo u toplioničkim loncima u malim količinama. S tom izložbom bio je otvoren put u svijet, u sam svjetski vrh tehnologije dobivanja čelika. Danas je naša dužnost da ove stare tradicije željezarstva u našoj dolini razvijamo dalje svojim radom i znanjem.

Čelik ima veoma jaku konkurenciju u aluminiju, ali njegovo uključivanje u tržište ograničuju velika ulaganja u proizvodnu opremu i velika potrošnja energije. Zato je čelik u konkurenciji s ostalim metalima zadržao primat s obzirom na količinu i cijenu.

## 2. ELEKTROENERGETSKI SISTEM ŽELJEZARE JESENICE

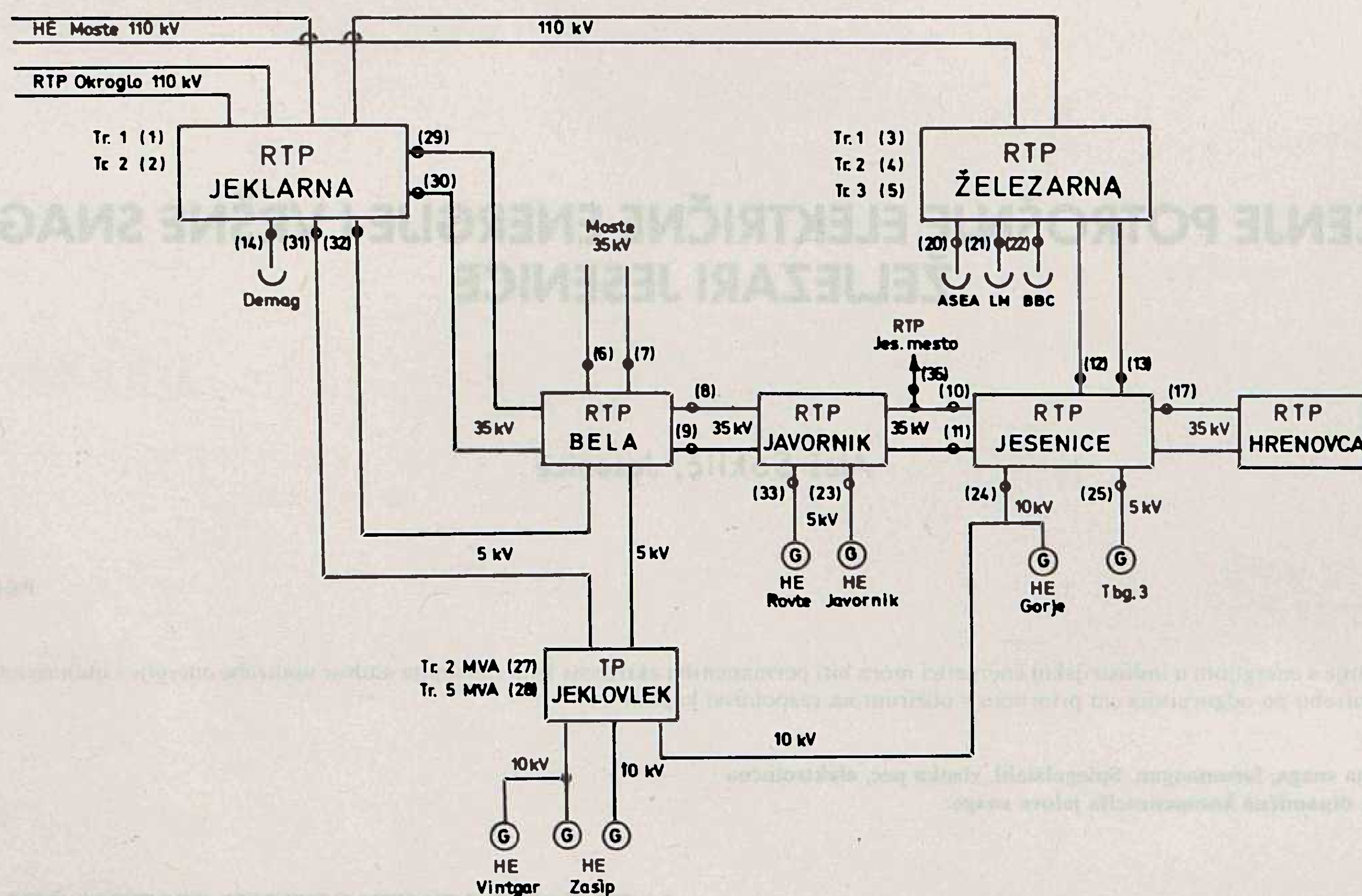
Željezara Jesenice ubraja se u grupu velikih potrošača električne energije u SR Sloveniji. Ukupna godišnja potrošnja iznosi oko 550 GWh, od čega se oko 10% proizvede u vlastitim elektranama. Te elektrane su manjih snaga. Neke od njih stare su više od 80 godina, ali još danas rade punom kapacitetom. Svi ti objekti popunjeni su posadom, ali u planu je njihova revitalizacija uvođenjem automatike i daljinskog upravljanja. Jasno je da to uglavnom zavisi o novcu kojim će se raspolagati, jer bez toga nema ni automatizacije ni daljinskog upravljanja.

Najvažniji potrošači električne energije u Željezari Jesenice jesu elektrolučne peći za proizvodnju čelika. One utroše 60% cjelokupne potrošnje električne energije u Željezari Jesenice. U početku 1988. godine bila je ukinuta posljednja Siemens-Martinova peć i posljednja visoka peć. Zagađivanja okoline u Jesenicama više nema, a potrošnja energije se smanjila (nema više koksa i mazuta).

Željezara Jesenice ima četiri elektrolučne peći:

- Demag Mannesman, kapaciteta 100 tona, snage transformatora 60 MVA
- Asea, kapaciteta 60 tona, snage napojnog transformatora 18 MVA
- Lectromelt, kapaciteta 60 tona, snage napojnog transformatora 18 MVA
- BBC, kapaciteta 8 tona, snage napojnog transformatora 2 MVA.

Te elektrolučne peći i ostali pogoni, naprimjer vruće i hladne valjaonice limova, žice, profila i slično, napajaju se iz četiri dalekovoda 110 kV (vidjeti sl. 1) preko 6 RTP (trafostanica za napajanje pojedinih područja). Kompletna mreža odnosno elektroenergetski sistem ima oblik prstena, tako da u slučaju kvara nekog dalekovoda ili kabelovoda postoje velike mogućnosti prenapajanja iz drugih RTP. Na slici



Slika 1. Pojednostavljena shema elektroenergetskog sistema Željezare Jesenice s ucrtanim mjernim točkama

1. vide se također vlastite elektrane kod kojih instalirana snaga svih agregata iznosi oko 17 MVA. U planu je izgradnja još jedne hidroelektrane snage 4 MVA i jedne termoelektrane-toplane snage 20 MVA.

U sklop elektroenergetskih objekata Željezare Jesenice ubraja se također i 35 kV dinamična kompenzacija snage 90 MVA i još neke 5 kV statičke kompenzacije manjih snaga. Elektrolučna peć Demag u novoj čeličani kao svaka peć ovakvih dimenzija predstavlja veoma neugodno opterećenje za elektroenergetski sistem. Zbog nestabilnosti električnog luka za vrijeme taljenja dolazi do velike asimetrije između faznih struja. Te asimetrije i oscilacije faznih struja vode do oscilacije jalovih snaga, što je uzrok oscilacije napona. Zbog tih neugodnosti bilo je nužno da se sagradi dobra i kvalitetna kompenzacija, o kojoj će se nešto više govoriti kasnije. Rezultat uključivanja svih tih kompenzacionih objekata u elektroenergetski sistem Željezare Jesenice jest taj da smo za godinu dana postigli poboljšanje prosječnog mjesečnog faktora snage od  $\cos \varphi = 0,889$  do  $\cos \varphi = 0,976$  (u travnju ove godine).

Samo kao informaciju treba napomenuti da smo u travnju ove godine u vlastitim kompenzacijskih objektima i sa sinhronim generatorima u vlastitim elektranama proizveli oko 54% sve potrebne jalove snage.

### 3. ANALIZA POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Sistem praćenja potrošnje električne energije i vršne snage u Željezari Jesenice bio je nadgrađivan u sljedećim logičkim koracima:

- analiza potrošnje
- ugradnja odgovarajućeg mjernog sistema
- ugradnja računala za praćenje.

Energetska analiza uvijek treba da je prvi korak kod dugoročnih mjera za racionalnu potrošnju energije. Na osnovi mjerenja i odgovarajućih proračuna izrade se energetske bilance, ustanove se zavisnosti potrošnje materijala od utjecajnih faktora, odrede se gubici energije, karakteristični parametri i tako dalje. Pomoću energetske analize, povezane s mjerenjem, identificiramo energetska loša mjesta i odredimo sve moguće potencijale štednje, što treba da bude polazište za kreiranje odgovarajućeg koncepta opskrbe energijom i za kreiranje mjera štednje.

Prvu analizu potrošnje električne energije u Željezari Jesenice izveli smo već u 1982. godini radi proračuna protoka snage između čvorišta u SR Sloveniji. Osim toga analiza sadrži i kontrolu raspodjele potrošnje (Gauss) s obzirom na režim rada elektrolučnih peći. Ti rezultati bili su upotrebljivi za daljni rad na tom području.

U toku gradnje nove čeličane 1985. i 1986. godine trebalo je rezultate te analize ažurirati zbog uključivanja nove elektrolučne peći Demag u elektroenergetski sistem. Tu analizu izradili smo zajedno s američkom tvrtkom Process Corporation. Rezultati ove analize bili su platforma na kojoj je bilo moguće izgraditi čitav sistem praćenja potrošnje električne energije i vršne snage u Željezari Jesenice.

### 4. MJERNI SISTEM

Nužan uvjet za uspješno optimalno praćenje potrošnje energije, uz analizu jest i kvalitetan mjerni sis-

tem. Mjerna tehnika na koju se često dovoljno ne misli, u privredi je značajan parametar pri izradi novih proizvoda. Više puta se sakriva u tehničkim karakteristikama proizvoda, energije, okoline, prometa, veza; također u trenutnoj i stalnoj kvaliteti uklanjanju grešaka i tako dalje. Kvantitativno definiranje proizvodnje dovoljno se jasno vidi i u društvenim planovima, dok za prikaz tehnike mjerenja u proizvodnji nemamo praktičnih mogućnosti prezentacije. Kvalitetna tehnika mjerenja odraz je vrhunske tehnologije na određenom stupnju razvoja društva. Nova tehnologija donosi osim stručnih promjena i ekonomske, socijalne, ekološke, kadrovske i druge promjene u društvu, koje teži većoj produktivnosti i većoj kvaliteti proizvoda. S gledišta tehnike mjerenja u tom smislu treba u proizvodnji povećati broj mjernih mjesta, povećati zahtjeve u pogledu točnosti i pouzdanosti mjerenja i povećati zahtjeve u karakteristikama strategije mjerenja.

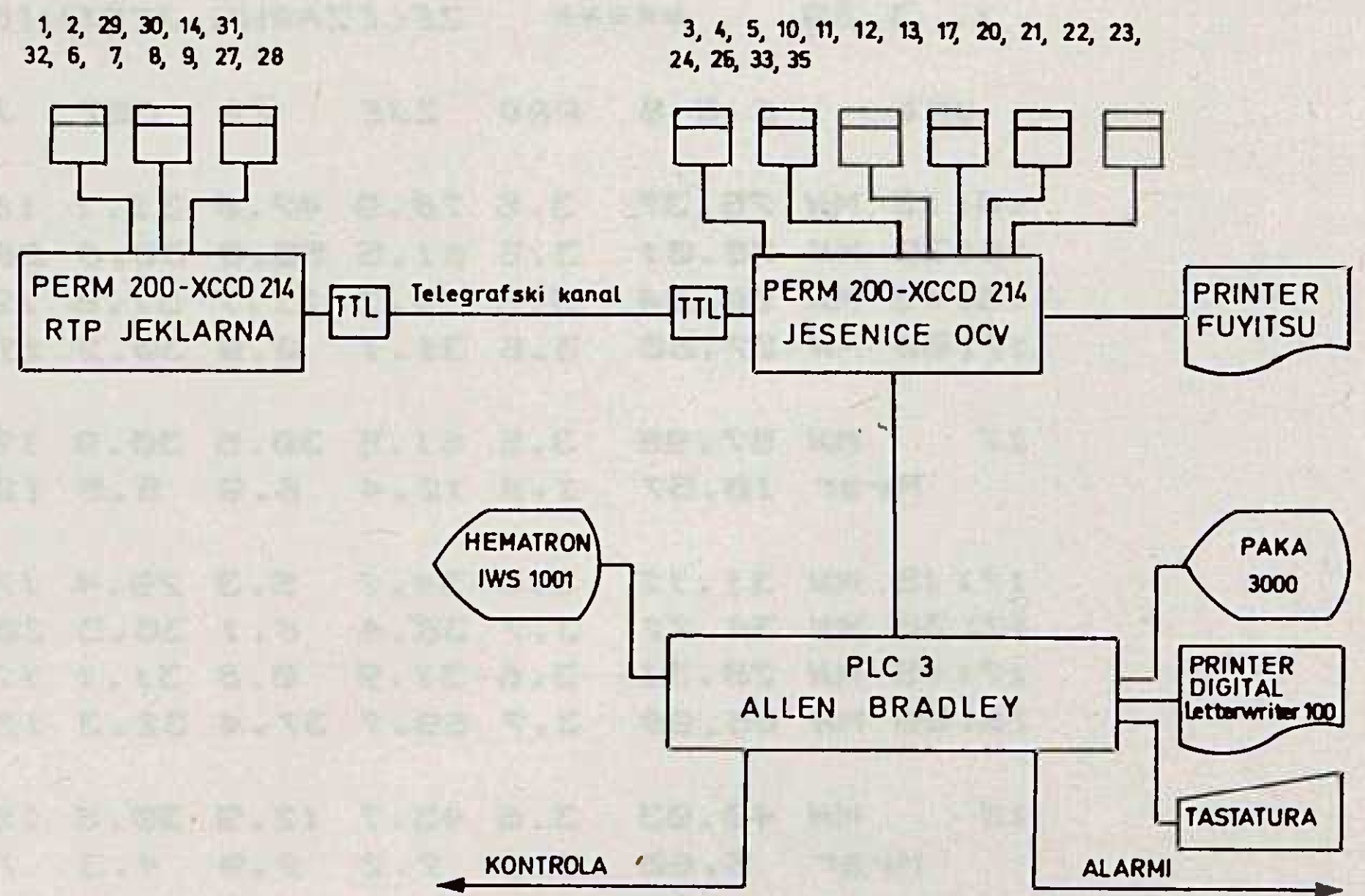
Današnja automatizirana proizvodnja karakteristična je po velikom broju podataka, brzom realizaciji logičkih i aritmetičkih funkcija i po realizaciji inteligentnih elektronskih sistema bez direktnog uključivanja čovjeka. S obzirom na te činjenice vide se sljedeće tendencije razvoja:

- hijerarhična i distributivna struktura mjernih i automatiziranih sistema
- interaktivna komunikacija između čovjeka i procesora
- unificirane modulne konstrukcije opreme sa standardiziranim adapterima
- decentralizirani mjerni sistemi s više mikroprocesora, koji su fleksibilni, pouzdani, funkcionalni i jeftini u radu.

Distribuirani mjerni sistemi najviše se upotrebljavaju u kontinuiranim industrijskim procesima, na primjer u kemijskoj, bazičnoj, metalurškoj industriji i u ostalim granama privrede. Zato se u sklopu novije instrumentacije uvijek nalazi i mikroprocesor. Takvi instrumenti su kvalitetniji od klasičnih uglavnom zbog bolje obradene mjerne informatike, iako od kronika traže i investicijska ulaganja i odgovarajuće školovanje kadrova.

Sistem mjerenja potrošnje električne energije u Željezari Jesenice vidi se na slici 1, gdje su dana mjerna mjesta koje znače impulsna brojila radne i jalove snage. Jednopolna shema na slici 1. veoma je pojednostavljena zbog preglednosti. Impulsna brojila stavljena su i u dovodima većih potrošača (valjaonice) koji nisu na jednopolnoj shemi na slici 1. Slika 2. prikazuje oba mikroprocesorska mjerna sistema ( $2 \times \text{PERM } 200 \times \text{CCD } 214$ ) s konfiguracijom kompletnog sistema mjerenja.

Svakih 15 minuta (ugovor sa EGS) printer ispisa rezultate mjerenja potrošnje električne energije u obliku tablice. Istovremeno se ti podaci upišu i u kasetu, koja je ugrađena u PERM. Poslije 24 sata PERM ispiše dnevni izvještaj, a na kraju mjeseca još i mjesečni izvještaj. Program mikroprocesora u PERM-u uvažava sve specifičnosti kalendara, na primjer različite dužine mjeseca, prijelaze na ljetno i zimsko vrijeme, prijestupne godine i slično. Zbog to-



Slika 2. Konfiguracija mjernog sistema

ga nije potrebna intervencija čovjeka u tim vremenskim prelazima u mjerni sistem. Ako slučajno dođe do nekih kvarova ili ispada pomoćnog napona, moguće su korekcije direktno na tastaturi PERM-a. Oblik tablice za ispisivanje rezultata mjerenja potrošnje električne energije (primjer) dan je na slici 3.

## 5. PRAĆENJE POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE I VRŠNE SNAGE

Jedna od veoma efikasnih mjera za smanjenje troškova energije jest automatsko praćenje energetskog sistema (pomoću računala). Zbog modularnosti konfiguracije suvremenih računarskih sistema postoji mogućnost uvođenja automatizacije u koracima. Takav način uvođenja automatizacije čak je i poželjan jer je cjelovita automatizacija previše složen zahvat i s obzirom na investicije i na organizaciju.

Kod automatizacije elektroenergetskog sistema pokušavamo uvijek postići varijantu, s najmanjim ulaganjima. Praktično iskustvo pokazuje da se u početku najviše isplati sistem za praćenje vršne snage s izbacivanjem potrošača iz pogona ili smanjenjem snage i odgovarajućim praćenjem vlastitih agregata za proizvodnju električne energije. Tada bi tek slijedio nadzor i praćenje opskrbe toplinskom energijom.

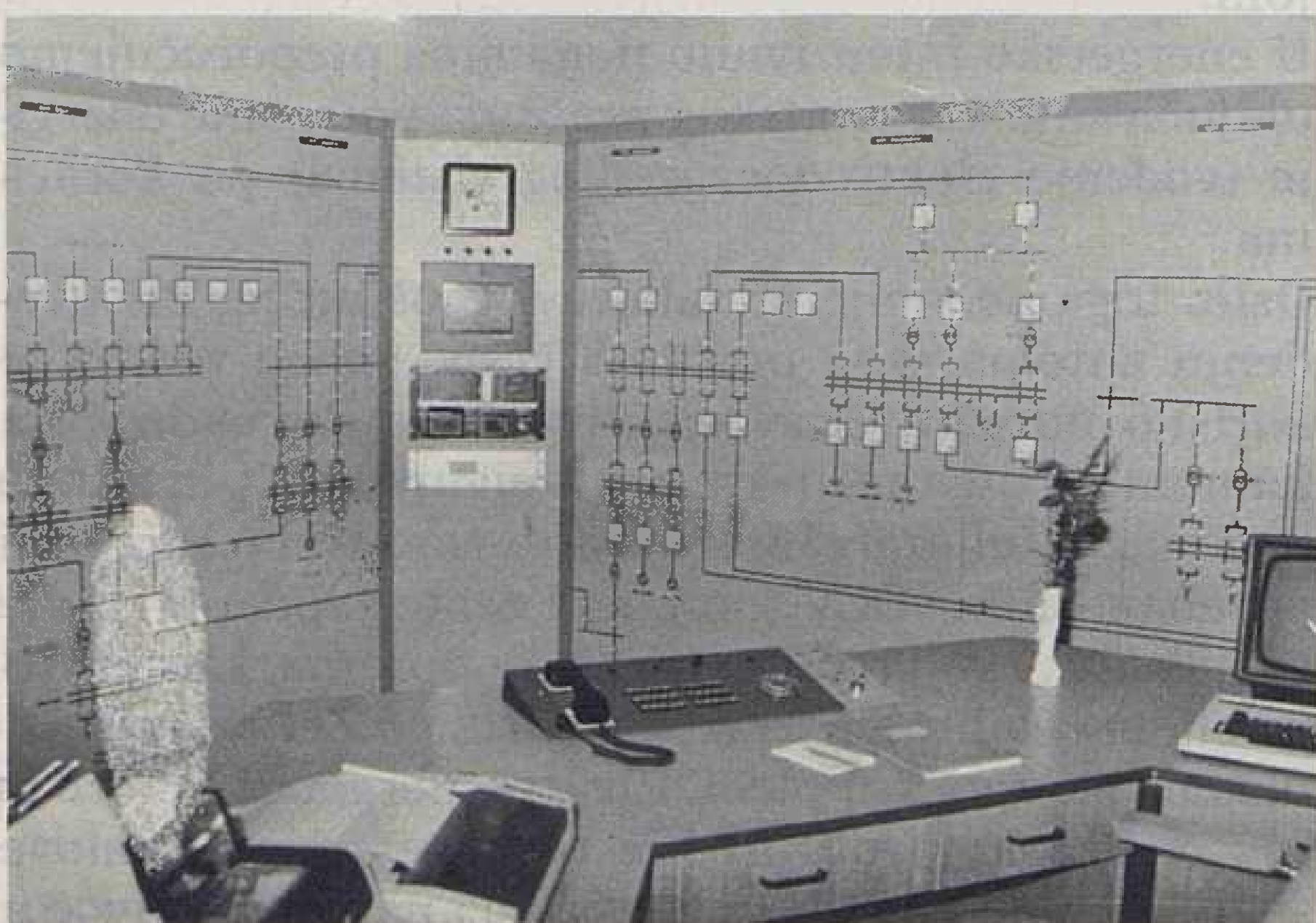
U energetsko intenzivnim pogonima preporučujemo uključivanje automatskog praćenja potrošnje energije (vođenje elektroenergetskog sistema) po koracima.

Osim toga ne smije se zaboraviti još nešto. Pri uvođenju automatskog praćenja vršne snage veoma je korisno udružiti čitav elektroenergetski nadzor na jednom kraju radi povećanja sigurnosti i kvalitete pogona. U Željezari Jesenice u tu smu svrhu sagradili poseban centar OCV (obmoćni center vodenja), gdje se nalazi sva mjerna i računarska oprema, kao i slijeпа shema elektroenergetskog sistema Željezare Jesenice na sinoptičkoj ploči. Elektroenergetičar može iz tog centra kontrolirati sve protoke radne i jalove snage između pojedinih RTP, kao i naponske nivoe u svim točkama elektroenergetskog sistema i jačine električne struje. Isto tako može se u OCV vidjeti rad

1. 3.89		***** ZELEZARNA JESENICE *****													
ura		EGS	PRO	ZJE	EP	OST	JES	JAV	BEL	JEK	JESP	JESO	JEKP	JEKO	
16:15	MW	75.37	3.5	78.9	47.8	31.1	18.7	0.0	0.0	60.2	5.7	13.0	42.1	18.1	
16:30	MW	78.01	3.5	81.5	50.8	30.8	28.4	0.0	0.0	53.2	15.5	12.9	35.3	17.9	
16:45	MW	50.84	3.5	54.3	22.7	31.6	19.4	0.0	0.0	34.9	6.5	12.9	16.2	18.0	
17:00	MW	27.60	3.5	31.1	0.9	30.2	12.9	0.0	0.0	18.2	0.0	12.9	0.8	17.3	
17	MW	57.95	3.5	61.5	30.5	30.9	19.8	0.0	0.0	41.6	6.9	12.9	23.6	18.0	
	Mvar	10.57	1.8	12.4	6.9	5.5	12.4	0.0	0.0	0.0	6.9	5.5	0.0	0.2	
17:15	MW	31.12	3.6	34.7	5.3	29.4	17.4	0.0	0.0	17.3	4.5	13.0	0.8	16.5	
17:30	MW	34.72	3.7	38.4	8.1	30.3	20.2	0.0	0.0	18.2	7.3	13.0	0.8	17.0	
17:45	MW	28.31	3.6	31.9	0.8	31.1	12.8	0.0	0.0	19.1	0.0	12.8	0.8	18.5	
18:00	MW	65.98	3.7	69.7	37.4	32.3	12.8	0.0	0.0	56.9	0.0	12.8	37.4	19.5	
18	MW	40.03	3.6	43.7	12.9	30.8	15.8	0.0	0.0	27.9	2.9	12.9	10.0	17.9	
	Mvar	5.60	1.6	7.2	2.9	4.3	7.2	0.0	0.0	0.0	2.9	4.3	0.0	0.0	
18:15	MW	61.29	3.7	65.0	32.1	32.9	13.3	0.0	0.0	51.7	0.0	13.3	32.1	19.0	
18:30	MW	57.97	3.6	61.6	27.7	33.9	13.7	0.0	0.0	47.9	0.0	13.7	27.7	20.2	
18:45	MW	39.83	3.7	43.5	9.2	34.4	13.8	0.0	0.0	29.7	0.0	13.8	9.2	20.9	
19:00	MW	43.21	3.7	46.9	12.8	34.2	25.3	0.0	0.0	21.6	12.0	13.4	0.8	20.6	
19	MW	50.57	3.7	54.3	20.4	33.8	16.5	0.0	0.0	37.7	3.0	13.5	17.5	20.0	
	Mvar	5.92	1.7	7.6	3.0	4.6	7.6	0.0	0.0	0.0	3.0	4.6	0.0	0.2	
19:15	MW	68.86	3.6	72.5	38.6	33.8	29.3	0.0	0.0	43.2	15.9	13.4	22.7	20.5	
19:30	MW	67.94	3.7	71.6	41.0	30.6	31.1	0.0	0.0	40.6	17.9	13.2	23.1	17.4	
19:45	MW	66.69	3.7	70.4	39.4	30.9	34.4	0.0	0.0	36.0	21.2	13.2	18.3	17.7	
20:00	MW	68.54	3.6	72.2	40.7	31.5	35.6	0.0	0.0	36.6	22.1	13.5	18.6	18.0	
20	MW	68.01	3.7	71.7	39.9	31.7	32.6	0.0	0.0	39.1	19.3	13.3	20.7	18.4	
	Mvar	22.78	2.2	25.0	19.3	5.7	25.0	0.0	0.0	0.0	19.3	5.7	0.0	0.0	
20:15	MW	77.74	3.7	81.4	50.5	30.9	37.6	0.0	0.0	43.8	24.3	13.3	26.2	17.7	
20:30	MW	79.93	3.7	83.6	51.4	32.1	39.3	0.0	0.0	44.3	26.4	12.9	25.0	19.0	
20:45	MW	79.21	3.7	82.9	50.7	32.2	34.6	0.0	0.0	48.2	21.9	12.7	28.8	19.5	
21:00	MW	58.08	3.7	61.8	29.6	32.2	19.6	0.0	0.0	42.2	7.2	12.4	22.4	19.5	
21	MW	73.74	3.7	77.4	45.5	31.9	32.8	0.0	0.0	44.5	20.0	12.8	25.6	19.0	
	Mvar	23.49	2.3	25.8	20.0	5.9	25.8	0.0	0.0	0.0	20.0	5.9	0.0	0.0	
21:15	MW	69.13	3.7	72.8	42.5	30.4	34.9	0.0	0.0	37.9	23.3	11.6	19.1	18.0	
21:30	MW	63.85	3.6	67.5	29.4	28.0	39.6	0.0	0.0	17.9	28.7	11.0	0.8	17.0	
21:45	MW	55.22	3.6	58.8	34.5	24.4	34.5	0.0	0.0	24.5	24.6	9.9	8.9	14.0	
22:00	MW	78.91	3.6	82.5	61.2	21.3	32.0	0.0	0.0	50.5	22.1	9.9	39.1	17.0	

Slika 3. Primjer tablice za ispitivanje rezultata mjerenja potrošnje električne energije

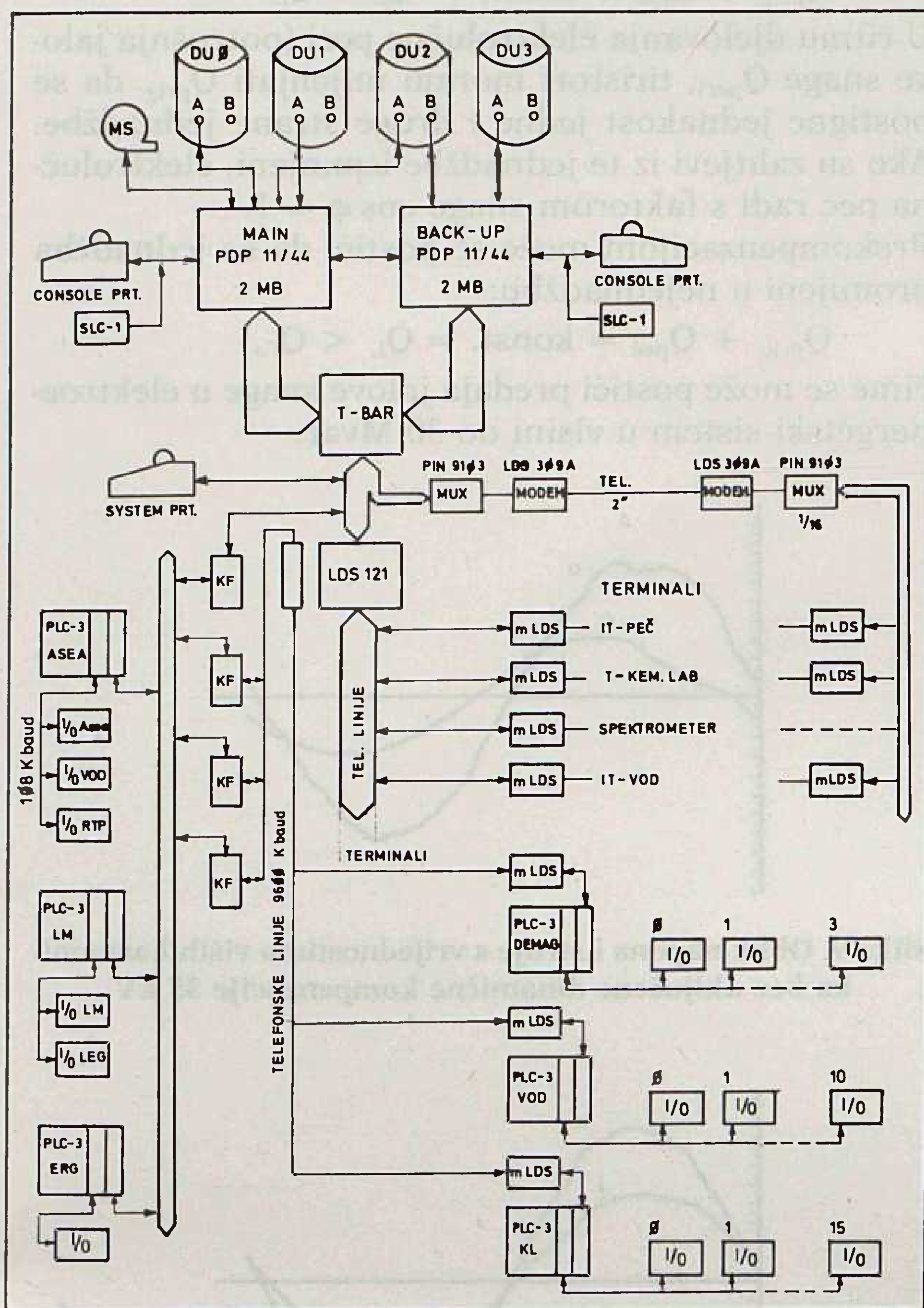
i djelovanje računala, ukupna snaga, potrošnja po pogonima i ukupno, može se pratiti vršna snaga i slično. Slika 4. prikazuje izgled OCV Željezare Jesenice.



Slika 4. OCV Željezare Jesenice

Budući da je za Željezaru Jesenice prema ugovoru sa EGS (Elektrogospodarstvo Slovenije) određeno 15-minutno opterećenje, bilo je do montaže cjelokupne kompjutorske opreme potrebno da elektroenergetičar vizualno prati rad elektroenergetskog sistema i posebno rad elektrolučnih peći i prema subjektivnoj ocjeni javlja telefonom kad peći moraju stati, odnosno kad smiju raditi. Prekoračenje potrošnje prema ugovoru povlači za sobom veoma velike troškove. Iz analize potrošnje, koju smo izveli zajedno s američkom tvrtkom Process Corporation, vidi se da su zbog ručnog praćenja vršne snage elektrolučne peći bile uključene manje od 50% vremena. To smanjuje energetski efekt jer se peć hladi, i za pokrivanje tih gubitaka potrebno je više energije. Zbog toga je specifična potrošnja energije na tonu proizvedenog čelika bila kod ručnog praćenja veća od 700 kWh. Čovjekove mogućnosti reagiranja na vremenske sekvencije u usporedbi s mogućnostima računala mnogo su manje, pa je i efekt slabiji. Zato je potrošnja električne energije s takvim praćenjem vršne snage kudikamo ispod granice najviše moguće potrošnje i istovreme-

no uzrokuje suviše velike specifične potrošnje (gubitak energije zbog hlađenja u vremenu stajanja). Osim toga elektroenergetičar je još i prije zaustavljao peći radi sigurnosti, jer prekoračenje vršne snage mnogo košta.



Slika 5. Konfiguracija cjelokupne procesorske kompjutorske mreže ŽJ

Slika 5. prikazuje konfiguraciju cjelokupne kompjutorske mreže, koja ima i druge namjene a ne samo da prati vršne snage. Računalo PLC (Allen Bradley) kod svake peći prati cjelokupan rad: od zalaganja, legiranja, proba do šarži i, naravno, praćenje potrošnje električne energije. Na kraju svakog ciklusa rada elektrolučne peći (šarža) izpisuje se takozvani šaržni karton, a podaci se istovremeno prenose na veliko komercijalno računalo IBM 3031 Željezare Jesenice, gdje se ti podaci dalje obrađuju. Zato se neću upuštati u potankosti. Za nas kao korisnike sistema u elektroenergetici dovoljno je reći da taj sistem veoma dobro radi i donosi velike koristi. Sistem je sposoban da potrošnju električne energije približi dogovorenim nivou ograničenja; tek tada isključi peć koja ima manje akumulirane energije. Peć koja radi duže, pa je zbog toga njena akumulirana energija (toplina) veća, uvijek će biti posljednja na redu za izbacivanje iz pogona. Logično je da zbog toga nije potreban tako visok nivo vršne snage. Automatskim praćenjem potrošnje električne energije i vršne snage uspjeli

smo, u Željezari Jesenice smanjiti vršnu snagu od 98,5 MW na 70 MW, što je veoma značajno. Specifična potrošnja električne energije smanjila se za oko 20%, zbog čega su troškovi još manji. Potrošači kojima nije moguće upravljati računalom čine oko 40% cjelokupnog opterećenja u Željezari Jesenice. Svakih 15 sekundi računalo dobije cjelokupnu potrošnju električne energije u Željezari Jesenice iz mjernog sistema PERM, te izračuna koliko će to iznositi na kraju perioda (15 min) pri ovom trendu i kada treba zaustaviti elektrolučnu peć koja je na redu po već spomenutom prioritetu. Kada je ovaj trend porasta potrošnje električne energije tako visok da se neki potrošač mora izbaciti iz pogona, računalo daje signal podređenom računalu na peći, koje automatsko diže elektrode i time se prekine električni luk. Ručno puštanje elektroda odnosno puštanje peći u pogon nije moguće dok računalo to ne dopusti. Kada nema više opasnosti za prekoračenje vršne snage, elektrode se počnu automatski spuštati i elektrolučna peć počne ponovo raditi. Ta akcija može se prekinuti ako na peći treba nešto uraditi. Znači, računalo ne dozvoljava uključivanje peći u trenucima kada prijete opasnost prekoračenja vršne snage, a isključivanje uvijek dopušta.

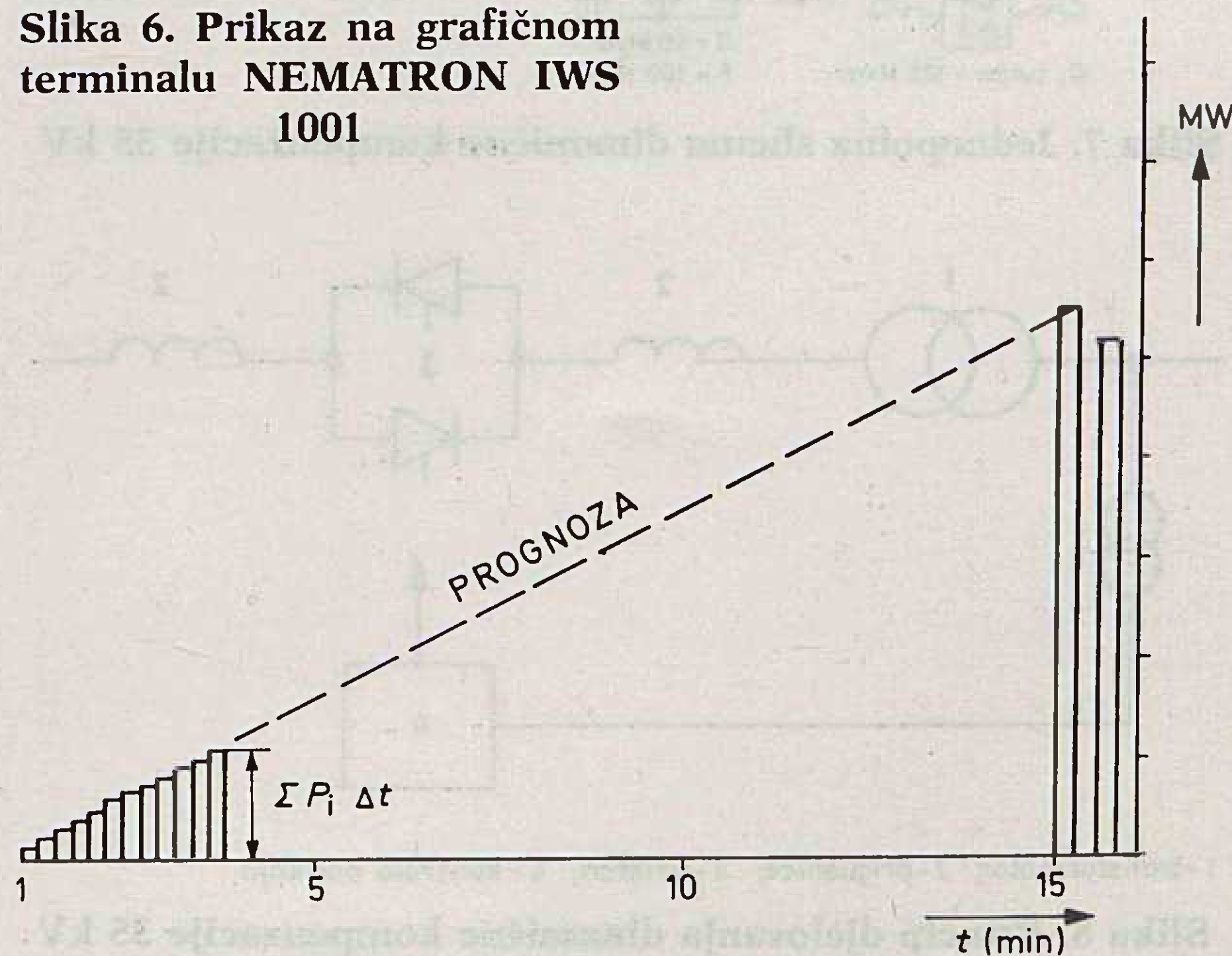
S obzirom na raspoložive podatke, računalo može obavljati još neke zadatke, odnosno analize potrošnje, a sve to radi boljeg pregleda potrošnje električne energije.

Osim praćenja vršne snage računalo omogućuje elektroenergetiku na terminalima i stalnu kontrolu praćenja. Na grafičkom terminalu (slika 6) vidi se kako potrošnja raste, a na kraju su dva stupca, od kojih je lijevi predviđanje na kraju perioda a desni dozvoljena vršna snaga u tom vremenu (prema tarifama). To isto može elektroenergetičar vidjeti na drugom terminalu u numeričkom obliku.

Željezara Jesenice ima za obračun električne energije u upotrebi četiri tarife, i to:

KT (vršnu tarifu)	100%	trenutno	70 MW
MT (malu tarifu)	115%		80,5 MW
VT (višu tarifu)	130%		91 MW
NT (noćnu tarifu)	140%		98 MW.

Slika 6. Prikaz na grafičkom terminalu NEMATRON IWS 1001

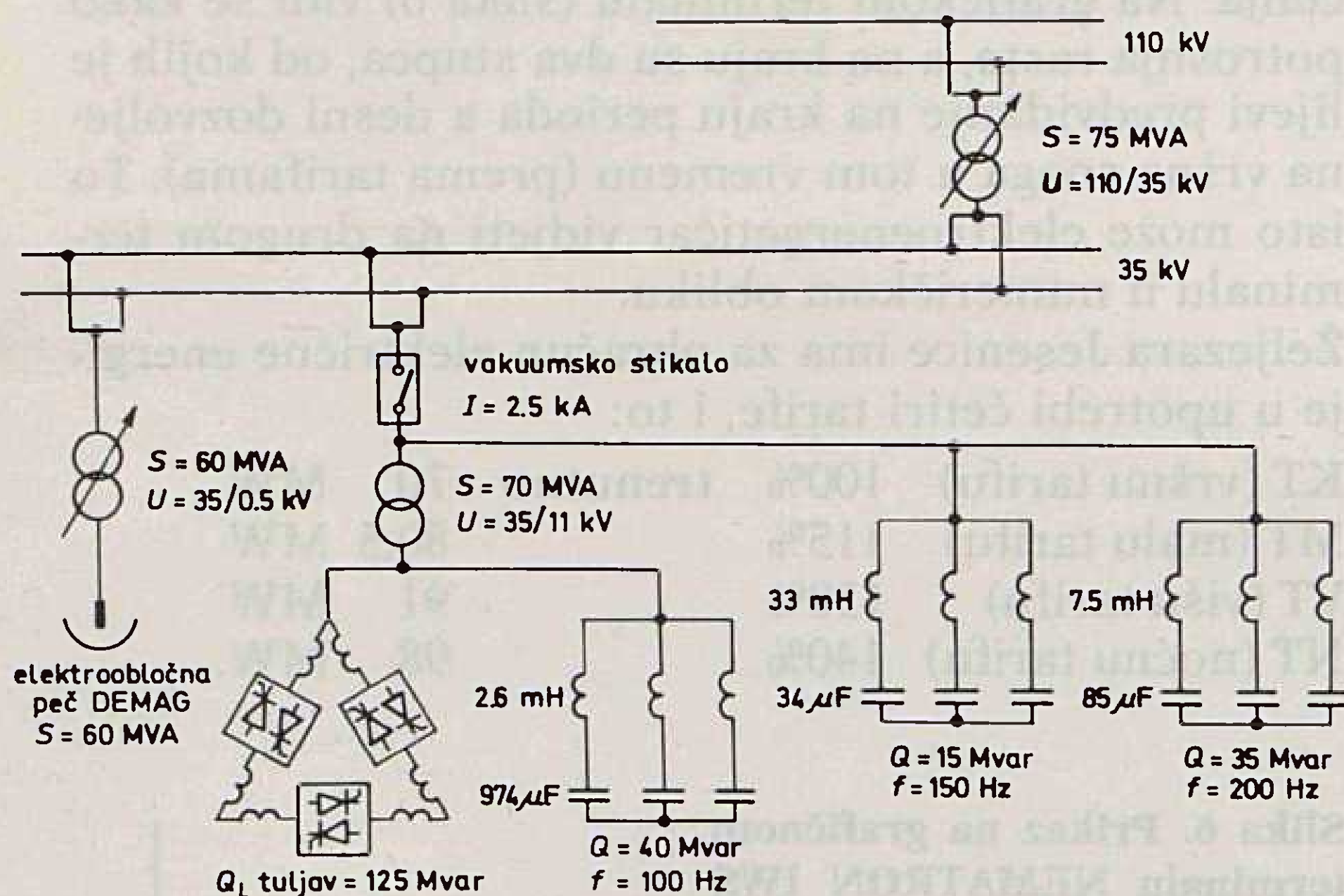


Naknadno smo pravili analize izbacivanja elektrolučnih peći iz pogona zbog vršne snage. Rezultati su veoma zanimljivi i skupljeni su posebno za svaku tarifu po mjesecima. U prosjeku postignemo od 95 do 98% (stvarna potrošnja prema dozvoljenoj), i to u periodima gdje su bila nužna isključenja elektrolučnih peći. Analiza je pokazala da su elektrolučne peći zbog opasnosti prekoračenja vršne snage bile izvan pogona u prosjeku 1 000 minuta mjesečno, što iznosi oko 2,31% ukupno raspoloživog vremena.

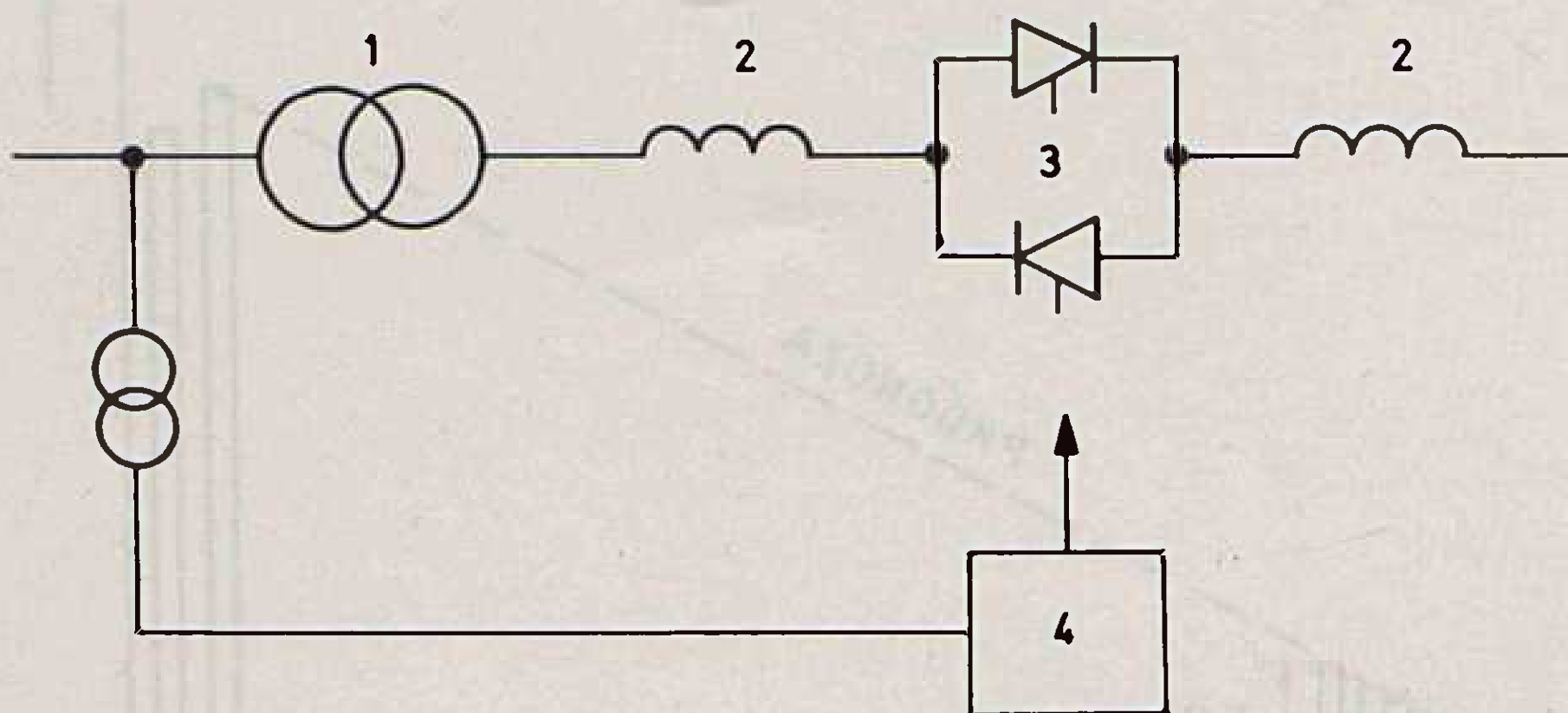
Mislím da su te brojke takve da potpuno opravdavaju investiciju u računarski sistem i u opremu OCV. Ipak, još nismo zadovoljni i radimo na tome da bismo povećali postotak stvarne potrošnje prema dozvoljenoj. Mislím da ima još rezervi kojima djelovanje elektrolučnih peći kao i djelovanje cjelokupnog elektroenergetskog sistema možemo još više usavršiti.

## 6. KOMPENZACIJA JALOVE SNAGE

Dinamična kompenzacija 35 kV snage 90 MVA u Željezari Jesenice ima i četiri filtra za kompenzaciju viših harmonika. Svaki filter je izračunat za svoju rezonantnu učestalost i predstavlja za tu učestalost kratak spoj, a za osnovnih 50 Hz je kompenzator jalove snage. Na slici 7. dana je jednopolna shema dinamične kompenzacije 35 kV, a na slici 8. osnova djelovanja tog objekta. Prikazano je djelovanje samo jedne faze. Ovisno o radu elektrolučne peći tiristori



Slika 7. Jednopolna shema dinamične kompenzacije 35 kV



1-transformator; 2-prigušnice; 3-tiristori; 4-kontrola paljenja

Slika 8. Princip djelovanja dinamične kompenzacije 35 kV

otvaraju i zatvaraju induktivni strujni krug i time mijenjaju jačinu struje u serijski vezanim prigušnicama. Interval kontroliramo zadržavanjem paljenja tiristorskog ventila. Zbog toga je induktivno opterećenje uvijek konstantno:

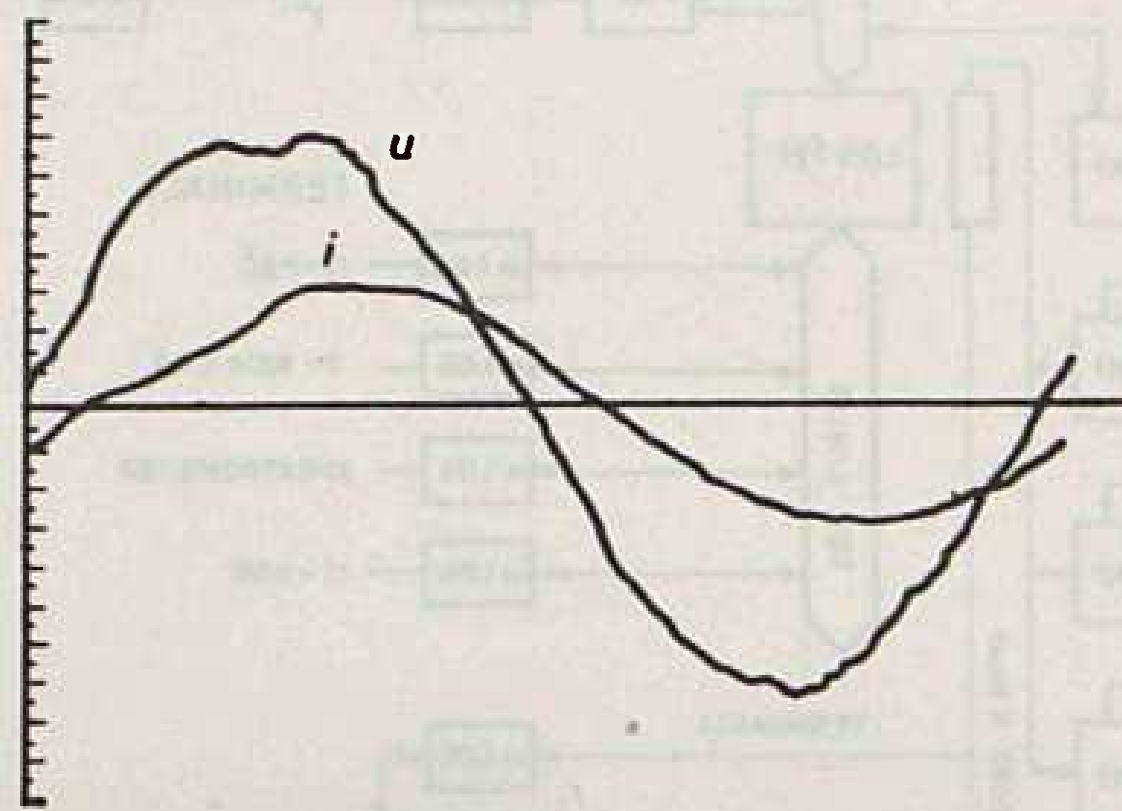
$$Q_{\text{prig.}} + Q_{\text{peć}} = \text{konst.} = Q_L = Q_C.$$

U ritmu djelovanja elektrolučne peći (potrošnja jalove snage  $Q_{\text{peći}}$ , tiristori moraju mijenjati  $Q_{\text{prig.}}$  da se postigne jednakost jedne i druge strane jednadžbe. Ako su zahtjevi iz te jednadžbe ispunjeni, elektrolučna peć radi s faktorom snage  $\cos \varphi = 1$ .

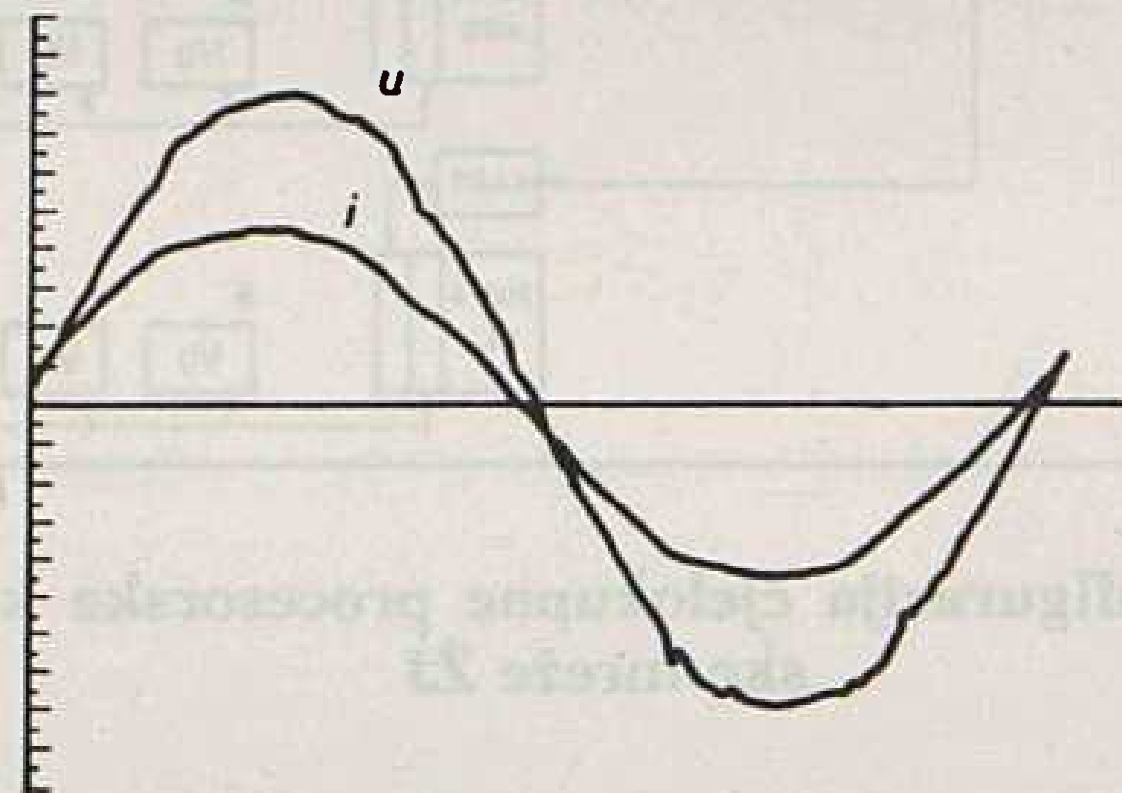
Prekompenzacijom može se postići da se jednadžba promijeni u nejednadžbu:

$$Q_{\text{prig.}} + Q_{\text{peć}} = \text{konst.} = Q_L < Q_C,$$

čime se može postići predaja jalove snage u elektroenergetski sistem u visini do 30 Mvar.



Slika 9. Oblik napona i struje s vrijednostima viših harmonika bez uključene dinamične kompenzacije 35 kV



Slika 10. Oblik napona i struje s vrijednostima viših harmonika s uključenom dinamičnom kompenzacijom 35 kV

Na slikama 9. i 10. vidi se dio višeharmoničke analize (oblik napona i struje elektrolučne peći) bez uključene dinamične kompenzacije 35 kV i s njom.

## 7. ZAKLJUČAK

Na ovim stranicama htjelo se barem u osnovnim crtama prikazati trud i rad u nastojanju da se optimalno iskoristi električna energija. Nije bilo moguće kazati nešto i o iskorištavanju otpadne topline na elektrolučnim pećima (sanitarna voda) i o još nekim uvedenim projektima koji već donose značajne rezultate. S prijelazom na proizvodnju elektročelika u cjelini potrošnja električne energije je porasla, ali se ne smije zaboraviti da su i koks, mazut i ugljen energenti. Zatvaranjem nekih pogona (martinarna, visoke peći, aglomeracija) tih energenata u Željezari Jeseni-



ce više nema. U cjelini, potrošnja energije čak se i smanjila. S uvođenjem suvremene tehnologije proizvodnje čelika težište potrošnje preneseno je u područje čistije i ekonomičnije energije, čime je Željezara Jesenice ponovo postigla konkurentnost i na svjetskom tržištu.

Zbog svega navedenog mnogo se manje zagađuje okolina u našoj dolini. Emisija prašine smanjila se za 90%. Jesenice, nekada grad prašine i dima, više to nije. Mnogo je ljepši i čistiji.

Jasno je da rad na tom području nije još završen. Mnogo nas toga još očekuje ali znamo da smo na pravom putu. I u tome vidimo barem djelić nade za ulazak u Evropu koji svi tako željno očekujemo.

#### LITERATURA

- [1] Grupa avtora: »Jeklarna 2«, brošura izdata prilikom stavljanja u pogon Jeklarne 2, 1. 5. 1987
- [2] ASEA: Dokumentacija dinamične kompenzacije 35 kV.
- [3] ALEŠ SOKLIČ: »Analiza porabljene električne energije v ŽJ«, diplomski rad, Univerza Maribor, Tehniška fakulteta
- [4] Elektrotehniški institut Nikola Tesla: Izvještaj o ispitivanju kvaliteta električne energije po naponu i sačinio-cu snage u Jeklarni 2 Željezare Jesenice
- [5] PROCESS CORPORATION: Analysis report — Energy usage and power demand limiting at Železarna Jesenice
- [6] ALEŠ SOKLIČ, JURIJ SOKLIČ, MARJAN ČADEŽ: »Elektroenergetski objekti Jeklarne 2 in kompenzacija jalove moči«, EV 1988 br. 3/4

#### AN ANALYSIS OF ELECTRIC POWER CONSUMPTION AND PEAK LOADS IN STEEL FACTORY JESENICE

Rationalization with electric power in heavy industry must be permanent activity with regard to supervision of power usage and application of adequate measures in relation to priority of available financial resources.

#### DIE BEOBACHTUNG DES VERBRAUCHES DER ELEKTRISCHEN ENERGIE UND DEREN SPITZEN LEISTUNG IM EISENHÜTTENWERK JESENICE

Es wird das wirtschaftlich durchdachte Umgehen mit der elektrischen Energie des Energie-Dienstes eines industriellen Grossunternehmens beschrieben, hauptsächlich im Bezug auf das zur Verfügung stehende Stammvermögen.

#### НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ И ПИКОМ НАГРУЗКИ НА МЕТАЛЛОРУГИЧЕСКОМ ЗАВОДЕ «ЯСЕНИЦЕ»

Рациональное использование энергии в промышленной энергетике должно быть непрерывной предприимчивостью, объединяющей надзор над применением энергии и введение мероприятий по ее рациональному применению в соответствии с приоритетом, учитывая располагаемый капитал.

Naslov pisca:

**Aleš Soklič, dipl. inž.**  
**Železarna Jesenice,**  
**64270 Jesenice,**  
**Železarjev 8, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis  
1989-06-14



## „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

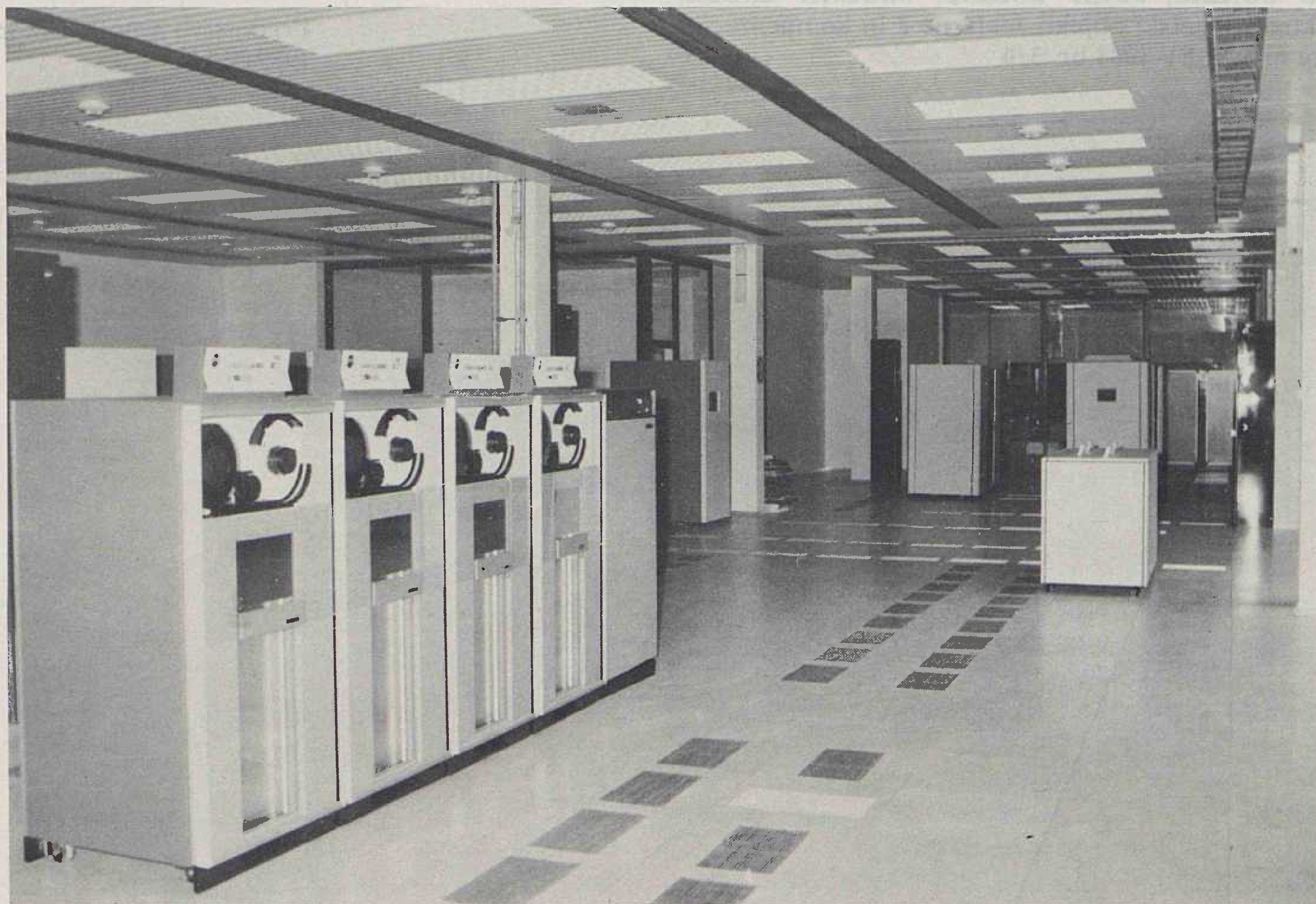
### SPONZOR-SUORGANIZATOR UNIVERZIJADE '87

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

# KONCEPT ISTRAŽIVANJA VELIČINE I KARAKTERA ELEKTRIČNIH OPTEREĆENJA POTROŠAČKIH GRUPA U ELEKTRODISTRIBUCIJI

Mr. Mustafa Obad, Mostar

UDK 621.316.1

PRETHODNO SAOPĆENJE

Prikazuje se način (koncept) istraživanja karakteristika i veličine opterećenja određenih potrošačkih grupa na nivou distribucije.

**Ključne riječi:** elektrodistribucija, potrošačke grupe, električna opterećenja, istraživanja.

Poznavanje kvalitativnih i kvantitativnih karakteristika potražnje električnog opterećenja iz elektroenergetskog sistema od strane potrošača osnovna je podloga za rješavanje zadataka vezanih za razvoj i eksploataciju elektroenergetskog sistema. Zbog toga je permanentan zadatak u elektroprivredi praćenje i istraživanje potrošačkih karakteristika na svim nivoima korištenja električne energije.

Kada su u pitanju veliki (nedistributivni) potrošači, s obzirom na stalno pogonsko evidentiranje njihovih karakteristika, te relativnu prostornu koncentrisanost, olakšano je analiziranje uticaja njihovih opterećenja na elektroenergetski sistem. Što se tiče distributivnih potrošača, situacija je znatno složenija. Istraživanje karakteristika električnih opterećenja distributivnih potrošača, u načelu, može se vršiti sa dva aspekta:

- s aspekta proizvodnje i prenosa električne energije, kada se elektrodistributivno područje posmatra kao jedno skoncentrisano opterećenje
- s aspekta distribucije električne energije, kada je istraživanju karakteristika opterećenja potrebno dati i prostornu dimenziju.

Ovaj drugi dio aktuelan je za elektrodistribuciju i nepohodan za rješavanje zadatka vezanih za neposredno distribuiranje električne energije potrošačima, kao što su:

- planiranje novih elektrodistributivnih kapaciteta
- optimalno korištenje postojećih kapaciteta
- optimizacija sistema upravljanja potrošnjom
- razvoj i optimizacija sistema upravljanja mrežom
- usavršavanje tarifnog sistema za prodaju električne energije.

Imajući na umu ogromne investicione i eksploatacione troškove elektrodistributivnih mreža, koji imaju tendenciju relativnog porasta, naročito u gradskim sredinama, imperativno se nameće potreba rješavanja pomenutih zadataka u smislu snabdijevanja distributivnih potrošača kvalitetnom električnom energijom uz što niže ukupne troškove.

Nalaženje povoljnih rješenja nemoguće je bez permanentnog istraživanja karakteristika distributivnog konzuma.

Za razliku od pomenutih velikih (nedistributivnih) potrošača, istraživanje distributivnih potrošača mnogo je teže iz sljedećih razloga:

- Najveći dio distributivnog konzuma sastoji se od tzv. masovnih potrošačkih grupa sastavljenih od velikog broja potrošača, rasprostranjenih na velikom prostoru, relativno sličnih karakteristika. Istovremeno, potrošačke grupe međusobno mogu imati bitno različite karakteristike korištenja električne energije.
- Električno opterećenje koje potražuju ove masovne potrošačke grupe veoma je složena funkcija više faktora koji su promjenjivi u vremenu i prostoru. Faktori koji karakterišu određeni prostor odnosno određeno potrošačko područje jesu: klimatski uslovi, nivo standarda, navike stanovništva, tarifni sistem i sl. Zbog toga i nije moguće primjenjivati doslovno rezultate tuđih istraživanja jer to može dovesti do pogrešnih rezultata.

Od faktora promjenjivih u vremenu najznačajniji su, svakako, struktura i način korištenja električnih trošila, a u to spadaju i neki od gore navedenih faktora kao što su nivo standarda, način življenja stanovništva na konkretnom distributivnom prostoru i sl. Zbog faktora promjenjivih u vremenu istraživanje karakteristika distributivne potrošnje mora imati određeni kontinuitet.

Sljedeća, vrlo važna karakteristika masovnih potrošačkih grupa je stohastički karakter njihovih električnih opterećenja. To daje novu dimenziju istraživanju karakteristika opterećenja ovih potrošačkih grupa. Obuhvatanje ovog fenomena uslovljava obavezno korištenje metoda statistike i teorije vjerovatnoće. Intenzitet ispostavljanja stohastičkog karaktera pojave opterećenja ovisan je o ostalim, prije navedenim faktorima iz ovog stava, što još više uslovljava definisanje zakonitosti potražnje električnih opte-

rećenja masovnih distributivnih potrošačkih grupa. Iz navedenih razloga je jasno da je istraživanje karakteristika potražnje električnih opterećenja distributivnih potrošača dosta složeno sa aspekta organizacije i tehničke izvedbe.

Imajući u vidu neophodnost poznavanja karakteristika distributivnih potrošača, elektroprivrede razvijenih zemalja pridaju veliku važnost istraživanjima na ovom konzumu. Redovna je praksa da u sklopu istraživačkih centara elektroprivrede postoje stalni timovi koji se bave isključivo praćenjem i istraživanjem karakteristika distributivnih potrošača. Naravno, njihov rad je koordiniran sa područnim distributivnim centrima, a rezultat toga je generisanje vjerodostojnih energetskih podloga koje se koriste u svrhu nalaženja rješenja za optimalan razvoj i eksploataciju elektrodistributivnih mreža.

Imajući u vidu ovo dosad navedeno, postavlja se zadatak koncepcije istraživanja kvalitativnih i kvantitativnih karakteristika električnog opterećenja masovnih elektrodistributivnih potrošačkih grupa. To istraživanje mora obuhvatiti uticaj svih relativnih faktora.

U sklopu [1] urađena je metodologija istraživanja karakteristika opterećenja distributivnih potrošačkih grupa. Metodologija je praktično primijenjena na potrošačku grupu domaćinstava u gradskim stambenim cjelinama u Mostaru. Kompletno istraživanje dijeli se na tri osnovna dijela:

- istraživanje strukture električnih trošila kod potrošača i načina njihove upotrebe kao faktora koji neposredno utiču na karakteristike potražnje opterećenja
- istraživanje krive opterećenja potrošačkih grupa i krive trajanja opterećenja
- istraživanje kvantitativnih karakteristika opterećenja.

## 1. ISTRAŽIVANJE STRUKTURE ELEKTRIČNIH TROŠILA KOD POTROŠAČA I NAČINA NJIHOVE UPOTREBE

Istraživanje strukture i načina korištenja električnih trošila kod potrošača neizbježna je i vrlo važna etapa u istraživanju karakteristika potražnje električnih opterećenja i energije masovnih potrošačkih grupa u elektrodistribuciji.

U sklopu [1] opširno je data metodologija za provođenje ovog istraživanja. U ovom radu će u sažetom obliku biti opisan metodološki postupak, te prezentiran dio rezultata njegove primjene na elektrodistributivnu potrošačku kategoriju domaćinstava u gradskim stambenim cjelinama.

Globalna podjela istraživanja strukture i načina korištenja električnih trošila je:

- podjela potrošača u grupe
- anketiranje kao metod za pribavljanje informacije u strukturi trošila kod potrošača i načinu njihove upotrebe
- statistička obrada rezultata ankete.

### 1.1. Podjela potrošača u grupe

Za efikasno istraživanje potrošačkog područja kao prvi korak nameće se podjela potrošača u grupe. Grupa mora da ima što homogeniji sastav potrošača u pogledu načina i intenziteta korištenja električne energije. To je osnovni kriterij, a metode za klasifikaciju potrošača po pojedinim grupama mogu biti različite. Uobičajno je da se prvo vrši globalna podjela na veće skupine, koje se zatim dijele na sve manje dok se ne postigne željeni intenzitet homogenosti potrošača unutar grupe u pogledu načina korištenja električne energije. Odavde je vidljivo da je način formiranja grupa u funkciji željenog cilja istraživanja potrošačkog područja.

U literaturi je najčešće zastupljena globalna podjela na potrošača na visokom, srednjem i niskom naponu. Ove grupe se dijele dalje, pri čemu su kriteriji za dalju klasifikaciju različiti za svaku od njih. U načelu je kod potrošača na niskom naponu najčešće zastupljena podjela na:

- domaćinstva
- javnu rasvjetu
- ostalu potrošnju na niskom naponu.

Ove kategorije se dalje raščlanjuju na različite načine, npr. u radovima EDF-a potrošači na niskom naponu ukupno su podijeljeni na sedam klasa.

### 1.2. Anketiranje kao metod za pribavljanje informacija o strukturi trošila kod potrošača i načinu njihove upotrebe

Poznavanje strukture trošila kod potrošača i načina njihove upotrebe jedan je od osnovnih preduslova za pravilnu i efikasnu analizu potražnje električnog opterećenja kod tih potrošača. Naravno, metodi za postizanje ovog cilja su različiti za pojedine bitno različite grupe potrošača, npr. od pojedinačne analize strukture i upotrebe trošila kod velikih potrošača do anketiranja na uzorku kod masovnih potrošačkih grupa.

Zbog svoje masovnosti konzum domaćinstava podrazumijeva anketiranje kao jedan od najefikasnijih načina kojim se može doći do podatka o zastupljenosti trošila i načinu njihove upotrebe. Organizacija i obrada anketa masovnih razmjera je tehnički složen i relativno skup posao koji se ne može često ponavljati i zbog toga, da bismo dobili željene vjerodostojne rezultate anketiranje se mora provoditi i sistematski po određenim principima koji će ovdje biti prikazani.

U procesu prikupljanja podataka anketiranjem mogu se definisati sljedeće faze:

- definisanje cilja (željenih informacija)
- definisanje principa formiranja uzoraka i odabiranja uzoraka
- koncipiranje anketnog lista i organizacija ankete
- obrada rezultata.

a) Kod definisanja cilja potrebno je što preciznije definisati informacije koje želimo dobiti od potrošača. Ako se radi o potrošačkoj grupi domaćinstava, ti podaci su sljedeći:

- upotreba električne energije za osnovne energetske potrebe (tj. struktura i način korištenja električnih trošila za grijanje stana, pripremu hrane i pripremu tople vode
  - zastupljenost pojedinih električnih uređaja u domaćinstvu
  - ostali podaci koji omogućavaju analizu svih faktora koji mogu uticati na karakteristike korištenja električne energije, kao npr. podaci o stanu, podaci o članovima domaćinstva, namjere u vezi s budućom, nabavkom električnih uređaja i sl.
- b) Ako se anketiranjem ne mogu obuhvatiti svi potrošači koji su predmet istraživanja, a što je kod nas slučaj, onda se moraju odabrati reprezentativni uzorci i na bazi matematičke statistike donijeti zaključci o proučavanom konzumu.
- Što se tiče formiranja uzorka, tu se mogu pojaviti određene specifičnosti koje se sastoje u sljedećem: Ako se na bazi ranijih spoznaja po konzumu mogu formirati konačne grupe potrošača domaćinstava, onda se iz tih grupa formiraju tzv. stratifikovani slučajni uzorci koji se dalje obrađuju. Ako su karakteristike potrebe za prethodno definisanje grupa nedovoljno poznate, na bazi ukupnog broja potrošača formira se velik uzorak, pa se naknadno na bazi rezultata anketa formiraju potrošačke grupe.
- c) Kada se obave prethodno opisani koraci, potrebno je planirati provođenje ankete. Prvi korak je koncipiranje anketnog lista koji mora da bude pristupačan za ispunjavanje, tj. pitanja moraju biti što jasnija i što kraća radi što bržeg popunjavanja anketnog lista. Anketni list mora biti prilagođen za što lakše unošenje podataka u računar. Sami proces anketiranja potrebno je izvršiti tako da pruži potpune i vjerodostojne rezultate. Pokazuje se najefikasnije da anketu vrše prethodno obučena lica koja na licu mjesta ispunjavaju anketne listove. Potrebno je, svakako, planirati veći broj anketiranih od minimalno potrebnog za korektnu statističku obradu zbog određenog broja neispravnih listića.
- Sve ove stvari, iako naizgled malo važne, bitno utiču na upotrebljivost rezultata ankete.
- d) Obrada rezultata uz primjenu matematičke statistike, kao posljednja faza u prikupljanju informacija anketiranjem, treba da da podatke i odgovore na pitanja definisana u cilju zadatka.
- Budući da su podaci prikupljeni na bazi uzorka, matematičko-statistička obrada je neophodna da bi se dobiveni rezultati mjerodavno mogli primijeniti na čitav istraživani dio konzuma. Osnovni opseg statističke obrade potreban i dovoljan za naš zadatak podrazumijeva korištenje sljedećih osnovnih matematičko-statističkih operacija:
- testiranje statističke hipoteze o rasporedu osnovnog skupa
  - intervalna procjena aritmetičke sredine osnovnog skupa
  - intervalna procjena varijanse osnovnog skupa
  - intervalna procjena odnosa (vjerovatnoće).

Ove statističke metode su osnovne metode koje se moraju primijeniti u obradi rezultata ankete da bismo dobili reprezentativne vrijednosti određenih veličina.

Priključna vrijednost domaćinstva jedna je od karakterističnih veličina čiju reprezentativnu vrijednost za određeni tip domaćinstva možemo utvrditi na osnovu rezultata ankete i njihove statističke obrade.

Na osnovu anketnih listića utvrde se priključne vrijednosti svakog domaćinstva u uzorku. Na osnovu toga odredit će se srednja vrijednost i standardna devijacija priključnih vrijednosti koji važe za sva domaćinstva tog tipa na istraživanom području. Za određivanje navedenih vrijednosti koriste se naprijed opisane metode za intervalnu procjenu aritmetičke sredine i standardne devijacije osnovnog skupa (skup priključnih vrijednosti). Prethodno je potrebno ispitati hipotezu o rasporedu osnovnog skupa priključnih vrijednosti.

Intervalna procjena odnosa (vjerovatnoće) koristi se u konkretnom slučaju za verifikaciju određenih odnosa utvrđenih na uzorku za čitav istraživani skup. To su udio pojedinih načina grijanja stana i tople vode, pripremanja hrane, i svih drugih osobnosti čije važenje sa uzorka želimo prenijeti na osnovni skup.

## 2. ANALIZA KRIVE OPTEREĆENJA

Kriva opterećenja određene potrošačke grupe predstavlja jednu od glavnih karakteristika određene potrošačke grupe sa aspekta specifičnosti korištenja električne energije.

Zbog toga je analiza dijagrama opterećenja vrlo važna etapa u istraživanju karakteristika potrošačkih grupa. Zavisno od perioda  $P$ , u kome se posmatra promjena potražnje opterećenja, može se definisati više dijagrama opterećenja (satni, dnevni, sedmični, godišnji itd.). Pri istraživanju potražnje opterećenja određene potrošačke grupe potrebno je definisati minimalno potreban broj karakterističnih dijagrama opterećenja, koje je potrebno analizirati da bi se potpuno obuhvatile sve karakteristike potražnje opterećenja.

Istraživanje krive opterećenja određene potrošačke grupe može se podijeliti u sljedeće etape:

- a) Utvrđivanje broja potrebnih karakterističnih dijagrama
 

Za istraživanje režima potražnje potrebno je proučiti dijagrame potražnje opterećenja za sve periode u kojima se kvalitativno mijenjaju odnosi u dijagramu opterećenja. Tako se dobije više karakterističnih dijagrama koje je potrebno analizirati. Na osnovu poznatih osobnosti grupa potrošača usvaja se određeni broj različitih perioda  $T$ , za koje se utvrđuju karakteristični dijagrami opterećenja.
- b) Snimanje krivulje opterećenja na uzorcima iz potrošačke grupe
 

Nakon što smo definisali za koje periode će se istraživati krivulje opterećenja, potrebno je izvršiti snimanje tih krivulja opterećenja uz pomoć regis-

trirajućih instrumenata. Radi vjerodostojnosti potrebno je napraviti više snimanja na datoj potrošačkoj grupi da bi se poslije, određenom metodom, dobio dovoljno reprezentativan karakteristični dijagram opterećenja.

c) **Određivanje karakteristične krivulje potražnje opterećenja**

Kad su izvršena opisana snimanja opterećenja u vremenu ( $T$ ) za koje istražujemo dijagram opterećenja, dobili smo za jednu potrošačku grupu više snimljenih krivulja opterećenja koje se donekle međusobno razlikuju. Na bazi njih potrebno je da se odredi jedna krivulja koja će dovoljno tačno reprezentovati sve ostale i koju ćemo predstaviti kao karakteristični dijagram opterećenja za datu potrošačku grupu.

Ima više načina za određivanje karakteristične krivulje. Pokazuje se, na primjer, da jednostavna srednja vrijednost i metoda minimuma kvadrata odstupanja ne daju dobre rezultate. U [1] korištena je posebna metoda koja je u sličnom obliku data u [2].

d) **Definisanje i nalaženje karakterističnih veličina krive opterećenja**

Nakon što je definisan karakteristični dijagram za period  $\Delta t$ , pristupa se definisanju osnovnih veličina koje karakterišu dijagram. Najčešće je kod distributivnih potrošačkih grupa dovoljno odrediti sljedeće veličine:

- maksimalno opterećenje  $P_{\max}$
- vrijeme nastupanja maksimalnog opterećenja  $t_{\max}$
- vrijeme nastupanja minimalnog opterećenja  $t_{\min}$
- faktor varijacije  $f_v = P_{\min}/P_{\max}$
- trajanje korištenja maksimalnog opterećenja (potražnje)

$$h_{p\max} = \frac{W_t}{P_{\max}}$$

gdje, je  $W_t$  — ukupno potrošena energija u periodu  $T$  za koji je definisan karakteristični dijagram.

- faktor opterećenja za period  $T$

$$m_t = \frac{W_t}{P_{\max} \cdot T}$$

e) **Definisanje i analiza vertikalnih i horizontalnih zona na krivulji opterećenja**

Za definisanu grupu potrošača karakteristična krivulja potražnje opterećenja za period  $T$  ima kvalitativne karakteristike koje su specifične i jednake za sve potrošače iz definisane potrošačke grupe.

S obzirom na ranije istražene i poznate karakteristike potrošačke grupe potrebno je analizirati kvalitativne i kvantitativne osobnosti krivulje opterećenja s aspekta tih karakteristika. Time će se utvrditi »uzroci« karakterističnog oblika krivulje potražnje za datu potrošačku grupu, što dalje omogućava uticaj na oblik krivulje potražnje opterećenja. Za analize dijagrama opterećenja pokazala se pogodna podjela dijagrama na tzv. hori-

zontalne (po opterećenju) i vertikalne (po vremenu) zone.

Vertikalna podjela vrši se tako što se vremenski period  $T$  podijeli na određeni broj karakterističnih vremenskih odsjeka. Ta podjela može se izvršiti sa više aspekata, zavisno sa kojeg stanovišta se analizira dijagram potražnje, npr:

- sa aspekta tarifnih razdoblja
- sa aspekta karakterističnih potperioda perioda  $T$  (npr. dan-noć, zima-ljeto)
- sa aspekta specifičnih ekstrema karakteristične krivulje potražnje opterećenja.

Svaki interval dalje se analizira sa aspekta poznatih podataka o potrošačima i trošilima iz grupe, te uticaju vrste i režima korištenja trošila na specifični oblik karakteristične krivulje opterećenja u tom intervalu.

Podjela dijagrama opterećenja prema opterećenju najčešće se vrši definisanjem triju horizontalnih zona opterećenja: temeljne, srednje i vršne zone.

### 3. ISTRAŽIVANJE KVANTITATIVNIH KARAKTERISTIKA OPTEREĆENJA

Među veličinama dijagrama potražnje opterećenja svakako je najznačajnija — maksimalno opterećenje  $P_{\max}$ . To maksimalno potraživano opterećenje neke grupe potrošača, u određenom vremenskom periodu, naznačajnija je karakteristika sa aspekta planiranja i eksploatacije elektroenergetskih kapaciteta za snabdijevanje električnom energijom te grupe potrošača.

Potražnja opterećenja iz elektroenergetskog sistema, kod svakog potrošača, pa i kod domaćinstava, odraz je strukture i načina korištenja njegovih trošila. Drugim riječima, energetska djelovanje potrošača na mrežu je funkcija strukture i načina korištenja njegovih električnih trošila. Kod masovnih potrošača, kao što su domaćinstva, pored strukture trošila, veliki uticaj na veličinu potražnje opterećenja ima tzv. izravnavanje potražnje, tj. fenomen da je opterećenje grupe potrošača uvijek manje od sume opterećenja pojedinih trošila, odnosno potrošača u grupi.

Taj fenomen proizlazi iz toga što je broj trošila koji potražuju snagu u određenom trenutku slučajna veličina koja se daje tretirati po zakonima matematičke statistike. Ta činjenica daje novu dimenziju u istraživanju karaktera potražnje električnog opterećenja potrošača, pa i maksimalnih opterećenja.

Uvažavajući dosad rečeno, istraživanje osobnosti potražnje opterećenja domaćinstava metodološki bi išlo po sljedećem redoslijedu:

- definisanje cilja
- mjerenje opterećenja na odabranim uzorcima
- analiza uticaja pojedinih specifičnosti grupe na veličinu maksimalnog opterećenja,
- odabiranje podesne metode za računsko određivanje očekivanog maksimalnog opterećenja definisane grupe potrošača

- verifikacija odabrane metode (modela), na bazi mjerenja na stvarnom konzumu i matematičko-statističkih zakonitosti
- formiranje ili prilagođenje programa za računarsku obradu.

### 3.1. Definisanje cilja

Pod definisanjem cilja ovdje razumijevamo jasnije određivanje svrhe kvantitativnog istraživanja potražnje opterećenja jer to unekoliko utiče na dalje odvijanje gore pobrojanih etapa istraživanja.

Zavisno od toga u kojem periodu  $T$  posmatramo maksimalnu potražnu opterećenja, postoji periodični i apsolutni maksimum opterećenja. Cilj kvantitativnog istraživanja je istraživanje zavisnosti veličine potraživanog opterećenja određene grupe potrošača od strukture i načina korištenja njihovih trošila, te iznalaženje zakonitosti kojom će se preciznije obuhvatiti efekat izjednačavanja potražnje opterećenja kod istraživane potrošačke grupe.

Na kraju, to podrazumijeva definisanje modela koji će, uvažavajući sve ove zakonitosti, pružiti mogućnost da se odredi veličina opterećenja koje će potraživati određena potrošačka grupa, uz zadovoljavajuću pouzdanost, na bazi matematičko-statističke verifikacije.

Pri ovome je potrebno što jasnije imati definisanu i namjenu rezultata istraživanja, što utiče na kriterije za formiranje modela za određivanje očekivanog opterećenja.

### 3.2. Mjerenje opterećenja na odabranim uzorcima

Direktna mjerenja opterećenja na odabranim uzorcima su obavezna pri istraživanju veličine i karaktera potražnje od određenog konzuma. S jedne strane, potrebno je ispitati zavisnost potraživanog opterećenja od specifičnih karakteristika potrošačke grupe (struktura i način korištenja trošila, te eventualno i drugi uticaji).

S druge strane, direktna mjerenja na stvarnom konzumu su neophodna za formiranje modela opterećenja, potrebnih za računsko određivanje očekivanih opterećenja, kao i kasnije provjere modela.

### 3.3. Analiza uticaja pojedinih specifičnosti grupe na veličinu maksimalnog opterećenja

Nakon obavljenih mjerenja analiziraju se rezultati radi provjere njihove vjerodostojnosti te, eventualno, određene korekcije i naknadne provjere. Na osnovu izmjerenih rezultata donose se određeni zaključci o specifičnostima korištenja električne energije na mjerenom konzumu.

### 3.4. Iznalaženje podesnog modela za računsko određivanje očekivanog maksimalnog opterećenja definisane grupe potrošača

Na osnovu dosadašnjih faza istraživanja te namjene rezultata prognoziranja opterećenja pristupa se iznalaženju modela opterećenja pomoću koga se, zadaju-

ći određene veličine, može izračunati očekivano maksimalno opterećenje određene potrošačke grupe.

### 3.5. Verifikacija odabranog modela na bazi mjerenja na stvarnom konzumu i matematičko-statističkih zakonitosti

Na bazi rezultata mjerenja vrši se verifikacija modela na bazi matematičko statističkih metoda. Teorijske osnove formiranja modela opterećenja, kao i njegova verifikacija na bazi rezultata mjerenja biće opisani u posebnom poglavlju.

### 3.6. Formiranje programa za računarsku obradu

Postupak formiranja modela i njegove verifikacije matematičko-statističkim metodama zahtijeva dosta obiman rad, koji se znatno skraćuje i dobiva na tačnosti ako se radi uz pomoć računara. Pokazuje se s toga skoro obaveznim korištenje računarskih programa kojima će se zadani problemi znatno efikasnije rješavati.

## 4. ZAKLJUČAK

U radu je dat koncept metodološkog postupka za istraživanje veličine i karaktera potražnje električnih opterećenja koje određena potrošačka grupa izaziva ili može izazvati na elektroenergetskom sistemu.

Kao rezultat primjene postupka na određenu potrošačku grupu dobiće se podaci i spoznaje koji potpuno definišu ponašanje te potrošačke grupe po pitanju potražnje opterećenja iz mreže. Svi ti rezultati mogu se svrstati u tri globalne cjeline:

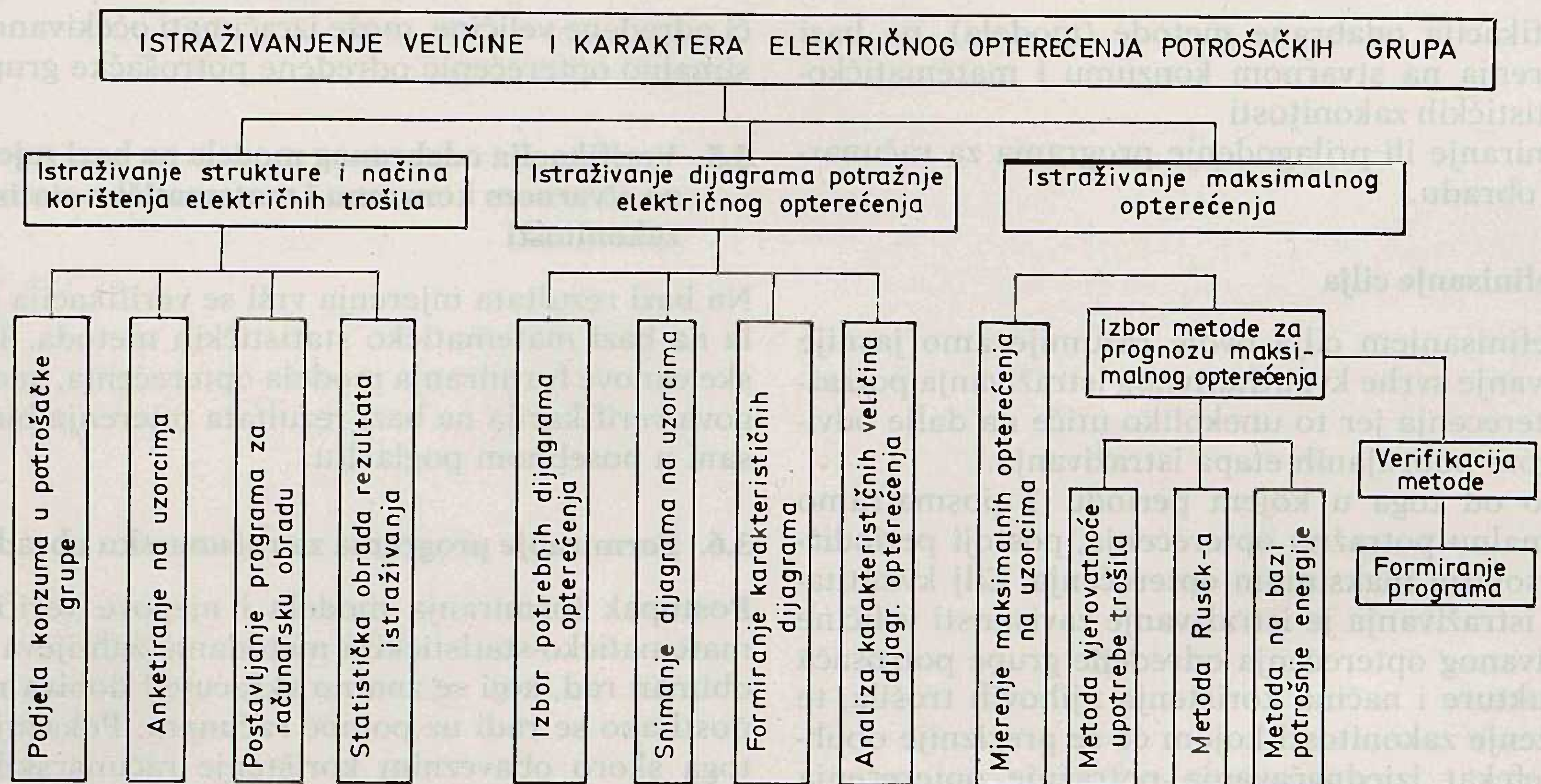
- zavisnost opterećenja od strukture i načina korištenja električnih trošila kao neposrednih uzročnika opterećenja
- karakteristike dijagrama potražnje tj. karakteristike promjene opterećenja u vremenu
- faktori koji utiču na maksimalno opterećenje grupe potrošača, kao najvažniju karakteristiku sa aspekta potražnje opterećenja, učešće pojedinog potrošača u opterećenju grupe potrošača, parametri modela za predviđanje maksimalnog mogućeg opterećenja potrošačke grupe

Ti podaci su osnovna baza za rješavanje niza zadataka vezanih za planiranje razvoja i eksploatacije mreža, upravljanje potrošnjom, analizu tarifa i sl.

Na sl. 1. dat je principijelni shematski prikaz postupka opisanog u ovom dijelu rada.

Na slikama 2, 3, 4 i tabeli 1. dati su ilustrativno neki rezultati istraživanja karakteristika konzuma elektrodistributivnog područja Mostara. Ovo istraživanje je provedeno 1987. i 1988. godine.

Rezultati su korišteni za dobivanje modela za prognozu električnog opterećenja gradskih stambenih skupina, optimizaciju uklopnog stanja gradske električne distributivne mreže i u svrhu pripremnih analiza u sistemu centralnog upravljanja potrošnjom.

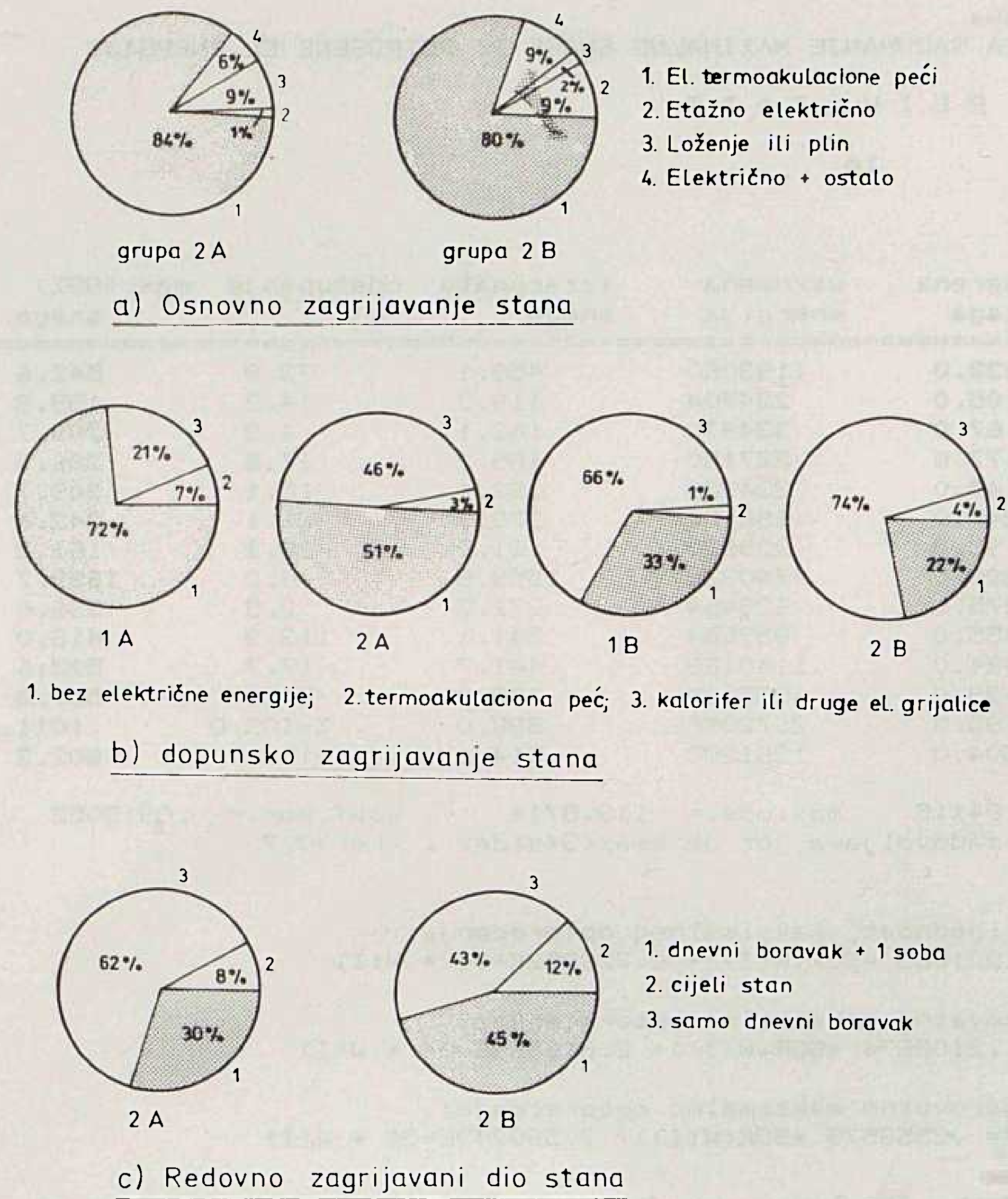


Slika 1. Principijelni prikaz metodologije istraživanja karakteristika opterećenja

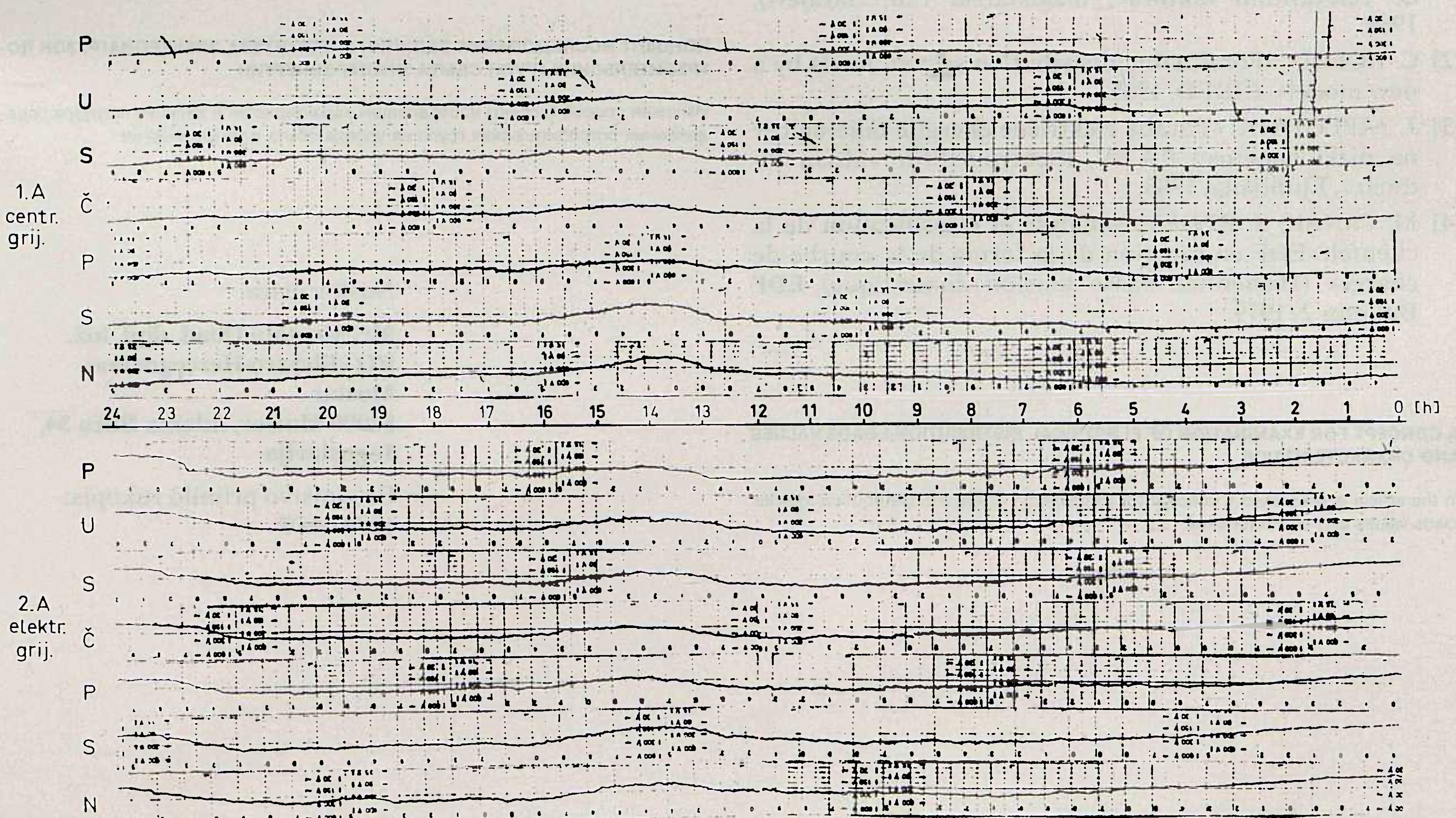
Tabela 1. Podaci o vjerovatnoći upotrebe trošila

Red. br.	Naziv	Maksim. opter. $P_v$ (kW)	Sedmična potrošnja $W$ (kW)	Moguće vrijeme upotrebe $t_u$ (h)	Vjerovatn. uključenja $P$	Suprotna vjer. $q = 1 - p$	$P \cdot p$	$p^2 \cdot p \cdot q$	Zastupljenost $Z$ (%)	
									IA	IB
1.	Rerna	2,5	2,4	34	0,028	0,972	0,07	0,1701	100	100
	1. ploča	1	1,05	15	0,07	0,93	0,07	0,0651	77	76
	2. ploča	2	4,67	20	0,116	0,884	0,232	0,41	77	76
2.	Toster	0,8	2,9	29	0,125	0,875	0,1	0,07	17	7
3.	Friteza	1,6	1,6	40	0,04	0,86	0,064	0,0983	5	7
4.	Mlin za kafu	0,16	0,008	35	0,001	0,9086	0,0002	0	52	73
5.	Mikser	0,35	0,35	22	0,016	0,84	0,0056	0,0016	72	81
6.	Frižider	0,137	13,7	166	0,595	0,405	0,081	0,0053	100	99
7.	Zamrzivač	0,170	15	168	0,525	0,475	0,0089	0,0072	45	81
8.	Bojler – kuhinja	1,5	15	56	0,179	0,821	0,268	0,331	89	89
9.	Bojler – kupatilo	1,8	34,5	84	0,228	0,772	0,41	0,57	95,5	100
10.	Usisivač	0,7	1,4	27	0,074	0,926	0,051	0,003	98	100
11.	Napa	0,03	0,63	56	0,375	0,625	0,011	0,0002	27	27
12.	Pegla	1	2,4	44	0,054	0,946	0,054	0,051	98	100
13.	Prenosiva grijalica	1	21	42	0,024	0,976	0,028	0,094	13	20
14.	TV u boji	0,12	2,7	49	0,459	0,541	0,0594	0,0038	69	90
15.	TV crno-bijeli	0,08	2	49	0,051	0,949	0,004	0,0003	41	20,7
16.	Radio-prijemnik	0,01		84	0,464	0,536	0,0045		65	76
17.	Radio-kasetofon	0,035	1,36	84	0,462	0,533	0,016	0,0003	49	66
18.	Fen za kosu	0,7	0,35	30	0,0167	0,983	0,0117	0,008	100	100
19.	Mašina za rublje	2,2	6	44	0,062	0,938	0,136	0,281	97	99





Slika 2. Upotreba električne energije za zagrijavanje stana



Slika 3. Primjer snimljenog dijagrama električnog opterećenja (sedmičnog) stambenih grupa

kraj programa  
PROGRAM ZA RACUNANJE MAXIMALNE SNAGE IZ POTROSENE EL.ENERGIJE

## R E Z U L T A T I

NASELJE : 1A

redni broj	mjerena snaga	utrosena energija	izracunata snaga	odstupanje	max. (95%) snaga	max (99.7%) snaga
1	533.0	1193060	459.1	73.9	542.6	584.4
2	105.0	224704	119.2	-14.2	158.8	178.6
3	167.0	334970	162.1	4.9	209.7	233.6
4	177.0	327180	159.2	17.8	206.3	229.8
5	147.0	334920	162.1	-15.1	209.7	233.5
6	247.0	656150	278.1	-31.1	342.6	374.8
7	93.0	229680	121.2	-28.2	161.2	181.2
8	1600.0	4740320	1559.8	40.2	1699.7	1769.6
9	275.0	639464	272.2	2.8	336.0	367.9
10	455.0	839664	341.1	113.9	413.0	449.0
11	424.0	1140188	441.7	-17.7	523.6	564.6
12	439.0	1235605	473.0	-34.0	557.8	600.2
13	795.0	2572346	898.0	-103.0	1011.4	1068.1
14	504.0	1361200	514.1	-10.1	602.3	646.4

stdev= 49.84115    max.ods.= 113.8714    koef.kor.= .9913053  
korelacija zadovoljava jer je  $e_{max} < 3 * stdev$  i  $kkor > 0.7$

srednja vrijednost maksimalnog opterećenja:

$$PVR = .1221863 * \text{SQR}(W(I)) + 2.729252E-04 * W(I)$$

95%-vjerovatno maksimalno opterećenje:

$$PVR95 = .2109674 * \text{SQR}(W(I)) + 2.616583E-04 * W(I)$$

99.7%-vjerovatno maksimalno opterećenje:

$$PVR99.7 = .2553579 * \text{SQR}(W(I)) + 2.560249E-04 * W(I)$$

Slika 4. Primjer rezultata postavljanja modela za prognozu električnog opterećenja

## LITERATURA

- [1] M. OBAD: »Istraživanje veličine i karaktera električnih opterećenja gradskih stambenih cjelina sa primjenom računarski orijentisane vjerovatnosno-statističke obrade relevantnih faktora«, magistarski rad, Sarajevo, 1988.
- [2] C. KOFOD: »Forecasting distribution system loads by a new model«, CIRED, 1985.
- [3] J. ZAPLOTNIK: »Poraba električne energije odjemalcev na nizki napetosti 0,4 kV, Elektrolnstitut »Milan Vidmar«, Ljubljana, 1988.
- [4] M. CANAL, S. BEGEY: »Analyse et classification de la clientèle EDF en fonction de la forme de la courbe de charge« (II-clientele basse tension domestique) EDF Bulletin 2/1979.

DAS KONZEPT DER UNTERSUCHUNG DER GRÖÖE UND DES CHARAKTERS DER ELEKTRISCHEN BELASTUNGEN DER VERBRAUCHERGRUPPEN IN DER ELEKTRODISTRIBUTION

Es wird die Methode der Untersuchung der Charakteristiken und die Belastungshöhe bestimmter Verbrauchergruppen auf dem Distributionsniveau beschrieben.

КОНЦЕПТ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕЛИЧИН И ХАРАКТЕРА ЭЛЕКТРОНАГРУЗОК ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ГРУПП СБЫТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Изложен способ (аспект) исследования характеристик и величин нагрузок определенных потребительских групп на уровне сбыта электроэнергии.

Naslov pisca:

Mr. Mustafa Obad, dipl. inž.  
RO »Elektro-Hercegovina«  
Mostar  
88000 Mostar, Adema Buća 34,  
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:  
1989-04-07

A CONCEPT FOR EXAMINATION OF ELECTRICAL DISTRIBUTION LOADS VALUES AND CHARACTERISTICS

In the article is presented a concept for examination of electric distribution specific loads values and characteristics.

# LIGHTNING AND OVERVOLTAGE PROTECTION

Prof. dr. Mat Darveniza, Brisbane — Australia

UDK 621.316.91

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

In the article are presented various aspects of lightning disturbances on power and telephone lines and protective design with results of outage rates.

**Key words:** lightning, overvoltages, protection design, outage rate.

## 1 INTRODUCTION

During the century or so of the widespread establishment of electrical power and communications networks, the measures for protecting them against lightning have passed through several phases.

In the beginning, some considered that attempts to protect electrical equipment against direct lightning strikes were futile, while others were prepared to apply an extension of Franklin's rod — the distributed earthwire — to shield the electrical conductors from the full effects of injected lightning stroke currents. Guided by experience in the field, and supported by laboratory testing and some theoretical and analytical studies during the period 1930-1960, engineers developed surprisingly effective shielding systems, and these became the norm for important power lines and communication trunk circuits. However, because of cost, shielding was (and is) not used on distribution systems (both power and telephone), and it was accepted that they were vulnerable to damage by lightning.

The availability of digital computers in the mid-1960s initiated a major change in the approach to the design of lightning protection for power system equipment. It was soon realised that sophisticated models could be implemented on a computer to simulate most relevant aspects of the interaction between lightning and the power system. The successful development of complex programs for predicting lightning performance with acceptable accuracy, provided the designer with the analytical tools to design for a specified reliability index (eg. line outages/100 km-years, or equipment faults/year). This phase was completed, and successfully, by about 1980. However the removal of any computational constraints has exposed a lack of scientific knowledge of many of the physical processes involved in the lightning event. This makes the modelling imprecise and thus introduces uncertainty into the predicted results. Even though the level of uncertainty is acceptable to the designer, scientists and research engineers are committed to the current phase of research into the physical

processes relevant to lightning protection. Some of the more important processes which require attention are — (i) the final stages of the stepped leader and the launching of upward streamers from likely points of strike, (ii) the upwards propagation of the return stroke after contact, (iii) non-linear phenomena such as pre-and post-corona associated with lightning surge voltages and currents on lines, etc. Even though the instrumentation available for such studies is now very sophisticated, the experiments necessary to acquire the data which characterise the lightning processes are very difficult to perform. It is a hostile environment for experimental research, and progress is slow.

For power equipment, the computer — driven analytical model approach has been most successful in the lightning design for shielded lines and substations. Although it is now realised that lightning damage rates can be controlled for unshielded distribution equipment, lightning protection designs are based on field experience and laboratory testing rather than on analytical modelling (a notable exception is the unshielded high voltage line, see section 7.)

Somewhat surprisingly, lightning protection designs for communications systems are also not based on analytical models. For such systems, there does not appear to be available the sophisticated computer programs capable of modelling their interaction with lightning using site specific data. In the absence of a capacity to make quantitative predictions of lightning surge voltages and currents, of the effectiveness of protective devices and of damage rates, the designer has no recourse but to depend on field experience with various candidate protection schemes. Just why this is so, is not clear. Perhaps, for communications systems, there has been no parallel of the effort made during the last twenty years or so for power systems. Perhaps the communications system problem is far more difficult. After all, a power system engineer only needs to take action if a lightning surge voltage exceeds 30 kV — in contrast, a surge voltage of 300 V can be damaging in digital communication equipment. There is little doubt that the

lightning problems on communication systems will become greater and greater as ISDN is introduced progressively and as more distributed computer networks are implemented.

## 2 THE LIGHTNING GROUND FLASH

### 2.1 Mechanism of the Discharge

In the twenty year period between the publication of Uman's successive books on lightning [1, 2], our understanding of the processes has improved; but, the overall mechanism of the ground flash is basically the same as that outlined by earlier workers (such as Malan and Schonland). The following summarises the main features of a ground flash, with a concentration of those of relevance to lightning protection. Uman provides authoritative accounts of the details in [1, 2].

Four categories of ground flash are identified [2/1 Berger 1978] — downwards leaders which lower negative or positive charge, and upwards negative or positive leaders. The last are mostly launched from tall objects such as mountain tops, tall manmade structures or from the rockets used to trigger lightning. Most lightning strikes to objects of height less than 100 m above reasonably level ground are of the negative downwards leader category. Normally, positive downwards lightnings are rare (less than 1 percent), except for the special circumstance of winter thundersorms in mountainous regions located in temperate areas such as Norway and Japan.

So for lightning protection in tropical and subtropical areas, it is usually sufficient to concentrate on the negative downwards leader category. Its observable features are illustrated in Fig. 1.

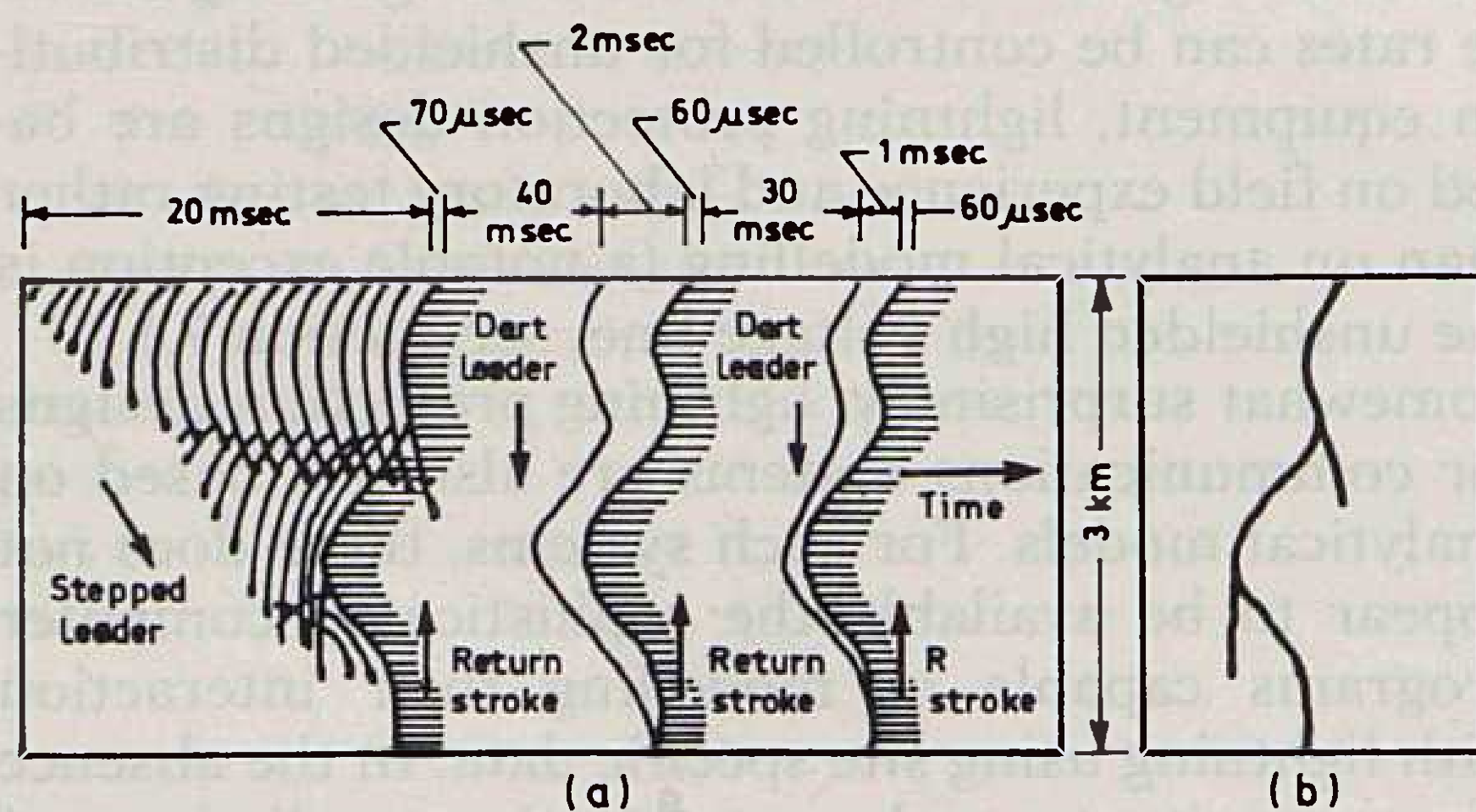


Fig. 1 Luminous features of a negative lightning flash to ground (reproduced from [2])

After the thunderstorm cloud has been electrified by charge separation (positive charge at the top, negative charge below, with a pocket of positive charge at the base), the occurrence of pre-discharges near the cloud base is followed by the appearance of the downwards leader. The leader proceeds towards ground by a stepped and branched process in which negative charge is lowered. Its average downward speed is about  $0.2 \text{ m}/\mu\text{s}$ . The electric field at the ground increases as the leader tip approaches (its poten-

tial is believed to be in excess of 10 MV), and in due course, upwards streamers develop from protruberances on the ground. Contact between one of these streamers and the downwards moving leader (now probably deflected towards the streamer) constitutes the last step in the leader process. The leader channel is then discharged by the first return stroke which propagates upwards at about  $100 \text{ m}/\mu\text{s}$ . The (first) return stroke injects current into the stricken object, typically rising to a peak of about 30 kA in a few  $\mu\text{s}$  and falling to half value in about  $50 \mu\text{s}$ . The high temperature arc column of the return stroke expands rapidly, generating the shock waves that become thunder.

After the return stroke current has ceased, the flash may terminate completely, and this is called a single-stroke flash. But it is much more likely ( $\sim 70\%$ ) that the flash processes will continue, leading to a multi-stroke flash (on average, there are three or more strokes per flash, with interstroke time intervals of 20 to 80 ms). Again after some preliminary discharges (J and K processes) which connect the upper end of the first return stroke channel to other charge regions in the cloud, a dart leader progresses downwards to ground along the same channel, and this initiates a second return stroke. Further subsequent strokes may follow. The dart leaders are not usually branched, and so the subsequent strokes mostly follow the original channel. Subsequent return stroke currents are smaller but have shorter rise-times than the first-stroke currents. On some occasions a continuing current of about 100A and msec duration follows in the channel after a return stroke — this is often called the 'hot' component of the lightning current, and is believed to be the cause of lightning-initiated fires. Some observers note that a continuing current component might be present in as many as 40 percent of all ground flashes. Also, on a significant number of occasions (some say as high as 30 percent), a subsequent dart leader may depart from the preceding stroke channel. When this happens, it takes on the branched character of a first-leader, and the resulting subsequent stroke current also resembles that of a first stroke. This type of multi-stroke flash has two (sometimes three) stricken objects, these may be separated by hundreds of metres.

The much less frequent downwards positive discharge is very different in character. The leader proceeds downwards from the upper positive charge regions of the thundercloud. Positive ground flashes are of some practical interest because their peak currents (and associated charge transfer) can be much larger (200 to 300kA) than negative flashes (rarely exceed 100kA). These large positive lightnings are sometimes called »superbolts«, and even though their rise times are relatively long (many tens of  $\mu\text{s}$ ), they can be hazardous to objects susceptible to damage from high energy discharges.

## 2.2 Modelling Matters of Relevance to Lightning Protection

There are two matters of vital concern to the design of lightning protection systems. They are the modelling of the leader processes required to determine the point of strike, and the modelling of the return stroke to determine the overvoltages on the nearby or stricken electrical conductors.

The return stroke models are now well described in the literature. For calculations of the overvoltages caused by current injection from direct strikes, an adequate model is that of a transient current generator connected to conductors modelled by transient surge impedances. Because the transient impedance of the stroke channel is large compared to that of the conductors, a simple ideal current generator can be used. Appropriate values for current magnitudes and waveshapes are readily available in the literature for all types of strokes (eg. chapter 7 of [2] and [4]). To calculate the overvoltages induced by the electric and magnetic fields of a nearby ground flash, a more sophisticated model is required of the physical characters of the return stroke. Uman describes a three-component model [2/7 Lin et al. 1980] — a breakdown pulse current, a leader charge discharge current, and a uniform channel current. This model enables calculation of the fields at points of various distances from the ground flash, and so the induced voltages can be determined from these (forcing) fields.

In contrast, no such reasonably adequate model exists for the determination of the most likely target point below a downwards stepped and branched leader. In chapter 6 of [2], Uman describes the sparse information available about the upwards streamers and the contact with the leader. Several workers, eg. [2/7 Golde 1963, Thum et al. 1982], have attempted theoretical analyses based on the calculation of electric fields caused by the leader charge. But there are far too many unknowns for this approach to succeed, and hence there is no recourse but to use some form of the electrometric model to determine the strike point. This model was first developed by assessing the effectiveness of the shielding provided by lightning rods and overhead shieldwires [2/7 Brown and Whitehead 1969].

The ground flash leader is modelled as a conducting channel which progresses in a straight line from the cloud base towards the earth. It may be nonvertical, and for modelling purposes, a distribution of leader approach angles must be selected. The leader tip is assumed to progress downwards unaffected by objects at the earth's surface, until it comes within the striking distance ( $d_s$ ). This is the point when the direction of the leader (in its last step) is influenced by such objects, presumably by one of the upwards streamers emanating from likely target points. There is a marked lack of understanding of the upwards streamers and of the processes which determine the connection to the leader tip and so determine which object will be struck. The simplest electromagnetic model (usually named the Whitehead model) to deter-

mine the point of strike is the minimum strike distance method. The striking distance is assumed to be determined by the charge in the leader channel, and hence a mean value for  $d_s$  can be related to the prospective stroke current magnitude  $I_p$ . A commonly used relationship has the form

$$d_s = kI_p^b \quad (1)$$

which  $k$  and  $b$  are constants, eg. with values of 10 and 0.65, where  $d_s$  is in meters and  $I$  in kA [2].

Thus any leader progressing towards earth is characterised by a prospective  $d_s$ . The Whitehead electrometric model determines the strike point quite simply as the point which first comes within striking distance of the leader tip. The criterion applies to all likely target points — lightning rods conductors, the earth, or any nearby raised objects (including non-level ground, trees, buildings, towers, etc.).

Various workers have described analytical methods for implementing the electrogeometric model, including [2/6 Brown Whitehead 1969, Currie et al. 1971 (Monte Carlo based)], and more recently, Grant et al. [5]. Its simplest implementation is the rolling sphere method, and this is now widely used to design the shielding to be provided by lightning rods and overhead shieldwires. It is necessary to invoke the concept of the critical striking distance  $d_{sc}$ , as this sets the radius of the rolling sphere. The selected  $d_{sc}$  is that associated with the smallest (often called critical) stroke current capable of damaging the stricken object (eg. failure of electrical equipment). Critical currents are usually less than 5kA. Once the radius of the rolling sphere has been so selected, the rolling sphere is used to locate lightning rods and/or shieldwires relative to the object(s) to be protected and to ground, such that the leader tip will first come within striking distance of the shielding system or the »ground« **before** it can come within striking distance of any point on the object to be protected. There is no particular need to restrict »ground« to mean a level horizontal plane. It can include any other object connected to the ground and so the rolling sphere method can accommodate the influence of nearby protruberances (non-level ground, surrounding trees, buildings, etc.).

But, it must be realised that the electrogeometric model (including its rolling sphere implementation) is only a crude method for modelling the processes which control the upwards streamers and the connection to the leader. It is based only on the shortest striking distance criterion. It does not attempt to account for any particular factors likely to influence the launching and the growth of upwards streamers. The method has three main virtues — it is simple, it appears to be reasonably effective in the design of shielding for power lines, and perhaps most important of all, it is the only available method which has earned wide acceptance.

### 3 OVERVOLTAGES CAUSED BY DIRECT AND INDIRECT LIGHTNING STROKES

Lightning ground flashes can cause overvoltages by (i) direct strikes to active conductors, (ii) backflashes resulting from direct strikes to shielding systems, and (iii) induced surges resulting from nearby strokes to ground. In each category, there is a wide variety in the characteristics, because lightning stroke currents can vary widely in magnitude (3 to over 200kA, mean value 30kA) and in waveshape (eg, front-time from 0.1  $\mu$ s) [2].

#### 3.1 Induced Overvoltages

The overvoltages induced on unearthed above-ground conductors by nearby strokes are dependent on many factors. But since their maximum magnitude very rarely exceeds 200kV [6], induced lightning overvoltages on power lines can generally be neglected for all but distribution systems. Even for 11kV systems, line insulation can readily be provided to withstand 200kV (e.g. porcelain plus 0.5 m of wood). Thus line outages are not expected due to this cause; but of course, equipment with lower impulse insulation levels (415V–30kV, 11kV–95kV, 22kV–150kV) require overvoltage protection.

The situation is rather different for most communications circuits. It is the same for the outdated open-wire telephone lines, and these must be provided with overvoltage protection. It is also the same for aerial cables without conducting screens or with unearthed screens. Short lengths of such aerial cables are often used to connect subscribers to underground cable networks, and they can be a source of hazard to both the terminal equipment and to its user (refer section 9). However, for aerial cables with earthed screens and for cables buried underground, the overvoltages induced by the propagating electromagnetic fields (generated by return stroke currents) are very much smaller and rarely exceed 2000 V [7]. Fields propagating over earth of finite resistivity develop a horizontal component of the electric field, and recent work indicates that it is this component which induces the surge voltages.

#### 3.2 Direct Stroke Overvoltages

A lightning stroke may terminate on an active conductor either because of a direct strike to an unshielded line or because of a shielding failure, ie. the stroke bypasses the shielding system. The overvoltage caused by a lightning current  $I$  terminating on a conductor of surge impedance  $Z_0$  is

$$V_{cg} = 0.5 I Z_0 \quad (2)$$

The magnitude is always potentially very large, eg., an average stroke current of 30kA injected into an aerial conductor of surge impedance 500 ohms will produce a (prospective) overvoltage of 7500kV; for a shallow buried conductor of surge impedance 100 ohms, 1500kV could result. Thus direct strokes to active conductors nearly always flashover.

Such a direct stroke to an unshielded line also results in overvoltages which stress the insulation to other conductors. If  $CF$  is the coupling factor between the stricken conductor and a sound conductor, the conductor-to-conductor overvoltage is

$$V_{cc} = 0.5 I Z_0 (1 - CF) \quad (3)$$

Since  $CF$  is typically 0.1 to 0.3, direct strokes to unshielded lines with high insulation strengths to ground (as on wood-pole lines) will also cause conductor-to-conductor flashovers.

Because, direct strokes nearly always cause flashovers of line insulation to ground, the overvoltages caused by them are confined to the immediate vicinity of the point of strike. Because of the flashovers, the overvoltages are limited in magnitude and are of very short duration, and so their severity decreases markedly with distance of propagation from the strike point due to corona effects.

#### 3.3 Backflash Overvoltages

When lightning strikes a tower and/or an overhead earthwire of a shielded power line travelling waves are set up in the tower-earthwire system. The stroke current divides between the tower and earthwires, and reflections and transmissions occur as each travelling wave reaches the various impedance discontinuities (earthwire-tower, tower base-earth resistance, etc.). The injection by stroke current raises the potential of the tower-earthwire system above that of earth, and the resulting voltages must be calculated using the travelling wave techniques described in section 4. Large potential differences may be developed between the stricken tower/earthwire systems and the line's phase conductors, and its insulation may then fail by so-called backflashovers.

A somewhat similar situation occurs when lightning strikes a communication cable (aerial or underground) enclosed in a conducting screen/sheath. The stroke current flows along the sheath causing an impulse voltage to be developed between it and the inner conductors [8]. The magnitude of this overvoltage is determined by the longitudinal resistance of the sheath and by the current in the sheath. For an aerial cable, most of the stroke current flows in the sheath until earthing points are reached. For buried cables, the lightning flash must make a (sparking) connection to it, and clearly the sheath current magnitude will depend on the soil resistivity as this will determine the sharing of the current between the sheath and the various soil paths. The presence of intercepting shieldwires (external to the cable) must reduce the sheath — inner conductor overvoltage because far less current will flow in the sheath.

#### 3.4 Lightning Overvoltages at Locations Distant from the Point of Strike

Except for the particular case of direct strokes to active conductors resulting in immediate flashover(s), lightning overvoltages near the strike point have waveshapes of 0.1–15/0.5–50  $\mu$ s. When these are impressed on conductors, the overvoltage surge then

propagates along the line until it is incident on a termination. Clearly, the magnitude of the voltage surge is limited to the maximum the line insulation can carry without flashover (usually taken to be 120% of the 50% impulse sparkover voltage). Because the voltage magnitude is much greater than the conductor's corona onset voltage, the voltage surge is attenuated and distorted as it propagates along the line. The net effect is to reduce its severity, both in magnitude of its voltage (and its current, usually to less than 10kA) and its steepness (kV/ $\mu$ s and kA/ $\mu$ s). The extent of the ameliorating influence of corona is determined by the distance of travel. Typical voltage wave shapes remote from the strike point are 1 – 80/4 – 150  $\mu$ s.

#### 4 COMPONENTS OF LIGHTNING PROTECTION SYSTEMS

The components are dictated by the functions required of lightning protection systems. These are in two categories — those pertaining to direct strikes and those required to protect equipment distant from the ground flash.

For direct strikes, the aims are to provide a convenient conducting path for the return stroke current to earth, and in so doing, to minimise its possible damaging effects. The simplest effective method is to provide shielding in the form of an air termination system, which intercepts the ground flash, and which is connected to the ground by a downconductor system. The conventional air terminations are lightning rods or masts and overhead shieldwires. Some commercial providers of lightning protection systems also offer nonconventional terminations, which are claimed to possess enhanced capacity to promote the growth of upwards streamers and so to provide superior interception. There is little acceptance of such terminations by the scientific and professional engineering communities [9], or by standardising bodies. The downconductor system comprises one or more conducting downleads of low impedance, connected to earth by a low resistance earthing system. Again, some commercial providers offer non-conventional downconductors, eg. insulated or screened downleads, but these also have little acceptance [10]. The conventional lightning protection systems are fully described in various codes of practice and standards, eg. [11].

For direct strikes to active conductors on electrical systems, a second but somewhat more risky protection system is also widely used for distribution circuits. Surge arresters (also called protectors) are connected to the active conductors. They must perform two mandatory functions and preferably a third. During normal operation (ie. no lightning strike or for that matter, no other overvoltage event), they must exhibit an impedance sufficiently high to have no effect on the electrical system. Immediately a lightning strike occurs, the arrester must »switch on« and provide a low impedance path for the return stroke current to ground, and in so doing, must limit the dis-

charge voltage to a level below the impulse withstand voltage of the electrical equipment. These two are the required functions of all types of surge arresters — air gaps, gas discharge protectors, gapped silicon carbide arresters, metal-oxide arresters, and solid state devices such as Zener diodes, Transzorb and multijunction »crowbar« devices. Of these, the simple air or gas gaps normally do not possess the third desirable function, viz., to reseal (against the normal electrical system voltage) after the lightning current has been discharged. The others do reseal, always provided their discharge capacity has not been exceeded (this indeed is a very real problem for arresters fully exposed to direct stroke currents). The second category of lightning protection systems is that which has to provide overvoltage protection against surges which arrive at equipment locations some distance from the ground flash. The surge voltages are caused either by the arrival of travelling waves which propagate along conductors from or near the point of strike, or by induction from the electric and magnetic fields which propagate over the earth from the return stroke channel. In either case, the severity of the surge is far less than that caused by a direct strike. And so, they are dealt with most adequately by the surge arresters (protectors) just described. In fact, it is true to say that for both power and communications systems, the protective characteristics of arresters are mainly designed with this category of surge in mind.

In the above, the functions of discharging the lightning surge and limiting the discharge voltage may infer that it is always mandatory that the remaining overvoltage be limited with respect to »true« earth. This is of course desirable, but is not achievable in certain situations, eg. high earth resistance. The particular function now required of the protective arrester is that of »potential equalisation«. That is, the potentials developed across the equipment to be protected must be kept sufficiently small, even if the voltage with respect to »true« earth is high. This limitation of potential differences between components of equipment to be protected requires that the »earthy« end of the protector be connected directly to the equipment's frame/chassis/enclosure.

#### 5 LIGHTNING PROTECTION OF (SHIELDED) TRANSMISSION LINES

Except for areas of low thunderstorm — day levels (say less than 15 pa) most transmission lines for voltages of 110kV and above are protected by earthed shieldwires. For such lines, induced overvoltages due to nearby ground flashes are not a problem. Therefore, the lightning protection design is only concerned with outages caused by shielding failures and backflashovers. As discussed in the Introduction, the analytical tools for predicting lightning performance now available to the designer make it possible to design (with confidence) for a specified reliability index dictated by system considerations. As a general guide, a lightning outage rate of less than 1/100 km-

-yrs characterises a good lightning performance (some might say a lightning — resistant design). The modelling for such calculations is detailed in [3]. Various simplified by-hand methods, including generalised curve methods, are available for predicting lightning performance; but the last ten years or so, has seen the extensive use of sophisticated task-specific computer programs, eg. [3, refs. 4 and 10] and even the implementation of simplified methods on personal computers [5].

### 5.1 Shielding Design

The purpose of overhead earthwires is to shield the phase conductors from lightning strokes capable of causing flashover of line insulation. Shielding is considered to be effective if the flashover rate due to shielding failures is acceptably small, eg. 0.1/100 km-years, or less than 10 percent of the total lightning outage rate of the line.

A capacity to intercept most ground flashes to line is not the only function of the overhead earthwire. Any that do penetrate, must have stroke currents less than critical current capable of causing line flashover. So the shielding failure rate (*SFO*) is dependent on both line configuration and line insulation —

$$SFO = f(h, TD, V_{li}, Q_s) \quad (4)$$

where  $h$  is the line height,  $TD$  the thunderdays per year,  $V_{li}$  is the line insulation level and  $Q_s$  is the shielding angle.

The available analytical methods for designing the shielding (selection of the number of earthwires and their location) are:

- (i) by — hand formulae, eg. [12, chapter 4.3]
- (ii) simplified generalised methods, usually based on the Whitehead electrogeometric model eg. [12, chapter 4.31], [5], or empirically derived from field performance of lightning.
- (iii) sophisticated modelling of lightning phenomena relevant to shielding based on Monte-Carlo manipulation of the electrogeometric model [3, ref. 10]. Program MCSFP enables full modelling of the line and of its surroundings.

### 5.2 Backflash Design

Travelling wave calculations are required to determine the voltages on the tower-earthwire(s) ( $V_{tew}$ ) caused by injection of the stroke current. The travelling wave calculations are made even more complex by the fact that the lightning voltages are large enough for corona to affect surge impedances and propagation velocities, and similarly, the currents are large enough to cause ionisation and breakdown of the soil at the tower base, making the earth resistance non-linear. These require dynamic modelling.

The voltages on the tower-earthwire(s) are coupled electromagnetically into phase conductors,

$$V_{pg} = V_{tew} CF \quad (5)$$

and therefore the line's insulation is stressed by a voltage ( $V_{li}$ )

$$V_{li} = V_{tew} (1 - CF) \quad (6)$$

But, there is power frequency voltage on the phase conductor(s) at the instant of the flash, and these can have any instantaneous value between + or — peak voltage. This voltage (*IPFV*) can add to or reduce the lightning voltage, and so the actual overvoltage stressing the line is

$$V_{li} = V_{tew} (1 - CF) \pm IPFV \quad (7)$$

Obviously, flashover(s) will occur if  $V_{li}$  exceeds the breakdown voltage of the line insulation (insulators, air clearances at the tower, and earthwire-to-phase conductor air gap along the span).

Backflashover calculations are complex because a lightning backflash outage is dependent on a large number of lightning and line parameters. And so, backflash calculations are beyond the scope of simple by-hand methods. The overvoltage ( $V_{tew}$ ) caused by a lightning stroke to the overhead earthwire/tower system is determined primarily by the stroke current magnitude and time to crest, by the earthwire and tower surge impedances and the tower footing resistance; and to a lesser extent, by the span length and tower height. A portion ( $CF$ ) of the voltage on the earthwire is coupled into the phase conductors, and hence only the balance  $(1 - CF) V_{tew}$  stresses line insulation.  $V_{li}$  is a time-varying voltage of non-standard waveshape. A further complication is that major non-linearities arise from voltage and current dependent effects on corona, surge and mutual impedances and footing resistance. The available methods used in line design to achieve a desired backflashover rate (*BFO*) are:

- (i) generalised curves suited to particular classes,
- (ii) sophisticated probabilistic methods applicable to a wide range of specific line designs. Program DCORTL [3, ref. 4] can be used for single — and double-circuit lines,
- (iii) a simplified method [5] developed by an IEEE Working Group from an earlier version by Anderson (1982), and which can be implemented on a programmable calculator or a personal computer.

The normal means for achieving a good backflashover rate are low footing resistance, good coupling between earthwire(s) and phase conductors and adequate line insulation levels. Special consideration may be needed for lines in areas of high soil resistivities, such as the use of buried counterpoise wires, and for double-circuit lines, measures to minimise the likelihood, of outages involving both circuits simultaneously [3, ref. 8].

### 5.3 Accuracy of Lightning Performance Calculations

It is necessary to caution line designers to be aware of the uncertainties in lightning performance calculations, which arise from deficiencies in knowledge of the physics of lightning and of lightning caused phenomena on lines [3]. For reasonably conventional lines operating in climatic environments typical of present-day power systems, line outage rates can be predicted with reasonable certainty using the sophisticated analytical methods. Thus Fig. 2 illustrates



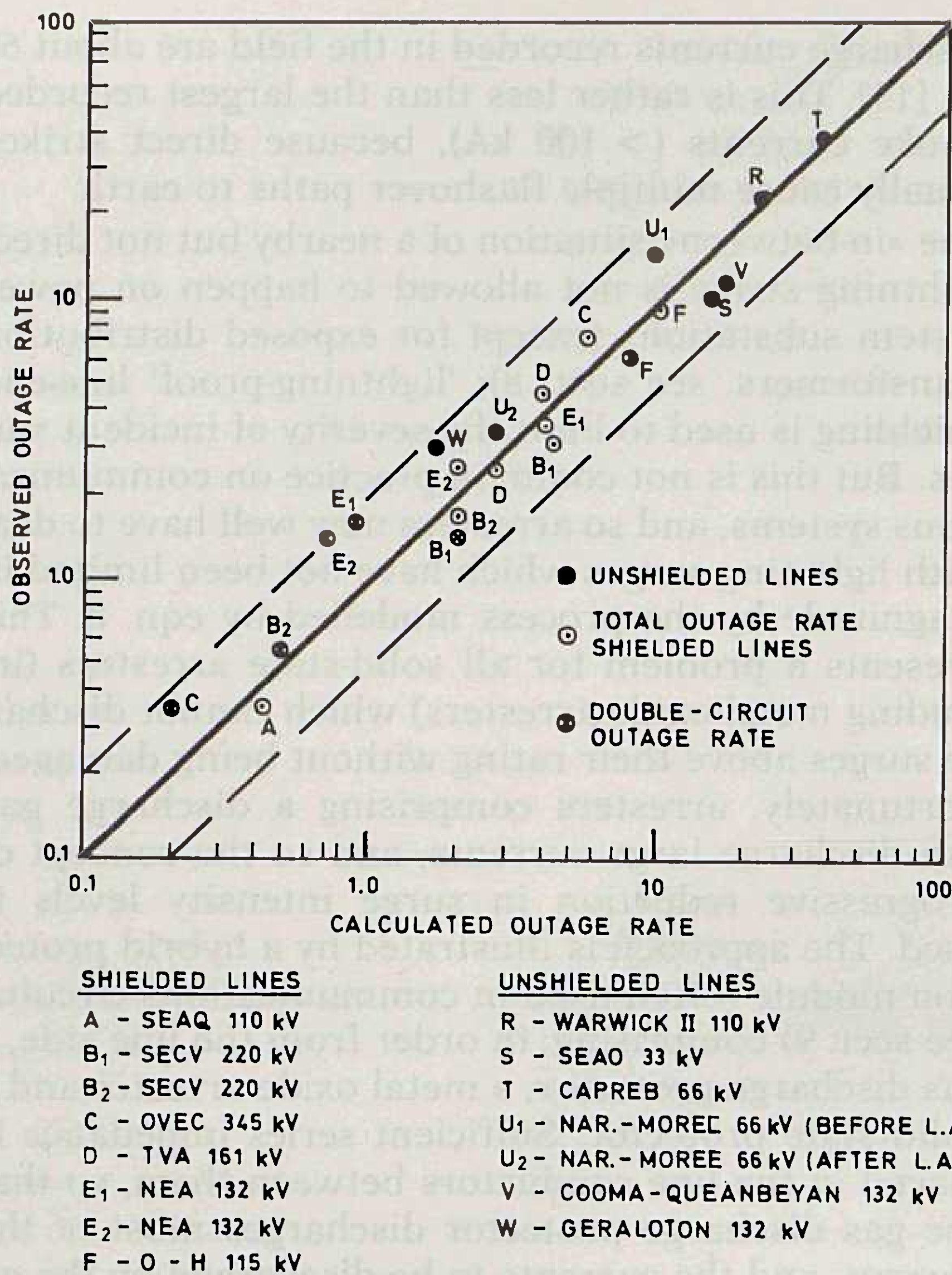


Fig. 2 Comparison of calculated and line outage rates/100 mile-years, programs MCSFP, DCORTL and WPTL [3]

that, for one such method, the ratio of calculated to observed outage rates is normally in the range 0.67 to 1.5. But, another analytical method, albeit a simplified method [5], may yield results outside this accuracy range, see Fig. 3. More inaccuracy may result if generalised curves are used.

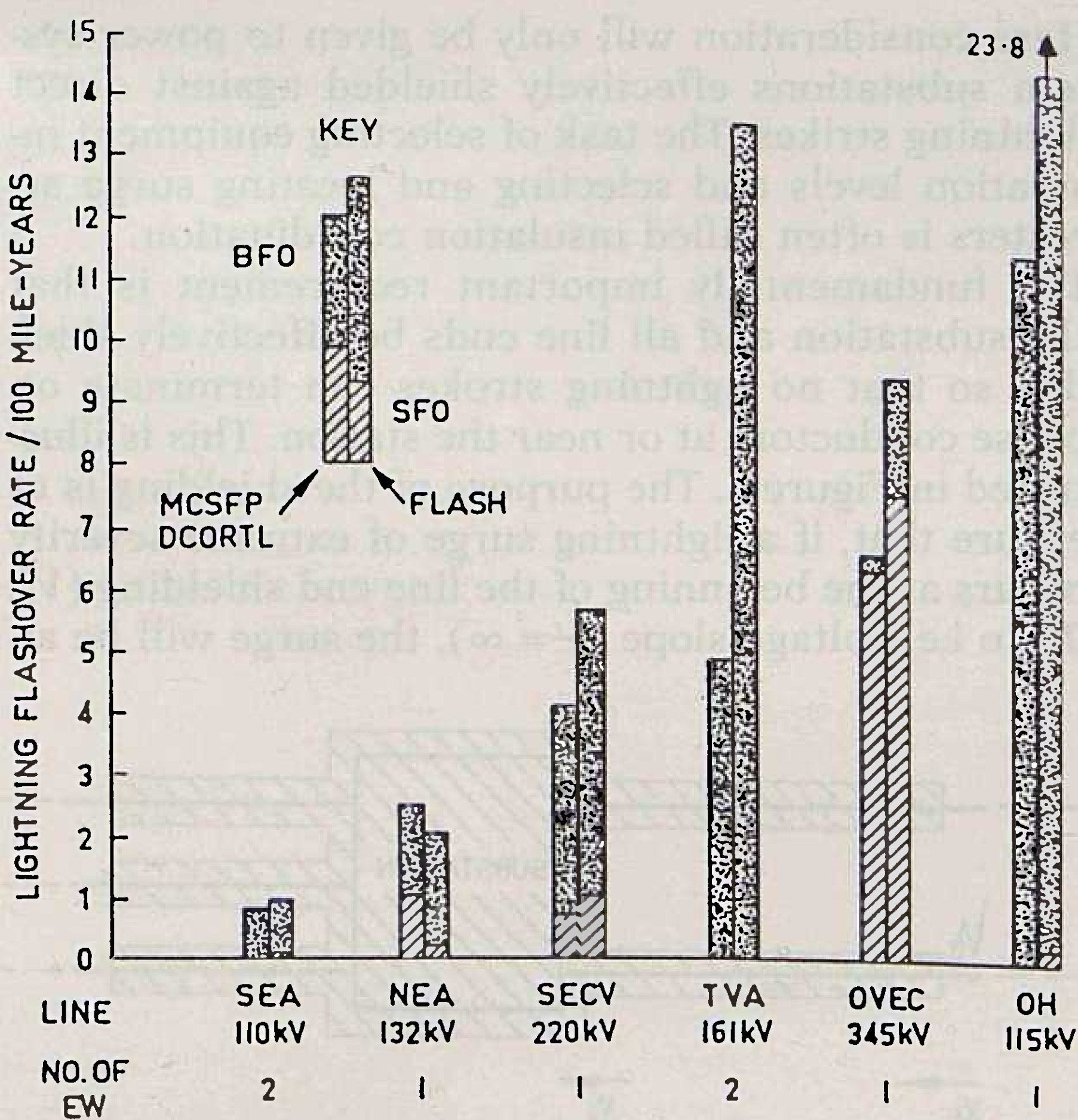


Fig. 3 Lightning flashover rates estimated using UQ [3] and IEEE WG [5] programs: left-hand box - MCSFP/DCORTL right-hand box - FLASH

Caution should also be exercised in determining a field value for the lightning outage rate of an operating line. Apart from the difficulty of actually attributing an outage to lightning, it is well known that annual numbers of lightning outages fluctuate markedly for most lines. Darveniza [13, chapter 7.5] has shown that yearly outage rates can fluctuate between 0 and 2 to times the long-term mean. If the lightning performance of a line is assessed using five year outage data, there is a 96% probability that the observed 5-year mean will be with 50% of the long-term mean.

The above remarks apply to the lightning performance of both shielded and unshielded lines.

## 6 SELECTION OF SURGE ARRESTER RATINGS

The functions of overvoltage protective devices were considered in sect. 3. These determine the selection of their ratings, namely, protective level ( $V_{pr}$ ), voltage rating ( $V_r$ ) and discharge current rating ( $I_d$ ). Their prime function is to limit excessive potential differences which can occur between vulnerable points in apparatus, eg. across insulation, or across transducers. So they are usually connected from active conductors to »earth« in power circuits, and between conductors and to »earth« in communications circuits. In this context, »earth« means a connection both to the protected equipment's frame/chassis/enclosure and to true earth.

Obviously the surge arrester's  $V_{pr}$  must be below the impulse withstand voltage of the protected insulation or apparatus - for both power and communication systems. In the latter, it is usually also necessary to limit the transient spikes which can damage signal processing devices (such as integrated circuits) and signal transducers (such as telephone earpieces). It is clear therefore that it is the equipment to be protected that dictates the protective level required of the surge arrester. Thus for 11 kV and 415/240 V equipment on a power system with standardised impulse insulation levels of 95 kV and 30 kV respectively, common arrester protective levels are 40 and 3 kV - clearly providing margins sufficient to account for such effects as arrester lead inductance and arrester-to-apparatus separation distance (to be discussed in sect. 7). But, the 240 V a.c. power supply for electronic equipment will have an impulse withstand level very much below 30 kV (say 5 kV), and this places a different demand on its surge arrester [13]. In contrast to both, a logic I.C. in a digital circuit rated at 5 V for supply and signal lines would require that any transient spike be limited to much less 50 V.

But it is necessary to define what is meant by the protective level of an arrester. It is defined as the highest peak voltage which would not be exceeded when impulses of standard shapes and rated values are applied under specified conditions. These conditions are specified in appropriate standards: for power systems, for low voltage a.c. power circuits, for communications circuits and for digital systems.

Common lightning test waveshapes are 1.2/50  $\mu$ s for voltage and 8/20  $\mu$ s for current.

The voltage rating of an arrester is selected to satisfy the function of not affecting the electrical systems (to which it is connected) under normal operating conditions. This is normally taken to mean that arresters with gaps act as open-circuits for normal and abnormal system voltages (ie. they are only to »switch-on« for surges); for metal oxide arresters, the peak leakage current should be acceptably small at normal maximum operating voltage (eg. less than 1 mA peak for power arresters); for solid state arresters, the impedance should be acceptably high at normal operating voltages and frequencies. For arresters which possess a reseal capability, the voltage rating is usually selected as being the highest voltage against which it can reseal after having discharged its rated surge current. It is necessary therefore to determine the highest system voltage likely to be present during the abnormal conditions associated with a lightning strike. For example, on a power system, this may be the highest voltage on a sound phase with a fault on one or more of the other phases. The voltage rise on a sound phase is dependent on system conditions, particularly its neutral earthing; a common rise is 1.4 pu for an effectively earthed system.

The discharge current rating of an arrester is simply related to the largest credible lightning surge current likely to pass through it in service. As indicated towards the end of sect. 4, arresters are normally only expected to discharge surges which arrive at equipment some distance from the strike point of a lightning ground flash. The intensity of the incident surge is therefore limited by the characteristics of the lines along which the lightning surge can travel. The key parameters are the highest likely withstand voltage ( $V_w$ ) of the line or cable insulation (usually taken to be 1.2 times the 50 percent impulse sparkover voltage), and the line or cable surge impedance to ground ( $Z_o$ , usually about 400 to 500 ohms for aerial conductors and about 100 ohms for cables on or near the ground surface). Then, neglecting the discharge resistance of the arrester itself, the maximum credible discharge current is

$$I_d = 2V_w/Z_o \quad (8)$$

Two typical cases soon show that  $I_d$  is normally much smaller than the average lightning stroke current of 30 kA. A 132 kV line with a line insulation level of 750 kV and a surge impedance of 400 ohms would impose a maximum credible surge current of 4.38 kA on an arrester connected at its end. A communication cable with a plastic sheath puncture voltage of 100 kV and a surge impedance of 100 ohms could impose 2 kA. These explain why the discharge current ratings of most arresters are 2.5, 5 or 10 kA. But it must never be forgotten that these current ratings are for arresters not subjected to (some might say, effectively protected from) direct stroke currents. Arresters connected to equipment in the field and directly exposed to lightning strikes must discharge much larger currents. It turns out that the largest

discharge currents recorded in the field are about 60 kA [14]. This is rather less than the largest recorded stroke currents (> 100 kA), because direct strikes usually cause multiple flashover paths to earth.

The »in-between« situation of a nearby but not direct lightning strike is not allowed to happen on power system substations (except for exposed distribution transformers, see sect. 8); 'lightning-proof' line-end shielding is used to limit the severity of incident surges. But this is not common practice on communications systems, and so arresters may well have to deal with lightning surges which have not been limited in magnitude by the process modelled by eqn. 8. This presents a problem for all solid-state arresters (including metal oxide arresters) which cannot discharge surges above their rating without being damaged. Fortunately, arresters comprising a discharge gap can discharge large currents, and so the concept of progressive reduction in surge intensity levels is used. The approach is illustrated by a hybrid protection module (often used in communications circuits, see sect. 9) comprising, in order from the line side, a gas discharge protector, a metal oxide arrester and a solid state protector. Sufficient series impedance is placed in the line conductors between them, so that the gas discharge protector discharges most of the current, and the currents to be discharged by the other two are progressively limited to their current rating(s). Of course, such a module permits the optimum exploitation of the »switch-on« times of the three devices — in order of speed, the solid state device, the metal oxide arrester, and slowest of all, the gas discharge protector.

## 7 LIGHTNING PROTECTION OF SUBSTATIONS

Here consideration will only be given to power system substations effectively shielded against direct lightning strikes. The task of selecting equipment insulation levels and selecting and locating surge arresters is often called insulation coordination.

The fundamentally important requirement is that the substation and all line ends be effectively shielded so that no lightning strokes can terminate on phase conductors at or near the station. This is illustrated in Figure 4. The purpose of the shielding is to ensure that, if a lightning surge of extreme severity occurs at the beginning of the line end shielding ( $V_L$ ,  $T_f = 0$  i.e. voltage slope 'a' =  $\infty$ ), the surge will be at-

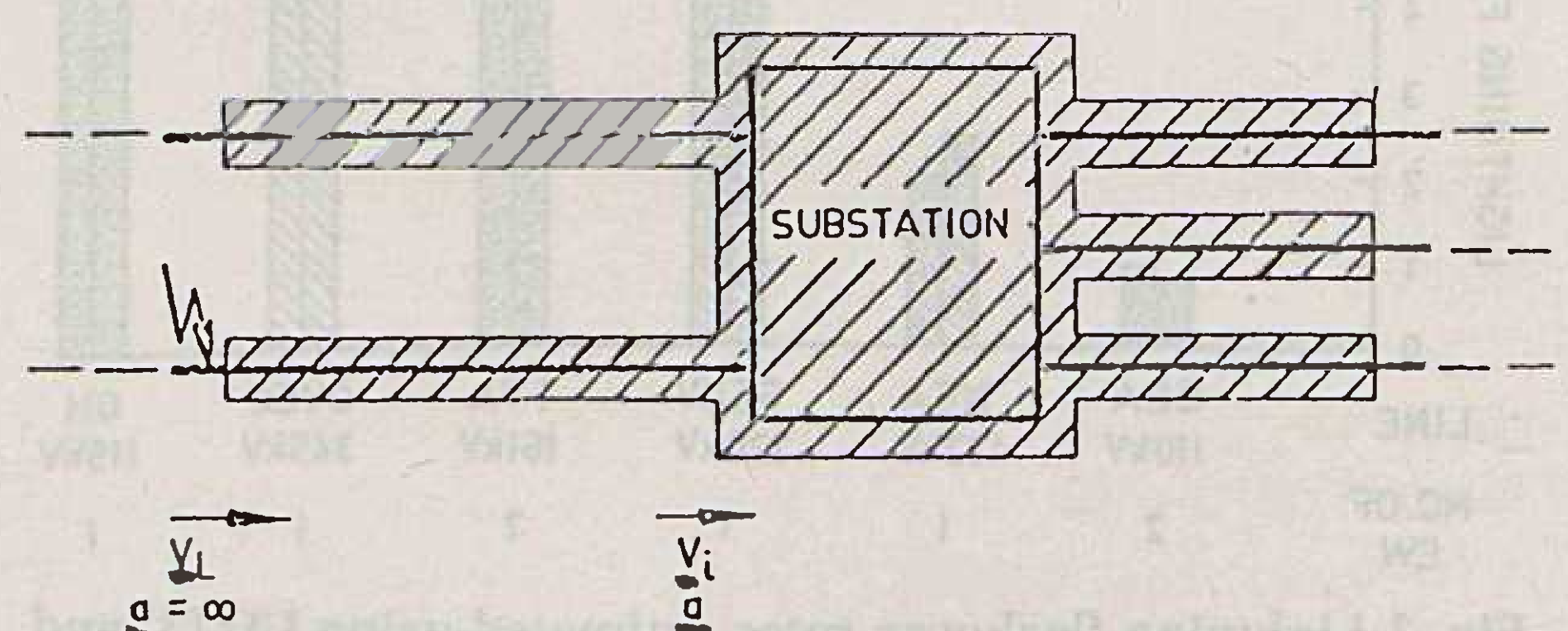


Fig. 4 Line end and substation shielding for effective protection against direct lightning strokes

tenuated and its front prolonged by corona as it travel through the line end zone to the substation.

Because the magnitude of the surge which can begin its travel to the substation is limited to the maximum the line can carry without flashover,  $V_L$  is determined by the line insulation level (usually set at  $1.2 \times$  the 50% impulse sparkover voltage). Then, for by-hand calculations, the characteristics of the most severe lightning overvoltage likely to enter the substation are obtained by using [12] —

- (i) The Foust and Menger formula for magnitude attenuation.

$$V(d) = V(o)/(kdVo + 1) \quad (9)$$

- (ii) front prolongation data such as [12, chapter 4.7) or by modelling corona effects using a voltage dependent velocity of propagation  $u(V)$

$$u(V) = u[1 + K(1 - Vc/V)/C] \quad (10)$$

in which  $V$  is the peak voltage,  $d$  is the distance travelled,  $k$  and  $K$  are empirically selected constants,  $Vc$  is the corona onset voltage, and  $C$  is the capacitance of the conductor (to ground).

The resulting values for  $V_i$ , its front time  $T_f$  and hence  $a$ , are dependent on the distance of travel, the initial magnitude of the surge voltage ( $Vo$ ) and the corona characteristics of the conductor.

Continuation of by-hand calculation of lightning overvoltages inside the substation requires that it be simplified to a single-line single-transformer equivalent. In many instances, this is the worst-case operational state (from a lightning point-of-view). If the smallest number of lines likely to be connected to the bus is  $n$ , then a reduced surge voltage slope should be used, viz;

$$a^1 = 3a/(n + 2) \quad (11)$$

Then, the maximum lightning overvoltages in the substation are given by:

- (i) with no lightning arresters present —

$$V_m = 2V_i/n \quad (12)$$

- (ii) with a lightning arrester of protective level  $V_{pr}$  connected distances  $d_1$  from the transformer and  $d_2$  from the substation entry —

$$V_{m1} = V_{pr} + 2a d_1/v, \text{ but } < 2V_p \quad (13)$$

$$\text{and } V_{m2} = V_{pr} + 2a d_2/v \quad (14)$$

The inductance of the arresters leads (about  $1.2 \mu\text{H}/\text{m}$ ) can degrade its protective level by a voltage drop term  $L di/dt$ . The current slope  $di/dt$  can be estimated by dividing the arrester discharge current (from eqn. 8) by the front time  $T_f$ . To account for this,  $V_{pr}$  in eqns. 13 and 14 is simply increased by  $L di/dt$ .

Most designers use a simple step-by-step procedure for the insulation coordination of substations, eg. [12, chapter 7.3]. More recently, a CIGRE Task Force (33.01.02) has described an updated version [15]. The basic steps are

- (i) estimate the magnitude  $V_i$  and slope  $a$  of the surge incident on the substation,  
 (ii) select the arrester voltage and current ratings and hence determine  $V_{pr}$

- (iii) for the favoured arrester location, use eqns. 13 and 14 to estimate the maximum lightning overvoltages in the substation, and  
 (iv) provide margins and so select insulation levels for the equipment in the substation.

If the lightning overvoltages seem too high the most effective solution is to increase the length of line-end shielding (Fig. 4), as this reduces the severity of the incident surge (the critical parameter is the slope  $a$ ). The simple by-hand estimates of lightning overvoltages in substations described above must be used with considerable caution when coordinating apparatus insulation levels and arrester protection characteristics. Because many important parameters are either neglected or are treated simplistically, large safety margins must be used in design. More realistic calculations use sophisticated computer programs such as the travelling wave program (TWP [3]) and the Bergeron method program (EMTP). Because of their flexibility and sophistication, such programs can be employed to calculate accurately the lightning overvoltages at all points within a substation. The available programs, implemented on medium-sized computers, have the capacity to model adequately all relevant apparatus contained in the largest substations, including multiple lines and cables which might be connected. The programs can model corona effects on lines and busbars, flashover phenomena on lines and sparkgaps, the non-linear discharge characteristics of gapped and gap-less lightning arresters, the effects of series and shunt connected apparatus (by accounting for their capacitance and inductance).

While such programs are convenient for the comprehensive overvoltage calculations required for insulation co-ordination, it must again be said, that the very precision which characterises the calculation output presents new problems in interpretation. Thus, for example, the effect of non-standard voltage waveshape on apparatus insulation must be assessed from withstand data determined by laboratory tests using standard waveshapes; the integration method is the best available [3]. This, and similar fine degree problems indicate that the precision with which overvoltage calculations can be made on a digital computer is superior to that with which either lightning and system phenomena can be modelled or the results can be interpreted.

The final matter concerning lightning protection of substations is that of connected equipment which may be vulnerable to lightning overvoltages even though the insulation coordination is adequate for the substation itself. The concern here is for lower voltage equipment supplied from substation transformers, eg. rotating machines. The impulse voltage appearing on the low voltage side of a transformer is initially determined by capacitive transfer and finally by inductive (ie. turns ratio) transfer. The two transfer ratios are not likely to be equal, and are in fact transformer specific. Further, both ratios are not likely to be related to the ratio of the standard insulation levels on the high voltage side and on the

low voltage side. Therefore, an independent assessment must be made of the characteristics of the transferred low-voltage surge, and this will determine what overvoltage protection (if any) is required to protect the connected equipment. Because the transfer is transformer specific, it must be determined by seeking data from the manufacturer or by carrying out appropriate tests (eg. recurrent surge generator tests).

## 8 LIGHTNING PROTECTION OF EXPOSED DISTRIBUTION NETWORKS

Very little systematic work has been carried out on the problem of calculating lightning overvoltages on unshielded lines and equipment exposed to direct strikes. Such exposure is the norm for distribution equipment, and there is an increasing tendency to expose sub-transmission equipment. This has been a largely neglected area, and except for a series of papers from the University of Queensland over the period since 1966, little guidance on lightning protection of exposed lines and equipment is available in the literature. Fortunately, several groups in South Africa and in Florida are now also actively carrying out research on this aspect of lightning protection.

### 8.1 Unshielded Lines

Until recently, the analytical methods for predicting the lightning performance of unshielded lines are far less sophisticated than for shielded lines (Ref 3). The simple approach is to first calculate the frequency ( $N_L$ ) of lightning strokes to line in terms of its average height ( $h$ ) and the thunderday level ( $TD$ ).

$$N_L = 0.09 h (TD) / 100 \text{ km-yrs} \quad (15)$$

The voltages stressing phase-ground and phase-phase insulation are given by equations 2 and 3, and these may be used to determine the critical currents ( $I^*$ ) to cause phase-ground or phase-phase flashovers.

If  $p_1$  is the probability that a lightning stroke has a current magnitude which exceeds  $I^*$ , and  $p_2$  is the probability of transition from a lightning flashover to a power follow fault, the line outage rate ( $OR$ ) is:

$$OR = N_L p_1 p_2 / 100 \text{ km-yrs} \quad (16)$$

As discussed in sect. 3,  $p_1$  is nearly unity;  $p_2$  may be kept small by installing power — follow interruption devices, such as arresters or a sufficient length of wood insulation (see below).

An attempt must be made to account for the presence of 'weak-link' structures. Outage rates are calculated for normal and weak-link structures, and then the line outage rate is a mean determined by weighting the structure outage rates according to their relative number.

Unshielded distribution lines in 11, 22 and 33 kV voltage classes should also consider overvoltages induced by nearby lightning strokes to ground. But, as discussed in sect 3, their effect can be made negligible if

the line insulation level (phase to ground) is at least 200 kV [16].

Because unshielded lines are very vulnerable to flashovers from direct lightning strikes, it is important to utilise the unique properties of wood to enhance their lightning performance. The two relevant impulse properties of wood poles and crossarms [16] are

- (i) wood has significant impulse strength, either alone or in combination with primary insulation. Moisture, either internal or due to rain wetting, has a marked influence on impulse strength of wood-porcelain combinations, and
- (ii) wood possesses natural arc quenching properties, and by careful design this can be used to minimise  $p_2$  in equation 16. Values of  $p_2$  can be much less than 0.4, and even less than 0.1 if the design incorporates a special wood arc quenching device on each phase at every pole [16 chapter 5.10]. In contrast,  $p_2$  for air and porcelain insulation is 0.85.

However, the response of unshielded lines to direct and induced lightning overvoltages is more complex than is indicated above. The modelling required is far more complex than that required for shielded lines. Only one major attempt has been made to develop a comprehensive analytical method [17]. Because of its complexity, program WPTL is very demanding in data input and requires considerable specialist expertise in its usage. Despite this, its capacity to predict lightning performance is acceptably accurate, see Fig. 2; and because of this, it has been possible to design unshielded lines utilising wood insulation to achieve reasonable lightning outage rates [16, 18].

### 8.2 Exposed Distribution Equipment

Like pole-mounted transformers, most equipment connected to unshielded overhead lines is exposed to direct lightning strikes. The supporting argument is very simple. Consider a 11 kV distribution system with transformers installed at a average spacing of 1000 m (a common spacing in rural Australia; in suburbia, it might be 500 m). Since lightning is randomly distributed, this means that all strikes to line occur within 500 m of one transformer or another; and of these, 10 percent are within 50 m. That is, 10 percent of all lightning strikes to a distribution network are direct strikes to a transformer (defining direct as less than 50 m, ie. one span, away). A similar argument applies to the low voltage side of distribution transformers. If the LV is on overhead lines, and if the average length per transformer is 500 to 1000 m (this is very common in most rural and suburban systems), many lightning strikes are expected to the LV, and a significant proportion of these will be direct strikes to the LV winding of a transformer.

Obviously, surge arresters must be fitted on both HV and LV terminals of distribution transformers. Further, direct strikes impose surges of exceptional severity on the transformer/arrester combinations. Prospective magnitudes of voltages, currents and their steepness are at least an order of magnitude

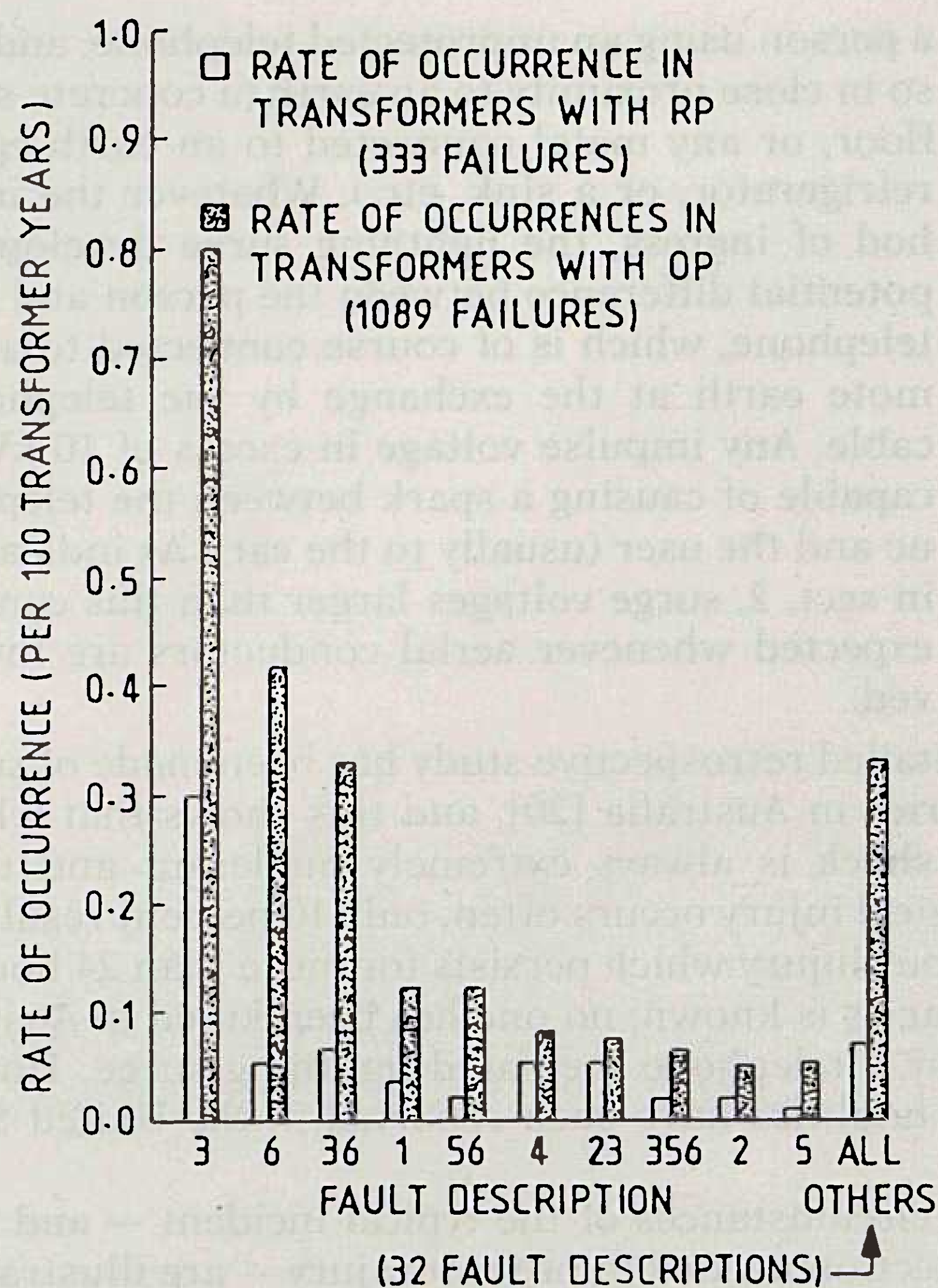
greater than those specified in standards for impulse testing distribution transformers and arresters. The combined effects of these severe surges are to »eat into« the margin between »standard test« insulation and protective levels [19, refs. 1 to 9]. In the circumstances, all that can be done is summarised by the following guidelines for lightning protection of exposed distribution transformers —

- (i) install HV and LV arresters, and fit them as closely as possible to the transformer terminals (thereby eliminating separation distance and inductive voltage drop effects, see sect. 7, even for steep-fronted surges;
- (ii) keep the margin between the transformer insulation withstand voltage and the protective level of the arrester (95 kV and < 40 kV respectively, as determined by standard tests), as large as practicable.

The preceding guidelines have evolved from a long duration research project conducted by the University of Queensland and a supply authority in south-east Queensland. Following theoretical and laboratory studies, and after assessing field damage data, a field trial was initiated to test the performance of the recommended protection against the then current protection (HV arresters only connected 3 to 5 m from the transformer terminals). Within two storm seasons, the field trial demonstrated a major reduction in the lightning damage rate. So much so that a decision was made to adopt the recommended protection on all new transformers, and progressively to retrofit it onto all existing transformers. As detailed in [19], the damage rate attributable to lightning fell from about 2 to less than 0.5 failures per 100 transformers/years. These data are based on over 100,000 transformer/years of experience in a 12-year period between 1962 and 1975. Not surprisingly most other supply authorities in Australia also adopted the recommended protection.

It is instructive to examine the pattern of change that took place in the types of transformer faults while converting from the old protection to the recommended protection. Fault type data are shown in Fig. 5. All LV fault types and all but HV interturn or inter-layer faults have virtually eliminated (to less than 0.1/100 transformer-years). The impact of the LV arresters is obvious; but there is more than one reason for this. As expected, RSG tests showed that HV arresters do not protect the LV winding against surges incident from the LV line (this requires LV arresters). But the RSG tests also showed the HV arresters did not always protect the HV winding from overvoltages transferred from an unprotected LV winding. Thus it would seem that at least two-thirds of the improvement in the lightning damage rate can be attributed to the fitting of LV arresters.

An update on the recommended protection for exposed distribution transformers is given in [19]. It is of interest to note that other countries, notably United States and Norway, have recently given serious consideration to protecting transformers against lightning overvoltages originating on LV lines.



- 1 — fault on HV bushing and leads
- 2 — fault to earth on HV winding
- 3 — fault between turns/layers of HV winding
- 4, 5, 6 — similar but on LV winding.

Fig. 5 Rates of occurrence of transformer faults caused by lightning for recommended protection (RP) and other protection (OP) [19]

## 9 LIGHTNING PROTECTION OF TELEPHONE SYSTEMS

There are three elements which require protection: the terminal equipment together with the subscriber/user, the telephone line/cables, and the exchange equipment. In commercial and private buildings, the terminal equipment includes telephones, telefax, telex and computer equipment all of which can be damaged or caused to malfunction by lightning surges.

### 9.1 Telephone Mediated Lightning Injuries

In Australia, the majority of telephones are not fitted with lightning protection. Because of this, about 60 people each year are injured by lightning while using a telephone. Investigations have determined the circumstances for such injuries to occur. These are —

- (i) a nearby lightning ground flash, resulting in a surge reaching the building by any one of the three paths — via the power lines (believed to be the most common), via the telephone cable, or via the building's earthing system because of so-called earth potential rise caused by a nearby stroke to ground.

(ii) a person using an unprotected telephone, and also in close proximity to an earth (a concrete slab floor, or any metal connected to an earth eg. a refrigerator, or a sink, etc.). Whatever the method of ingress, the lightning surge develops a potential difference between the person and the telephone, which is of course connected to a remote earth at the exchange by the telephone cable. Any impulse voltage in excess of 10 kV is capable of causing a spark between the telephone and the user (usually to the ear). As indicated in sect. 2, surge voltages larger than this can be expected whenever aerial conductors are involved.

A detailed retrospective study has been made of such injuries in Australia [20], and this shows that while the shock is always extremely unpleasant and that physical injury occurs often, only 10 percent result in serious injury which persists for more than 24 hours. As far as is known, no one has been killed in Australia by a telephone mediated lightning surge. However, fatalities have been reported in the United States.

The circumstances of the typical incident — and the protection needed to prevent injury — are illustrated on Fig. 6 [21]. It is imperative that the »earth« of the telephone line's protector be connected to the power »earth« system. This ensures potential equalisation between the two »earth« systems, and will provide a high level of protection to the user even if the combined earth resistance is not small or if the surge current is relatively large.

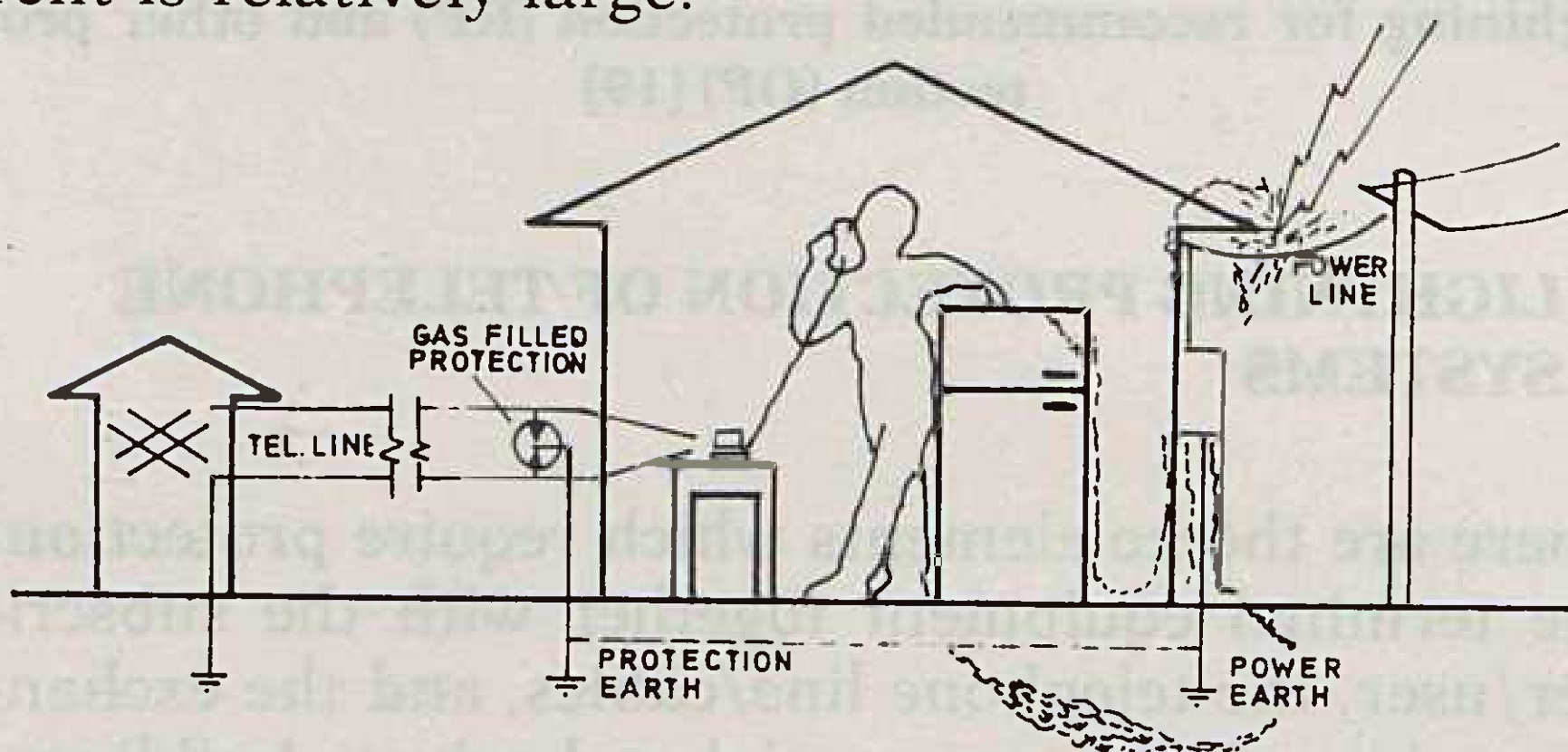


Fig. 6 The typical telephone mediated lightning event. The shading defines the area temporarily raised in potential with respect to the telephone. The dashed lines show a protection system in place [21].

## 9.2 Protection of Telephone System Equipment

It is generally accepted that the protection system shown in Fig. 6 is adequate for the conventional telephone. However, if mains operated and/or electronic equipment is connected to the telephone or data line (eg. telex, telefax or a modem for digital equipment) a simple gas discharge protector is not sufficient to provide protection against steep-fronted surges. A hybrid protection module, such as in Fig. 7, should be fitted between the communications line and the terminal equipment.

Also overvoltage protection is required on its a.c. power supply — usually a metal oxide arrester will be sufficient. As before, the communications protector's »earth« must be interconnected with the power

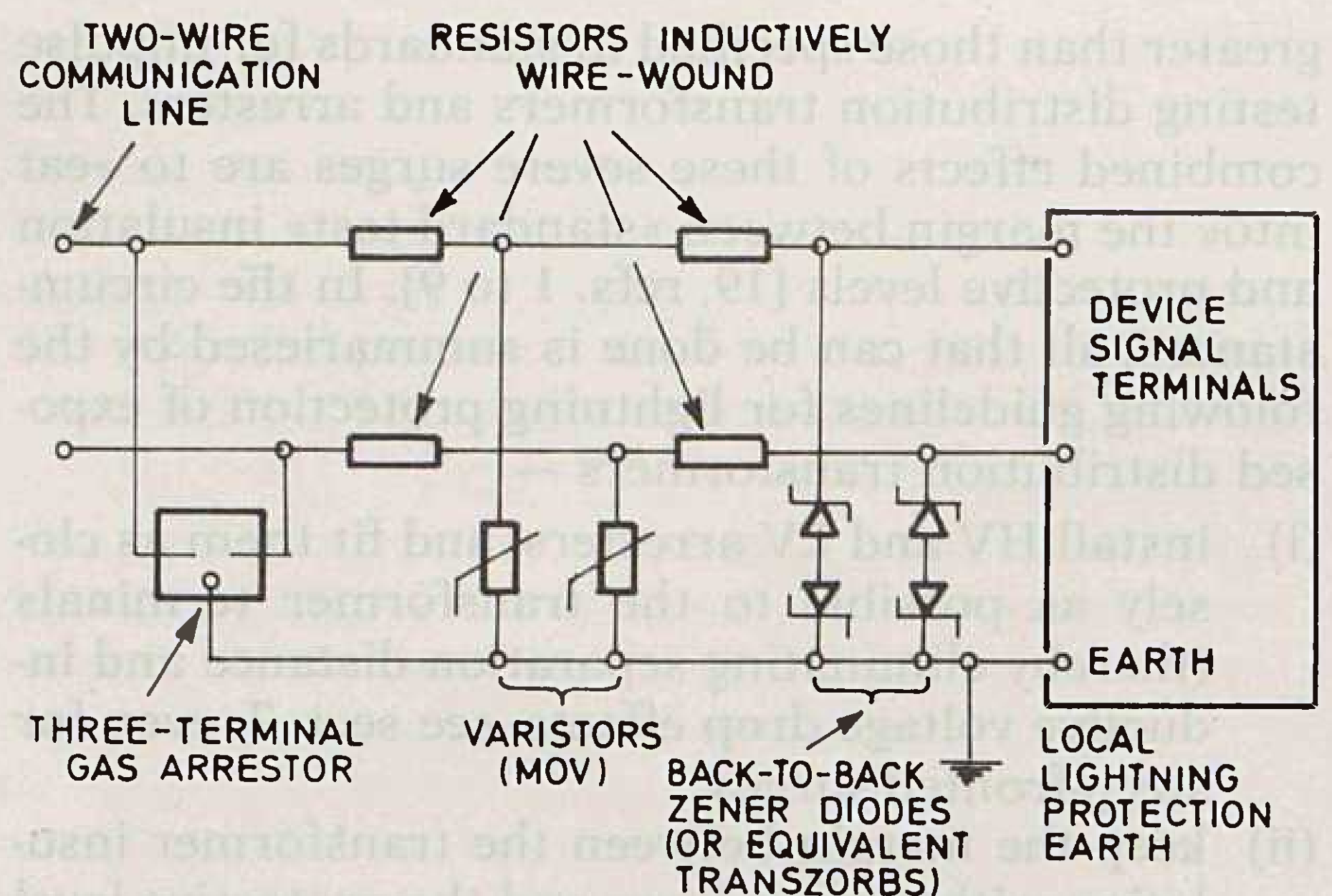


Fig. 7 Lightning protection module for telex or digital data line services

protector's »earth« to prevent potential differences between them.

The overvoltage protection at the exchange end is basically similar. Gas discharge protectors, either alone or in combination with metal oxide arresters, are most commonly used. For digital switching exchange equipment, solid state protective devices are usually added in close proximity to ICs.

Most workers, eg. [7] have found that the majority of lightning surges entering exchanges cause voltages of less than 2000 V with respect to earth and currents below 2.5 kA (see sect. 6). For digital communications systems, protection is required both to prevent overvoltage damage (the so-called »hard fault«) and to prevent malfunctions caused by the spurious signal(s) which may arrive simultaneously on many incoming lines (the so-called »soft-fault«). The latter may also require protection embodied in software.

The most important protection required for the communication lines and cables between terminal equipment and the exchange is against direct strikes. These may be to an aerial cable, or by arcing to a buried cable particularly in soils of high resistivity. As discussed in sect. 3.3, the main danger occurs if excess stroke current travels along the metallic sheath of the cable, particularly if it has a high resistance. The solution is either a low resistance sheath or one or more shield wires which divert most of the lightning current away from the cable. It is well known that the installation of surge arresters between the sheath and the inner communication conductors is not recommended — this may protect the cable at this point, but injection of stroke current into the inner conductors may well cause overvoltages to develop as points some 1000 m away [8].

High soil resistivity areas present a special difficulty for buried communications cables. The stroke currents are attracted to the cable because it presents the best available conducting path. A novel and effective solution was developed at the University of Queensland [22]. This utilises the high impulse strength of wood to enhance the insulation strength between the cable and earth. Aerial cables are supported on a wood pole fitted with an overhead shieldwire which

is earthed at regular intervals by downleads. But the downlead is so configured that there is about one metre of wood (insulation) between it and the aerial cable. This achieves an impulse strength of at least 300 kV, even when the wood is wet with rain [16]; and this isolation prevents backflash to the cable when the overhead shieldwire is struck. Field experience has known that this provides effective lightning protection even in areas of high soil resistivity.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The author acknowledges the assistance and participation of colleagues and postgraduate students in much of the research work which forms the basis of this paper (particularly Dr D Mackerras of University of Queensland and Dr Liew An Choy of National University of Singapore).

## REFERENCES\*

- [1] M. A. UMAN, »Lightning« McGraw Hill 1969 and Dover, 1984.
- [2] M. A. UMAN, »The Lightning Discharge«, Academic Press, 1987.
- [3] M. DARVENIZA et alia: Modelling for Lightning Performance Calculations, IEEE Trans. Pwr. App. and Syst. Vol. PAS-98, 1979, pp. 1900–1908.
- [4] R. B. ANDERSON and A. J. ERIKSSON, »Lightning Parameters for Engineering Applications«, Electra No. 69, March 1980, pp. 65–102
- [5] I. S. GRANT et alia, »A Simplified Method for Estimating Lightning Performance of Transmission Lines«, IEEE Trans. Pwr. App. and Syst. Vol PAS-104, 1985, pp 919–932.
- [6] M. F. STRINGFELLOW, »Lightning Induced Overvoltages on Overhead Distribution Lines«, paper 2–1, IEE Conf. Pub. 236, London, June 1984, pp. 26–30 (this paper is one of a series describing relevant research conducted in South Africa).
- [7] S. POWER, M. DARVENIZA and D. MACKERRAS, »Lightning Protection — An Analytical Approach to Protection Design«, Proc. I. E. Aust. Eng. Conf., Darwin, May 1987, pp. 271–277.
- [8] E. D. SUNDE, »Earth Conduction Effects in Transmission Systems«, Van Nostrand, 1949.
- [9] D. MACKERRAS, M. DARVENIZA and A. C. LIEW, »Standard and Non-Standard Lightning Protection Methods«, JEEEA, I. E. Aust and IREE Aust, Vol. 7, June 1987, pp. 133–140.
- [10] M. DARVENIZA, »Analysis of Non-Standard Coaxial Downconductor for Lightning Protection«, Proc. Symp. on Non-Conventional Lightning Protection, Paper No. 4, I. E. Aust, Sydney, October 1986 (accepted for JEEEA).
- [11] A. S. 1978–1983, »Lightning Protection«, Standards Association of Australia, 1983.
- [12] W. DIESENDORF, »Insulation Coordination in High Voltage Electric Power Systems«, Butterworths, 1974.
- [13] IEEE Standard 587–1980, »Guide for Surge Voltages in Low-voltage A. C. Power Circuits«, Inst. Elect. and Elect. Eng. 1980.
- [14] M. DARVENIZA and M. A. UMAN, »Research into Lightning Protection of Distribution Systems II — Results from Florida Field Work 1978 and 1979«, IEEE Trans. Pwr. App. and Syst., Vol. PAS-103, 1984, pp. 678–83.
- [15] K. H. WECK, »Principles and Procedures of Insulation Coordination«, Proc. IEE, Vol. 134, pt(c), No. 2, March 1987.
- [16] M. DARVENIZA, »Elektrical Properties of Wood and Line Design«, University of Queensland Press, 1980.
- [17] LIEW AH CHOY and M. DARVENIZA, »Calculation of the Lightning Performance of Unshielded Transmission Lines«, IEEE Trans. Pwr. App. and Syst., Vol. PAS-101, 1982, pp. 1471-7.
- [18] LIEW AH CHOY and M. DARVENIZA, »Lightning Performance of Unshielded Transmission Lines« *ibid*, pp. 1478-86.
- [19] M. DARVENIZA and D. R. MERCER, »Lightning Protection of Pole-Mounted Transformers«, Paper 88 SM 543-1, IEEE Pwr. Eng. Soc. Summer Meeting, Portland July 1988 (also Paper 3–52, 7th CEPSI, Brisbane, October 1988).
- [20] C. J. ANDREWS, M. DARVENIZA and D. MACKERRAS, »A Retrospective Study of the Injuries Sustained in Telephone — Mediated Lightning Strikes«, Paper 9A.3, Proc. 1988 Int. Conf. on Lightning and Static Electricity, Oklahoma, April 1988, NOAD Special Report, pp. 251-271.
- [21] B. R. JOHNSTON, D. L. HARDING and B. HOCKING, »Telephone-Related Lightning Injury«, Med. Jnl. of Aust., Vol. 144, June 1986, pp. 707-8.
- [22] D. R. KESLO, »Lightning Protection of Telephone Cables in Areas of High Soil Resistivity — The Overhead Earthwire Technique«, Telecom. Jnl of Aust. Vol. 27, 1977, pp. 35-43.

### LIGHTNING AND OVERVOLTAGE PROTECTION

In the article are presented various aspects of lightning disturbances on power and telephone lines and protective design with results of outage rates.

### DONNERWETTER UND VORSPANNUNGSSCHUTZ

Im Artikel werden verschiedene Aspekte der Störungen infolge Unwetterstörungen auf elektromagnetischen und Telefonleitungen, sowie das Projektieren der Schutzmaßnahmen und das Ausfallniveau geschildert.

### РАЗРЯДЫ МОЛНИИ И ЗАЩИТА ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ

В статье изложены различные взгляды на помехи, вызываемые разрядами молнии в электромагнитных и телефонных линиях, а также защитное проектирование и уровень отключений.

Naslov pisca:

**Prof. dr. Mat Darveniza**  
**University of Queensland,**  
**Department of Electrical**  
**Engineering**  
**Brisbane, Australia**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1989–03–01

\* Because extensive reference lists are given in some of the quoted references, the following code is used to acknowledge the contributions of particular workers:— [2/1 Berger 1978] indicates a 1978 publication by Berger referenced in chapter 1 of [2].

**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**



# ISPITIVANJE NA KRATKI SPOJ TROFAZNOG TRONAMOTNOG TRANSFORMATORA 20/20/13,34 MVA

Mr. Ivan Sitar, Zagreb

UDK 621.314.2  
STRUČNI RAD

Trofazni tronamotni regulacijski transformator 20/20/13,34 MVA ispitan je udarnim strujama kratkog spoja. Pri kratkospojenim VN odnosno NN namotima transformator je na SN strani priključivan na trofazni izvor napona.

Opisane su karakteristike i izvedba transformatora, prikazan postupak ispitivanja, dani rezultati i njihova ocjena s obzirom na važeće propise i praksu drugih proizvođača.

**Ključne riječi:** kratki spoj, transformator, ispitivanje na kratki spoj, sile kratkog spoja.

## 1. UVOD

Prema standardima JUS i IEC transformatori moraju biti projektirani, konstruirani i izvedeni da mogu bez oštećenja izdržati toplinska i mehanička naprezanja u slučaju vanjskog kratkog spoja. I dok se termička otpornost provjerava računskim putem, mehanička se dokazuje ispitivanjem ili pozivanjem na izvještaj o ispitivanju izvedenom na drugom, sličnom transformatoru.

Ispitivanje na kratki spoj (tzv. dinamičko ispitivanje) ubraja se u specijalna ispitivanja koja se zbog ograničenih ispitnih mogućnosti i visoke cijene malokad provode na većim jedinicama. Porast kratkospojnih snaga mreža i sve veći zahtjevi za pouzdanošću rada transformatora imali su za posljedicu da je otpornost transformatora na kratki spoj postala jednako važna za proizvođača i kupca. Proizvođač ispitivanjem najizravnije dokazuje kvalitetu proizvoda i provjerava točnost podloga prema kojima projektira i gradi transformatore, a korisniku ono potvrđuje da

su transformatori pouzdani i sposobni da podnesu naprezanja u kratkom spoju.

U članku su dane karakteristike i opisan transformator na kojemu su provedena dinamička ispitivanja. Prikazan je postupak ispitivanja, dani rezultati i njihova ocjena s obzirom na važeće propise i praksu drugih proizvođača.

## 2. OPIS TRANSFORMATORA

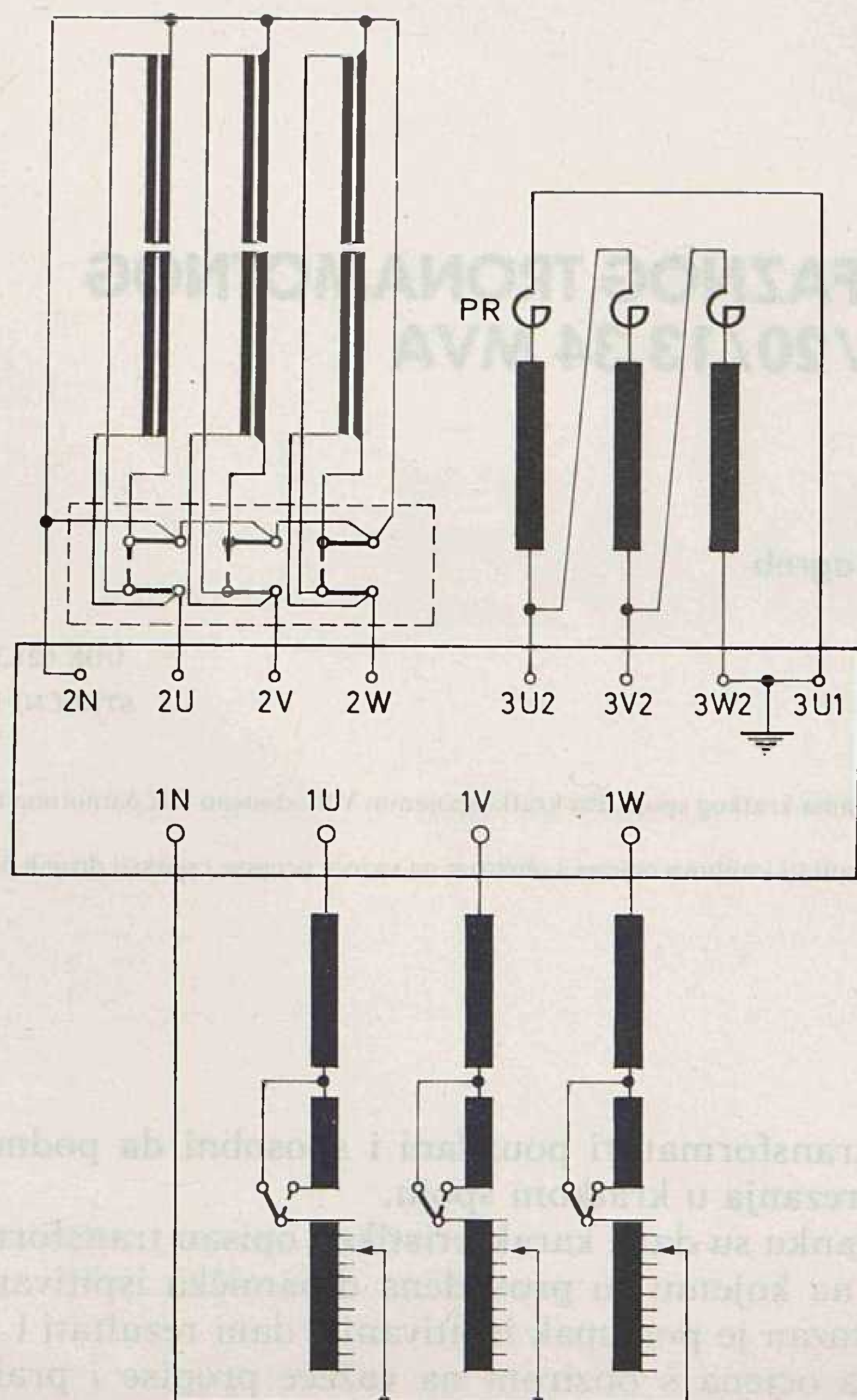
Transformator je proizveden u RO »RADE KONČAR – TRANSFORMATORI«, OOUR Srednji transformatori, i prvi je iz niza nove serije sa sniženim gubicima, koja je namijenjena domaćem tržištu. Tehnički podaci su dani u tablici 1, a shema spoja s oznakama izvoda iz namota na slici 1.

Jezgra je građena od superiorijentiranog lima s laserski obrađenom površinom (ZDKH/0,27 mm). Namoti su koncentrično smješteni oko jezgre. Prvi dio jezgre je niskonaponski namot, motan iz profilnog vodi-

Tablica 1. Osnovni tehnički podaci ispitivanog transformatora

Tip		TRN 20000 – 123/J
Nazivna snaga Nazivni napon Spoj namota	VN/SN/NN VN/SN/NN	20/20/13,34 MVA 110 ± 10 × 1,5 % / 21(10,5) / 10,5 kV YNyn Od 5
Naponi kratkog spoja	VN – SN VN – NN SN – NN	11,0 % (pri 20 MVA) 13,6 % (pri 13,34 MVA) 5,2 % (pri 13,34 MVA)
Gubici	praznog hoda zbog tereta	13,2 kW 83,5 kW
Hlađenje		ONAN

VN – visokonaponski namot  
SN – sredjonaponski namot  
NN – niskonaponski namot



**Slika 1. Shema spoja s oznakama izvoda iz namota:**

1 N 1 U, 1 W — izvodi visokonaponskog (VN) namota  
 2 N, 2 U, 2 V, 2 W — izvodi srednjonaponskog (SN) namota  
 3U2, 3V2, 3W1 i 3W2 — izvodi niskonaponskog (NN) namota  
 PR — prigušnica za ograničenje struje kratkog spoja

ča. Do njega je srednjonaponski namot od transponiranog vodiča, izveden kao dvostruki U-namot, s mogućnošću prespajanja serija paralela (21/10,5 kV). Prespajanje je u beznaponskom stanju pomoću spojnice ispod poklopca kotla. Osnovni visokonaponski namot građen je kao preloženi, od dvostrukog vodiča. Regulacija je pod teretom, na principu predbiranja. Namoti grube i fine regulacije vezani su na regulacionu sklopku tipa JN/300 K1/550/250/10G, proizvedenu u RO Transformatori na osnovi licence firme ELIN – UNION iz Austrije. Do regulacione sklopke smještena je prigušnica za ograničenje struje kratkog spoja. Namoti prigušnice su od bakrene folije i spojeni su u seriju s faznim NN-namotima (sl. 1). Čelični steznici i vlačne motke zajedno čine stezni sistem transformatora koji učvršćuje aktivni dio i omogućava njegovo nošenje, a u kratkom spoju je izložen djelovanju resultantnih aksijalnih sila.

### 3. STRUJE, SILE I MEHANIČKA NAPREZANJA U KRATKOM SPOJU

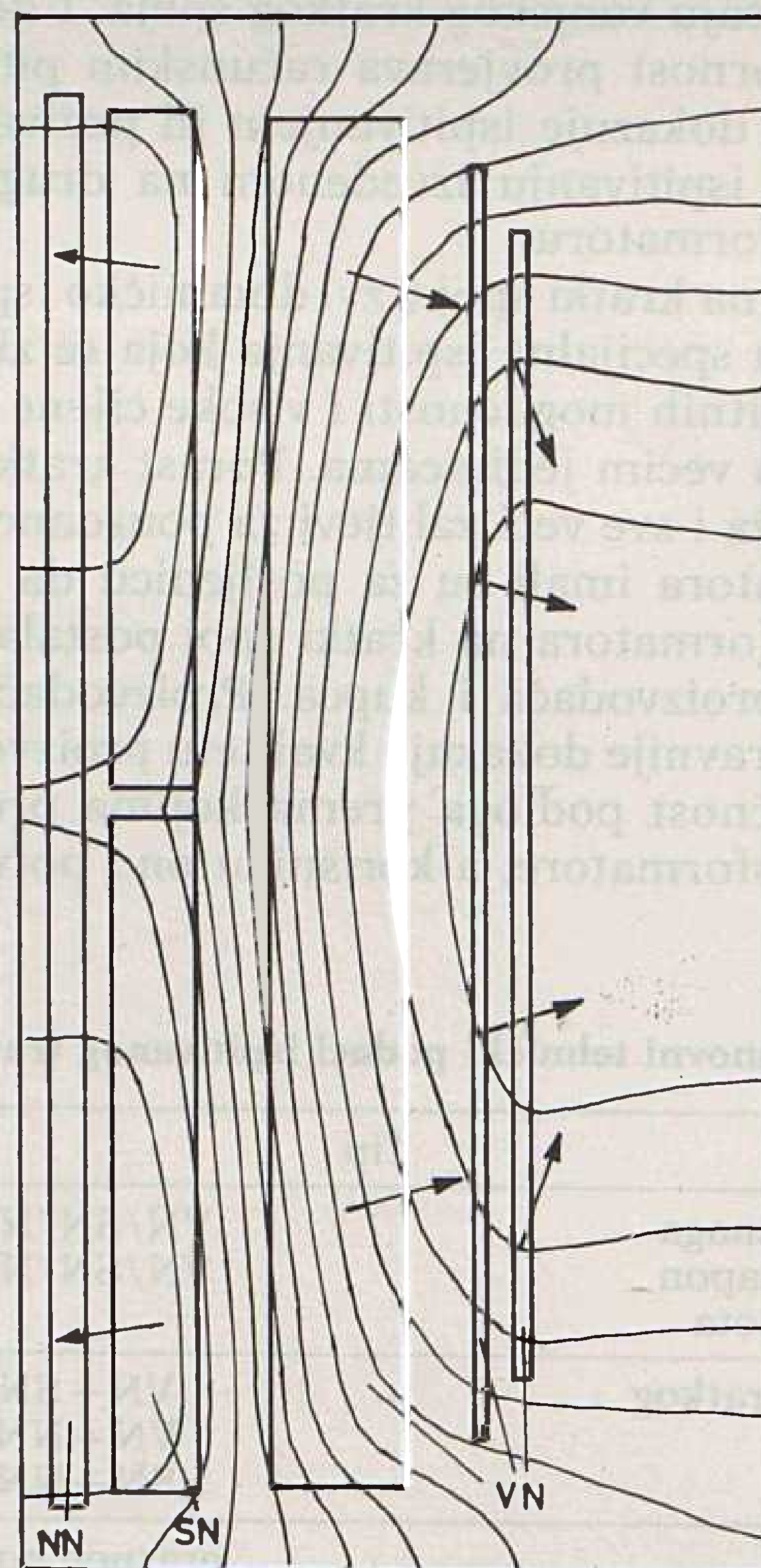
Simetrična komponenta struje kratkog spoja u transformatoru iznosi:

$$I_t = \frac{U_N}{\sqrt{3} (Z_t + Z_m)} \quad (1)$$

pri čemu je  $U_N$  nazivni napon namota,  $Z_t$  impedancija kratkog spoja mreže. Za mehanička naprezanja mjerodavna je amplituda udarne struje

$$\hat{i} = \sqrt{2} k_u I_t \quad (2)$$

a nastaje otprilike pola periode nakon kratkog spoja koji je nastupio kada napon prolazi kroz nulu. Faktor  $k_u$  ovisi o omjeru rasipne i radne komponente napona kratkog spoja i prema [1] i [2] ne prelazi iznos 1,8. Struje kratkog spoja proizvode jako rasipno polje. Elektrodinamička sila proporcionalna je produktu struje u namotu i rasipne magnetske indukcije, odnosno kvadratu struje, i u kratkom spoju je nekoliko stotina puta veća od sile na namotu u nazivnom režimu rada. Kod koncentričnih namot dominantna je aksijalna komponenta rasipnog polja (sl. 2) od koje nastaju radijalne sile. Njihov smjer je takav da pritišću unutarnji namot na jezgru, proizvodeći u njemu tlačna naprezanja, a u vanjskom naprezanja na vlak. Prema krajevima namota i na mjestima nehomogenog rasporeda amperzavoja rasipna indukcija dobiva i radijalnu komponentu, od koje nastaju aksijalne sile. Pri potpunoj simetriji u namotu djeluju samo tlačne aksijalne sile. Svaka nesimetrija unosi dodatne aksijalne sile čiji je smjer takav da nastoje povećati nesimetriju koja je uzrok njihova nastanka.



**Slika 2. Rasipno polje i sile na namote za kombinaciju SN-VN (+)**

Zbog elastičnih svojstava izolacijskog materijala, ali i steznog sistema, te pulzirajućeg djelovanja sila, po-

jave u namotima u uvjetima kratkog spoja vrlo su složene. Današnja saznanja i raspoložive računске metode omogućavaju da se već u fazi projektiranja pravilnim rasporedom namota i raspodjelom amperzavoja izbjegnu velika naprezanja. Sile koje nastaju u kratkom spoju savladavaju se:

- pravilnim dimenzioniranjem steznog sistema
- radialnim podlaganjem namota
- ugradnjom i odgovarajućom pripremom kvalitetnih materijala
- pažljivim provođenjem propisanog postupka montaže
- primjenom odgovarajućih pretlačnih sila i njihovim održavanjem u toku pogona transformatora.

#### 4. DINAMIČKO ISPITIVANJE

Prema standardima JUS i IEC transformatori s više od dva namota u grupi su za koju se uvjeti, način i trajanje ispitivanja dogovaraju između kupca i proizvođača. Proizvođač je uz suglasnost kupca (Elektra – Bjelovar) koristeći praksu drugih proizvođača [3] – [7] i uvažavajući ispitne mogućnosti laboratorija (IRCE ENERGOINVEST – Laboratorij velike snage, Dobrinje, slika 3), odredio uvjete ispitivanja. Transformator je ispitivan u dvonamotnom režimu za najnepovoljnije pogonske slučajeve: SN–VN i SN–NN. U oba slučaja napajan je SN-namot (drugi od jezgre) uz prethodno načinjen kratki spoj na VN, odnosno strani NN. Ispitivanje je trofazno i svaka faza je ispitana s tri propisana udarca struje kratkog spoja, trajanja 200 ms. Prilikom ispitivanja para namota SN–VN faza U je ispitivana u (+), faza V u (0),

a faza W u (–) položaju regulacije, a struje kratkog spoja su određene uz reaktanciju mreže  $Z_m = 0$ .

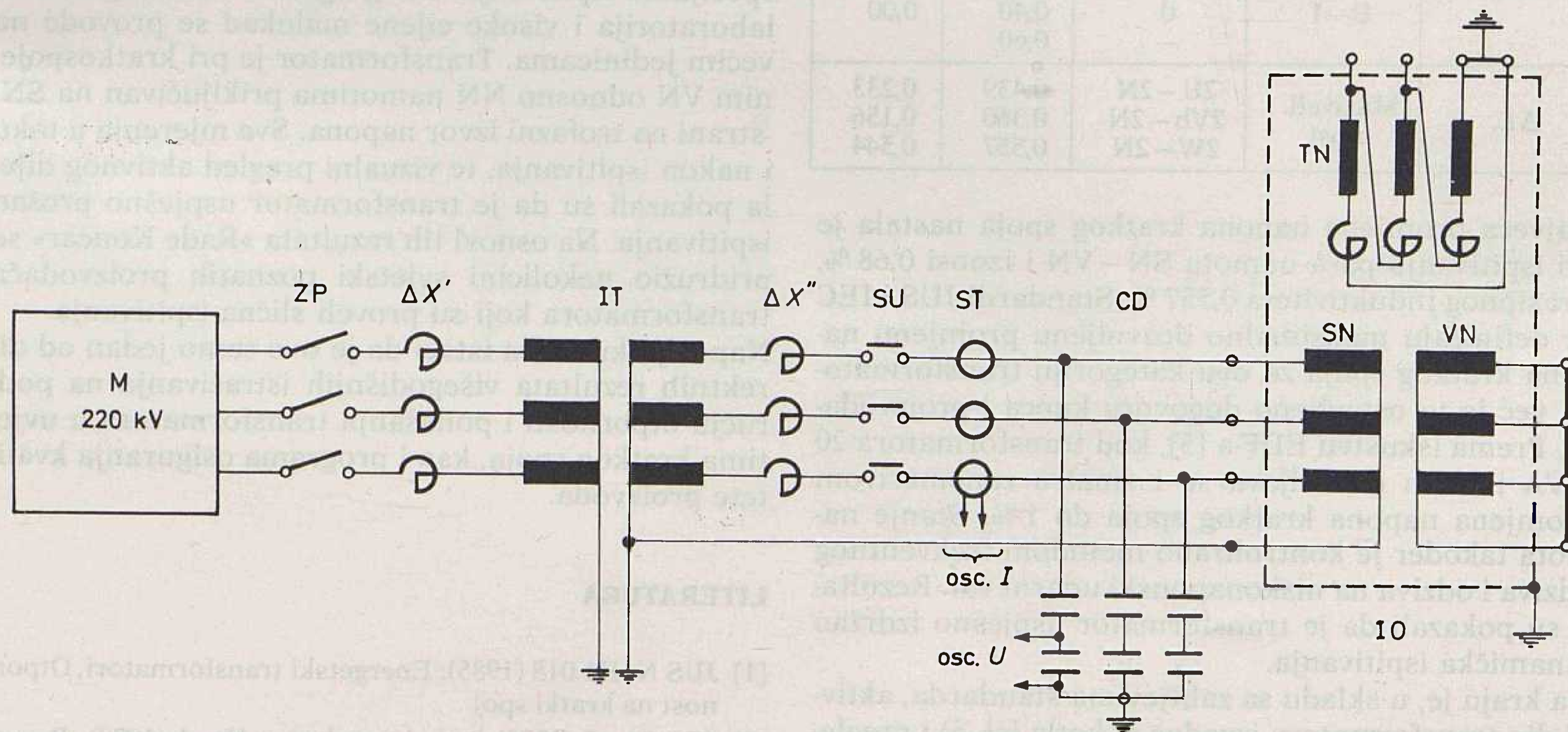
Par namota SN–NN ispitivan je udarnim strujama koje mogu nastati pri kratkospojnoj snazi mreže 500 MVA kako je standardima IEC i JUS predviđeno za mreže do 24 kV. U tablici 2. prikazane su udarna i trajna struja kratkog spoja na strani napajanog namota (SN) za sve slučajeve ispitivanja.

Tablica 2. Udarna ( $\hat{I}_u$ ) i trajna ( $I_t$ ) struja kratkog spoja na strani SN namota u spoju 10,5 kV

Pogon	SN–VN			SN–NN
	U (+)	V (0)	W (–)	U, V, W
$\hat{I}_u$ [kA]	22,24	25,55	27,69	24,00
$I_t$ [kA]	8,72	10,02	10,86	9,62

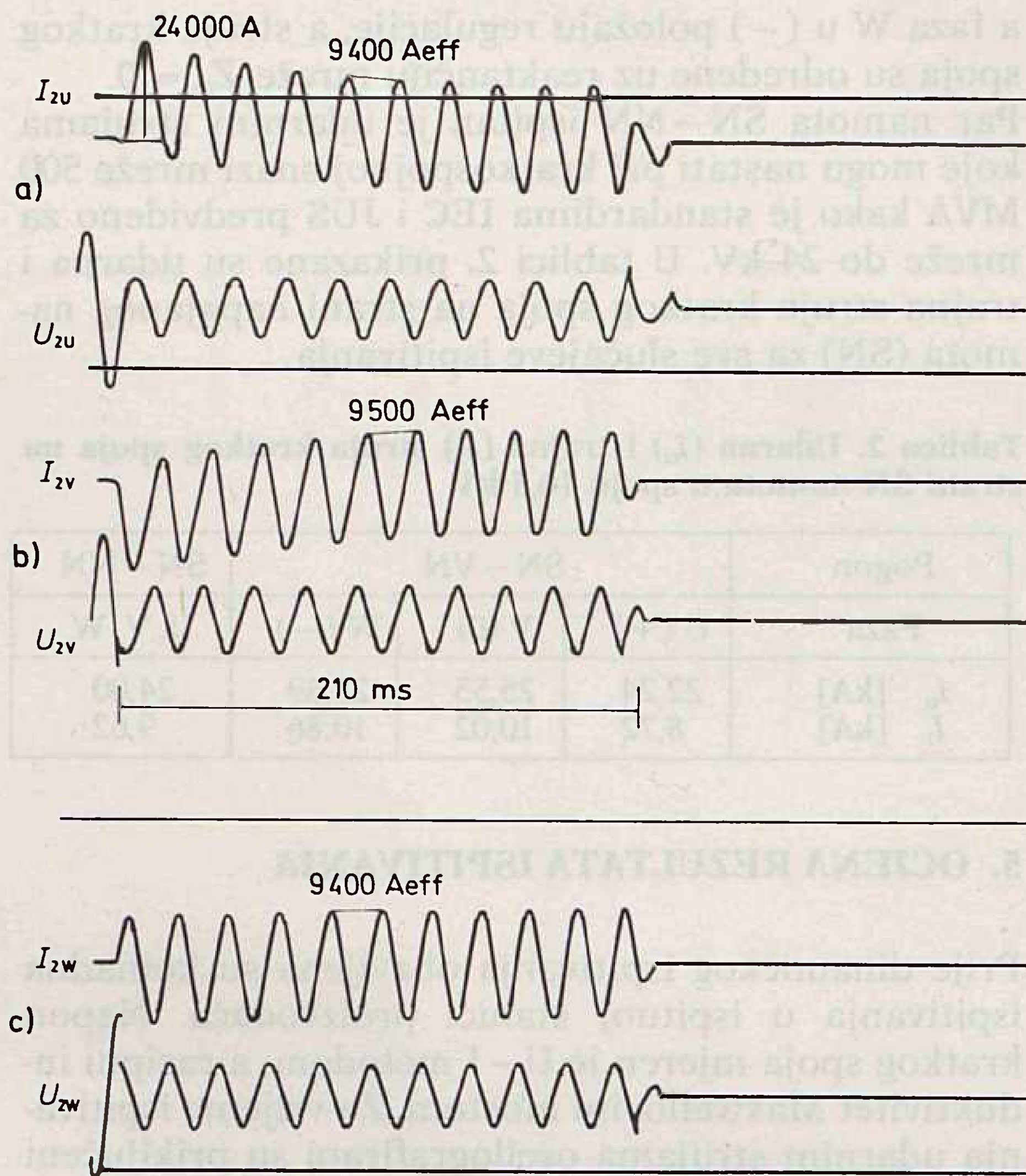
#### 5. OCJENA REZULTATA ISPITIVANJA

Prije dinamičkog ispitivanja obavljena su komadna ispitivanja u ispitnoj stanici proizvođača. Napon kratkog spoja mjereno je U–I metodom, a rasipni induktivitet Maxwellovim mostom. Za vrijeme ispitivanja udarnim strujama oscilografirani su priključeni naponi i struje u sve tri faze (sl. 4). Poslije svakog udarca pregledani su oscilogrami i izmjeren rasipni induktivitet. Nakon provedenih ispitivanja transformator je vraćen u tvornicu, gdje su ponovljena rutinska i dielektrična ispitivanja. U tablici 3. prikazana je promjena napona kratkog spoja izmjerena nakon ispitivanja i maksimalna promjena rasipnog induktiviteta mjerena između pojedinih udaraca.



- M 220 kV – mreža 220 kV
- ZP – zaštitni prekidač
- $\Delta X'$ ,  $\Delta X''$  – prigušnice za ograničenje struje kratkog spoja
- IT – jednofazni ispitni transformatori
- SU – kratkospojnik
- ST – strujni transformatori
- CD – kapacitivna djelila
- IO – ispitivani objekt TRN 20000–123/J

Slika 3. Shema ispitnog kruga prilikom ispitivanja para namota SN–VN



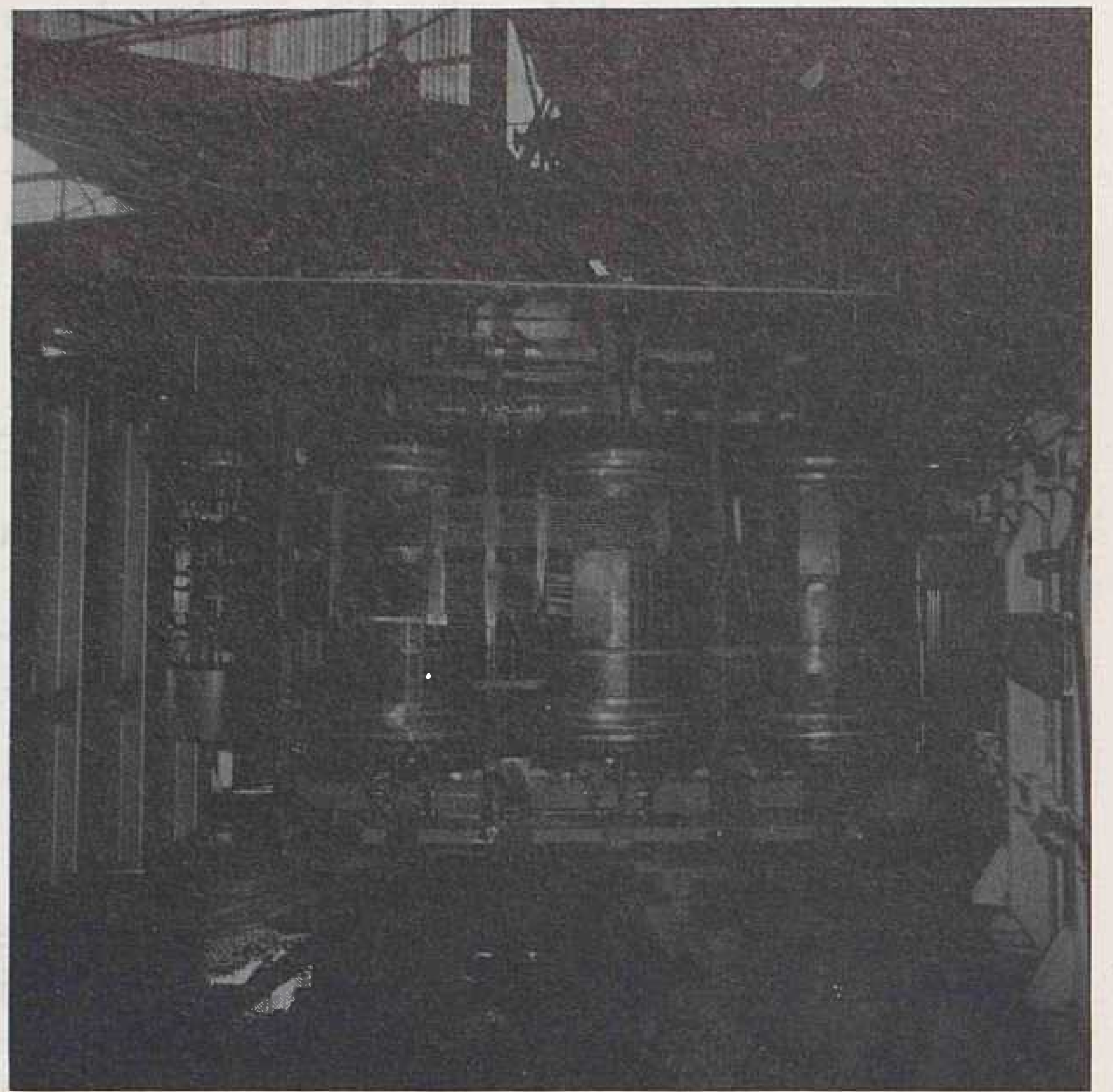
Slika 4. Oscillogram struja i napona na SN strani pri ispitivanju para namota SN-NN: a) faza 2 U, b) faza 2 V i c) faza 2 W

Tablica 3. Promjena napona kratkog spoja ( $\Delta u_k$ ) izmjerena nakon ispitivanja i maksimalna promjena rasipnog induktiviteta ( $\Delta L_x$ ) mjerena u toku ispitivanja udarnim strujama

Promjena [%]	Metoda	Pol./Faz.	SN – VN	SN – NN
$\Delta u_k$	U – I	+	0,68	0,00
		0	0,40	
		–	0,60	
$\Delta L_x$	Maxwell. most	2U – 2N	0,439	0,233
		2Vb – 2N	0,360	0,156
		2W – 2N	0,557	0,544

Najveća promjena napona kratkog spoja nastala je pri ispitivanju para namota SN – VN i iznosi 0,68 %, a rasipnog induktiviteta 0,557 %. Standardi JUS i IEC ne definiraju maksimalno dozvoljenu promjenu napona kratkog spoja za ovu kategoriju transformatora, već je to ostavljeno dogovoru kupca i proizvođača. Prema iskustvu EDF-a [5], kod transformatora 20 MVA i većih dozvoljava se i smatra zanemarivom promjena napona kratkog spoja do 1 %. Stanje namota također je kontrolirano metodom frekventnog odziva i odziva na niskonaponski udarni val. Rezultati su pokazali da je transformator uspješno izdržao dinamička ispitivanja.

Na kraju je, u skladu sa zahtjevima standarda, aktivni dio transformatora izvađen iz kotla (sl. 5) i pregledan. Nisu uočene nikakve deformacije namota, pričušnice ni steznog sistema.



Slika 5. Aktivni dio transformatora nakon ispitivanja udarnim strujama kratkog spoja

## 6. ZAKLJUČAK

Na trofaznom tronamotnom regulacijskom transformatoru 20/20/13,34 MVA, prvom iz serije sa sniženim gubicima za domaće tržište, provedena su ispitivanja udarnim strujama kratkog spoja. Ovakva ispitivanja se prema standardima JUS i IEC ubrajaju u specijalna ispitivanja. Zbog ograničenih mogućnosti laboratorija i visoke cijene malokad se provode na većim jedinicama. Transformator je pri kratkospojnim VN odnosno NN namotima priključivan na SN-strani na trofazni izvor napona. Sva mjerenja u toku i nakon ispitivanja, te vizualni pregled aktivnog dijela pokazali su da je transformator uspješno prošao ispitivanja. Na osnovi tih rezultata »Rade Končar« se pridružio nekolicini svjetski poznatih proizvođača transformatora koji su proveli slična ispitivanja. Naposljetku treba istaći da je ovo samo jedan od direktnih rezultata višegodišnjih istraživanja na području otpornosti i ponašanja transformatora u uvjetima kratkog spoja, kao i programa osiguranja kvalitete proizvoda.

## LITERATURA

- [1] JUS N. H1.015 (1985): Energetski transformatori, Otpornost na kratki spoj
- [2] IEC 76 – 5 (1976) incl. Amendment No. 1 (1979): Power transformers – ability to withstand short circuit
- [3] MATTHES, W.: »Kurzschlussprüfung eines 40 MVA Transformators mit Stufenschalter«, Techn. Mitt. AEG-TELEFUNKEN 66(1976)7, S. 283 – 285.
- [4] LEITNER, W.: »Testing the Short-Circuit Strength of a Three-Winding Power Transformer«, Brown Boveri Review 1 – 87, P. 49 – 55.

- [5] MARTIN, J. P. et al: »Aptitude des transformateurs a supporter les courants de court-circuit«, RGE — Numero special — Juillet 1978, P. 17–32.
- [6] AYERS, R. E.: »Experience Testing Medium Power Transformers to the Short-Circuit Test Codes«, IEEE Rural Electric Power Conference, Minneapolis, Minnesota, 1978, Paper No. 78C3, P. 108–124.
- [7] MONROE, G. R., MYERS, C. S.: »Short-Circuit Testing of Large Transformers«, IEEE Summer Power Meeting, Dallas, Texas, 1969, Paper No. 69CP661 – PWR, P. 1–9.

#### ÜBERPRÜFUNG DER KURZSCHALTUNG DES DREIPHASEN — DREIMAL GEWICKELTEN TRANSFORMATORS 20/20/13,34 MVA

Der Dreiphasen dreimal gewickelter Regulationstransformator 20/20/13,34 MVA wurde mit Schlagströmen der Kurzschaltung überprüft. Bei kurzgeschlossenen VN bzw. NN Wicklungen, wurde der Transformator auf der SN Seite an die Dreiphasen Spannungsquelle angeschlossen. Hier beschreibt man die Charakteristiken und die Transformatorausführung, die Prüfungsmethode, die Ergebnisse und ihre Bewertung mit Bezug auf die gültigen Vorschriften und die anderen Hersteller.

#### ИСПЫТАНИЕ НА КОРОТКОЕ ЗАМЫКАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО ТРЕХОБОМОТОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА 20/20/13,34 МВА

Трёхфазный трёхобмоточный регуляционный трансформатор 20/20/13,34 МВА был испытан ударными токами короткого замыкания. При короткозамкнутых обмотках высшего и, соответственно, низшего напряжений трансформатор на стороне среднего напряжения подключался на трёхфазный источник напряжения. Описываются характеристики и выполнение трансформатора, представлен процесс испытания, приводятся результаты и оценка, принимая во внимание действующие правила и практику других изготовителей.

#### SHORT CIRCUIT EXAMINATION OF THREE PHASE THREE WINDING 20/20/13.34 MVA TRANSFORMER

Three phase three winding regulation 20/20/13.34 MVA transformer was tested with short circuit impact currents. In the case of HV and LV winding short connected MV winding was connected on the three phase power supply. In the article are described construction and characteristics of transformer, testing procedure and testing results with comparison to standards and industry practice.

Naslov pisca:

**Mr. Ivan Sitar, dipl. inž.**  
**»Rade Končar« Elektrotehnički**  
**institut,**  
**41000 Zagreb, Fallerovo šet. 22,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1989-05-11

**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 nuklearne i fosilne termoelektrane i toplane te za mehanički pogon radnih strojeva; turbokompresori, diesel agregati i kompletna energetska postrojenja
- ★ BRODSKA OPREMA: glavni i pomoćni diesel motori, parne turbine, pumpe i automatika
- ★ PUMPE I PUMPNA POSTROJENJA
- ★ EKOLOŠKA OPREMA: za tretman komunalnih, industrijskih i brodskih otpadnih voda, pitke vode, dimnih plinova; spalionice smeća
- ★ ELEKTRONIKA, AUTOMATIKA I BIROTEHNIKA
- ★ GRAĐEVINSKI OKOV, ČAVLI I DRUGI ŽIČANI PROIZVODI
- ★ ELEKTRODE; FILTERI ZA RASHLADNE UREĐAJE
- ★ SPECIJALNI ALATI
- ★ PROIZVODI OD TERMOPLASTIČNIH MASA
- ★ BIOBRIKET, TEHNIČKI PLINOVI, PRERADA I KEMIJSKA ZAŠTITA DRVETA

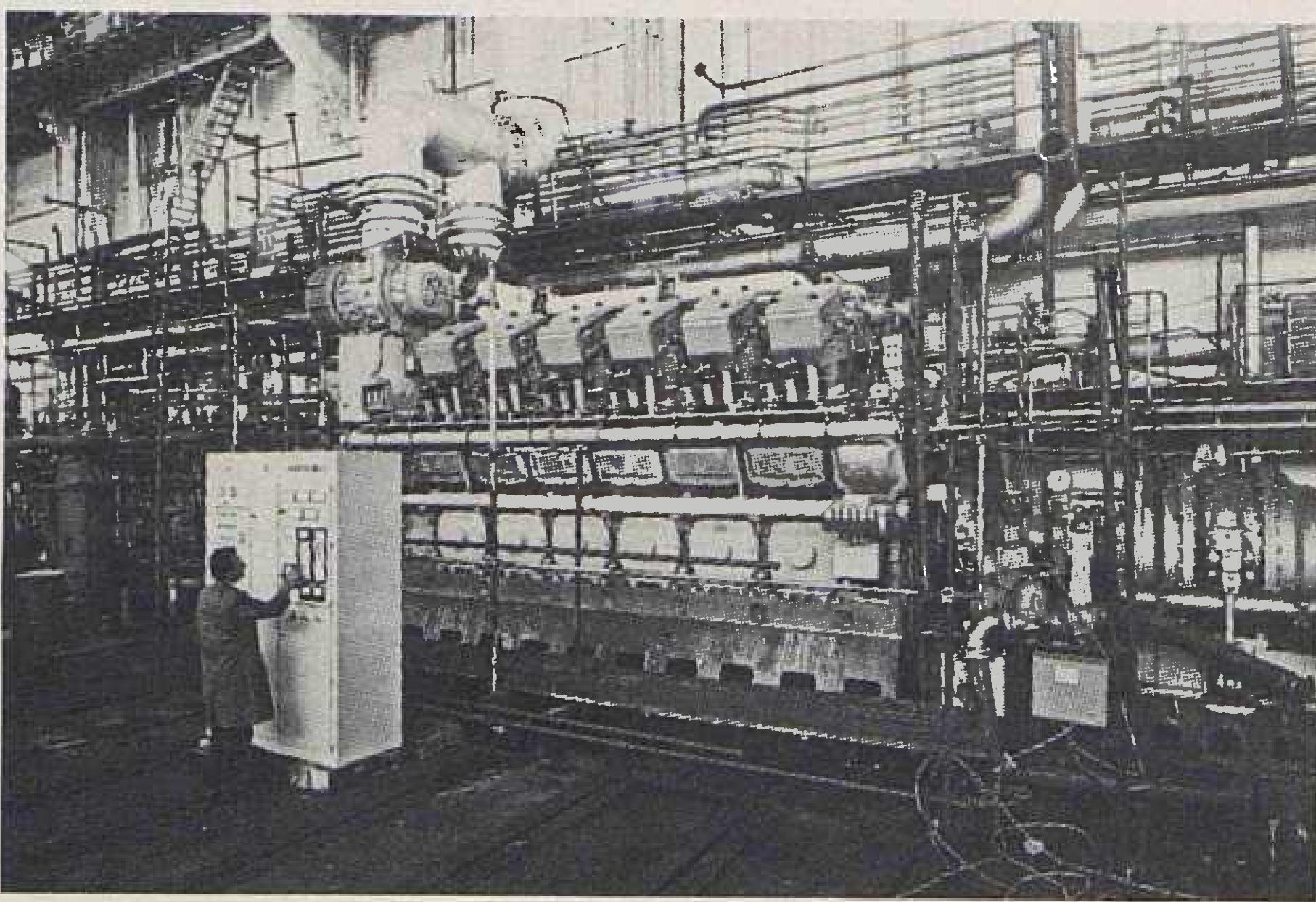
**DJELATNOSTI**

- ★ INŽENJERING (konzalting, projektiranje, isporuka opreme i izgradnja objekata) ZA ENERGETSKA, INDUSTRIJSKA, HIDRO I EKOLOŠKA POSTROJENJA
- ★ IZVOZ — UVOZ, ZASTUPSTVA, TRGOVINA NA VELIKO I MALO
- ★ USLUGE ODRŽAVANJA, SERVISIRANJA I MONTAŽE za turbine, pumpe i diesel motore

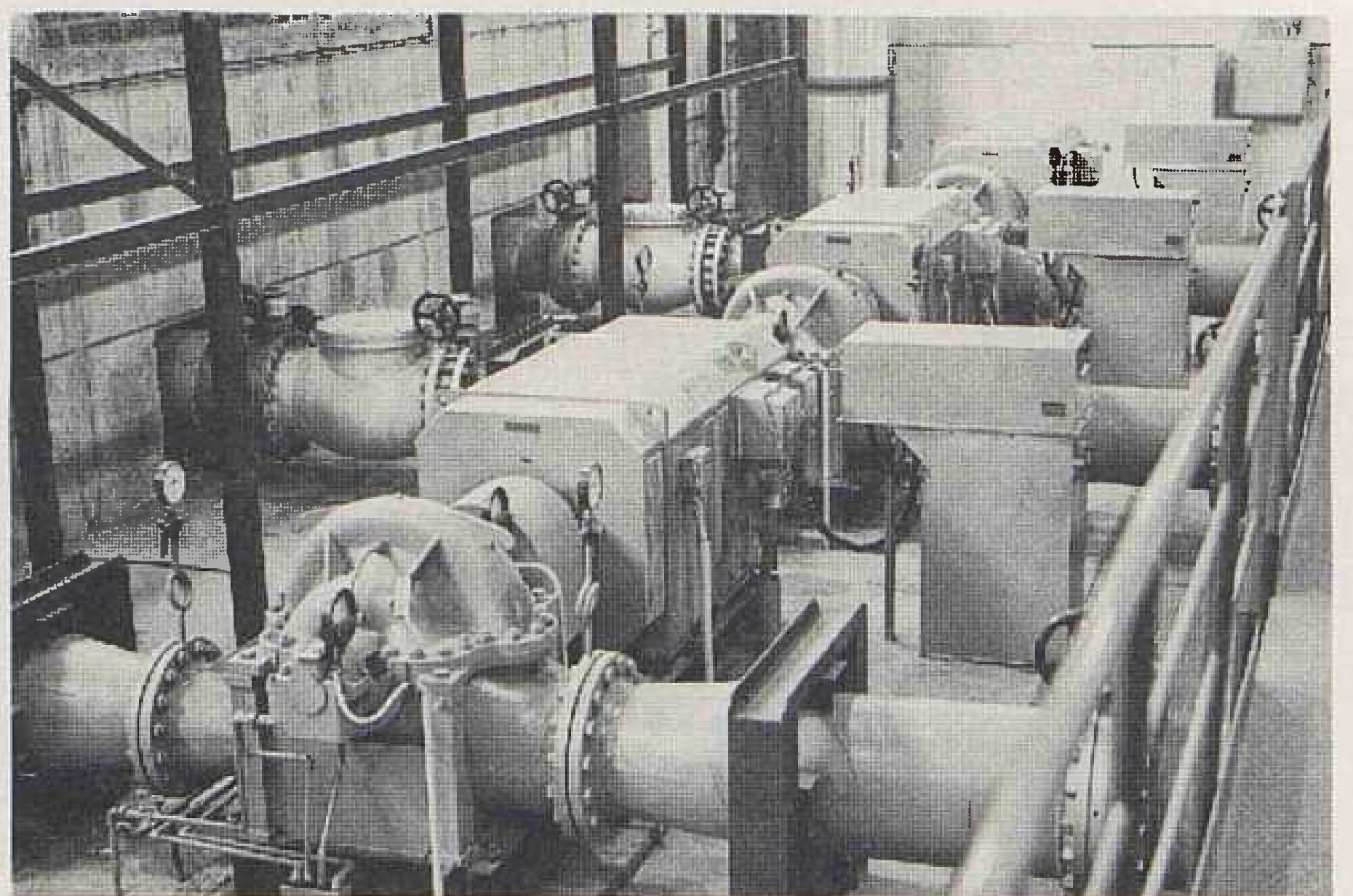
**KONTAKT ADRESA**

**Jugoturbina — Trgovina i inženjering  
Marketing**

**Trg braće M. i J. Benić 2a, 47000 Karlovac  
tel. (047) 26 — 022, tlx. 23 745 yu juting**



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.

# ANALIZA STRUJNOG REDUKCIJSKOG FAKTORA 110 kV KABELA S PARALELNO POLOŽENIM BAKRENIM UŽETOM U ZEMLJI

Milan Milunović, Zagreb

UDK 621.315.2

STRUČNI RAD

Razmatra se slučaj strujnog redukcijuskog faktora XHP 48-A 110 kV kabela u uvjetima postojanja paralelno položenog bakrenog užeta za potrebe smanjenja strujnog redukcijuskog faktora.

**Ključne riječi:** uzemljivačka elektroda, strujni redukcijuski faktor, 110 kV kabel, ekvivalentna shema, matematički prikaz.

## 1. UVOD

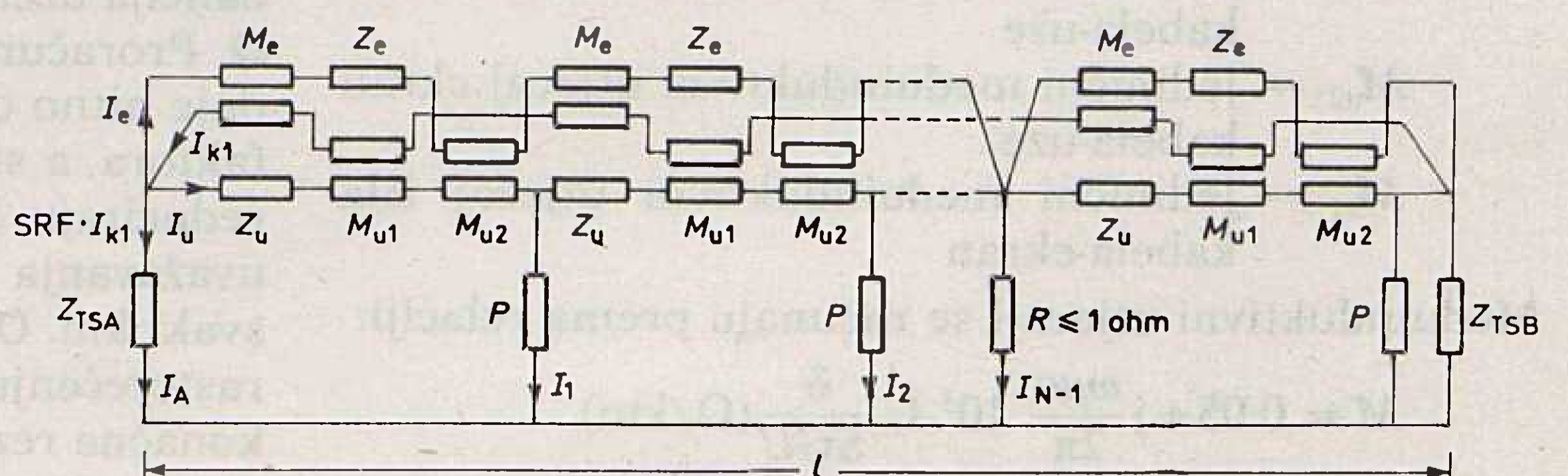
U novije vrijeme sve je češća izgradnja transformatorskih stanica 110/x kV u gradskim jezgrama. Kao jedina moguća varijanta izgradnje 110 kV mreže nameće se mogućnost povezivanja ovih transformatorskih stanica odgovarajućim 110 kV kabela. U 110 kV mreži grada Zagreba prvi su kabeli bili švedske proizvodnje »SIEVERTS« tipa XHP 3X (1 × 1000Al/95Cu)mm<sup>2</sup>. Međutim, u posljednje vrijeme korišteni su 110 kV kabeli francuske tvrtke »SILEC« tipa XHP 48-A, 3X(1 × 1000Al/550Pb)mm<sup>2</sup>. Za razliku od prvobitno primjenjivanih kabela kabeli »SILEC« imaju olovni ekran. Zbog znatno većeg specifičnog otpora olova prema bakru znatno je povećan i strujni redukcijuski faktor, te je potrebno poduzeti mjere za njegovo smanjenje. Veličina strujnog redukcijuskog faktora direktno utječe na veličinu inducirajućih struja u tlu za vrijeme jednopolnog kratkog spoja u 110 kV mreži. Te struje nužno je umanjiti zbog pojave štetnih i opasnih psfometričkih napona na PTT-linijama.

## 2. MJERE ZA SMANJENJE STRUJNOG REDUKCIJSKOG FAKTORA

Strujni redukcijuski faktor moguće je smanjiti polaganjem horizontalne uzemljivačke elektrode koja je vezana na oba kraja s uzemljivačima trafostanica TS 110/x kV. U prospektima proizvođača kabela »SILEC« naveden je podatak o strujnom redukcijuskom

faktoru jedne žile 110 kV kabela u idealnim uvjetima, što znači da se analizira slučaj beskonačno dugačkog 110 kV kabela. Jedino u ovim uvjetima strujni redukcijuski faktor jednak je 0.62. Lako je izračunati da je za beskonačno dugi kabel strujni redukcijuski faktor kombinacije od tri paralelno spregnuta ekrana jednak 0.24. Budući da dužina kabela nije beskonačna, ni strujni redukcijuski faktor nije jednak 0.24, već je uvijek manji. Konzultacijom s proizvođačem kabela dobivena je informacija da je moguće umanjiti strujni redukcijuski faktor na 0.107 (što je vrijednost strujnog red. faktora švedskog kabela) polaganjem bakrenog užeta presjeka 300 mm<sup>2</sup>, koje je paralelno spojeno s ekranom 110 kV kabela. Budući da se radi o znatnim dužinama kabela dionica na kojima je potrebno polagati kakrenu užad, korisno je napraviti analizu raspodjele struje jednopolnog kratkog spoja koji bi nastao u postrojenju TS<sub>A</sub>. Prema preporuci proizvođača kabela potrebno je ekran kabela uzemljiti na otprilike svakih 1 km otporom uzemljenja manjim ili jednakim 1 Ω. Uvažavajući i ovaj uvjet, napravljen je fizikalni model prezentiran ekvivalentnom shemom (sl. 1).

Budući da su ekran kabela i bakreno uže paralelno vezani, potrebno je radi pojednostavnjenja proračuna proanalizirati utjecaj otpora uzemljenja ekrana kabela na raspodjelu struje jednopolnog kratkog spoja. Ovisno o tome sa kojom dužinom elementarnog četvoropola radimo, varira i vrijednost izračunatog odvoda bakrenog užeta prema zemlji. Za nekoliko različitih specifičnih otpora tla i dužine elemen-



Slika 1. Ekvivalentna shema za proračun strujnog redukcijuskog faktora paralelne kombinacije 110 kV kabela i bakrenog užeta

tarnog četvoropola od 100 m imamo sljedeće vrijednosti inverznog odvoda bakrenog užeta od 100 m za presjeke od 300, 240, 185, 95 i 16 mm<sup>2</sup>, pri specifičnom otporu tla od 50.0 Ωm:

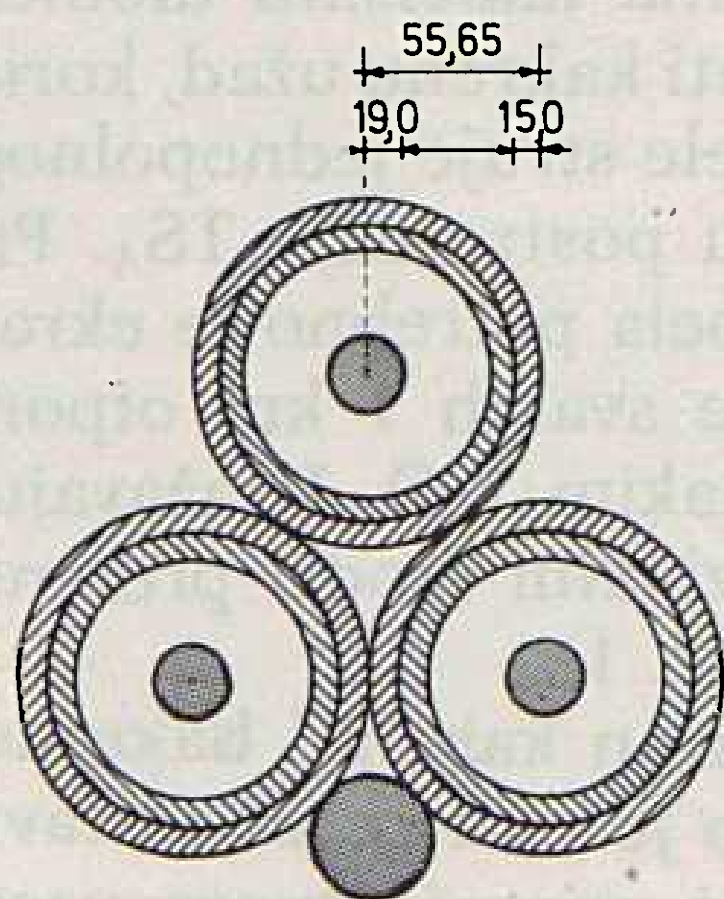
$$\begin{aligned} P_{300} &= 1.38 \Omega \\ P_{240} &= 1.39 \Omega \\ P_{185} &= 1.40 \Omega \\ P_{95} &= 1.43 \Omega \\ P_{16} &= 1.50 \Omega. \end{aligned}$$

Vidljivo je da su vrijednosti inverznog odvoda vrlo blizu zadanog otpora na mjestima uzemljenja ekrana kabela, pa je moguće u proračunu zanemariti otpore uzemljenja ekrana kabela.

Prema prethodnoj ekvivalentnoj shemi moguće je napisati sljedeći sustav jednadžbi čijim rješavanjem se dobiju sve željene struje:

$$\begin{bmatrix} -(Z_u + Z_A) & -(Z_u - M_{u2}) & p & 0 & \dots & 0 \\ -2Z_u + Z_A & -2(Z_u - M_{u2}) & -Z_u & p & \dots & 0 \\ -(3Z_u + Z_A) & -3(Z_u - M_{u2}) & -2Z_u & -Z_u & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -((N-1)Z_u + Z_A) & -(N-1)(Z_u - M_{u2}) & -(N-2) & Z_u & \dots & p \\ -(NZ_u + Z_A + Z_B) & -N(Z_u - M_{u2}) & -(N-1)Z_u & Z_B & \dots & -Z_u - Z_B \\ -NM_{u2} - Z_A - Z_B & -NM_{u2} + Z_{c1} & -(N-1)M_{u2} & -Z_B & \dots & -M_{u2} - Z_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_A \\ I_c \\ I_1 \\ \vdots \\ I_{N-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{k1}(M_{u1} - z_u) \\ 2I_{k1}(M_{u1} - Z_u) \\ 3I_{k1}(M_{u1} - Z_u) \\ \vdots \\ (N-1)I_{k1}(M_{u1} - Z_u) \\ NI_{k1}(M_{u1} - Z_u) \\ I_{k1}(M_{c1} - NM_{u2}) \end{bmatrix}$$

Analizu strujnog reduksijskog faktora i raspodjelu struja provodimo za polaganje bakrene užadi presjeka 300, 240, 185.95 i 16 mm<sub>mm</sub>. Pritom se polazi od pretpostavke da su kabelske žile položene u formaciji trolista, u čijoj je bazi, neposredno uz kabelske žile, položeno bakreno uže. Konfiguracija ovoga slučaja s osnovnim dimenzijama dana je na slici 2.



Slika 2. Način polaganja žila 110 kV kabela i bakrenog užeta

Za nacrtanu konfiguraciju je potrebno definirati sljedeće karakteristične međuinduktivitete:

- $M_{11}$  — jedinični međuinduktivni utjecaj žila kabela-uže
- $M_{u21}$  — jedinični međuinduktivni utjecaj ekran kabela-uže
- $M_{c1}$  — jedinični međuinduktivni utjecaj žila kabela-ekran

Međuinduktivni utjecaji se računaju prema relaciji:

$$M = 0.05 + j \frac{\omega \mu_0}{2\pi} 10^3 I_n \frac{\delta}{SGU} (\Omega/\text{km})$$

gdje je:

- 0.05 — otpor povratnog puta kroz zemlju
- $\omega$  — kružna frekvencija (314)
- $\mu$  — permeabilitet zraka ( $4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m)
- $\delta$  — dubina povratnog puta kroz zemlju
- $SGU$  — srednja geometrijska udaljenost između promatranih vodiča.

Za odabranu vrijednost specifičnog otpora tla od 50 Ωm, imamo ove vrijednosti jediničnih međuinduktivnih djelovanja:

$$\begin{aligned} M_{u11} &= 0.05 + j0.547 \Omega/\text{km} \\ M_{u12} &= 0.05 + j0.55 \Omega/\text{km} \\ M_{c1} &= 0.05 + j0.576 \Omega/\text{km}. \end{aligned}$$

Jedinične uzdužne impedancije bakrene užadi različitih presjeka iznose:

$$\begin{aligned} Z_{u1}(300) &= 0.117 + j0.721 \Omega/\text{km} \\ Z_{u1}(240) &= 0.134 + j0.728 \Omega/\text{km} \\ Z_{u1}(185) &= 0.16 + j0.738 \Omega/\text{km} \\ Z_{u1}(95) &= 0.24 + j0.770 \Omega/\text{km} \\ Z_{u1}(16) &= 1.16 + j0.84 \Omega/\text{km} \end{aligned}$$

na temperaturi 50 °C.

Jedinična impedancija paralelne kombinacije tri ekrana kabela na temperaturi 70 °C iznosi:

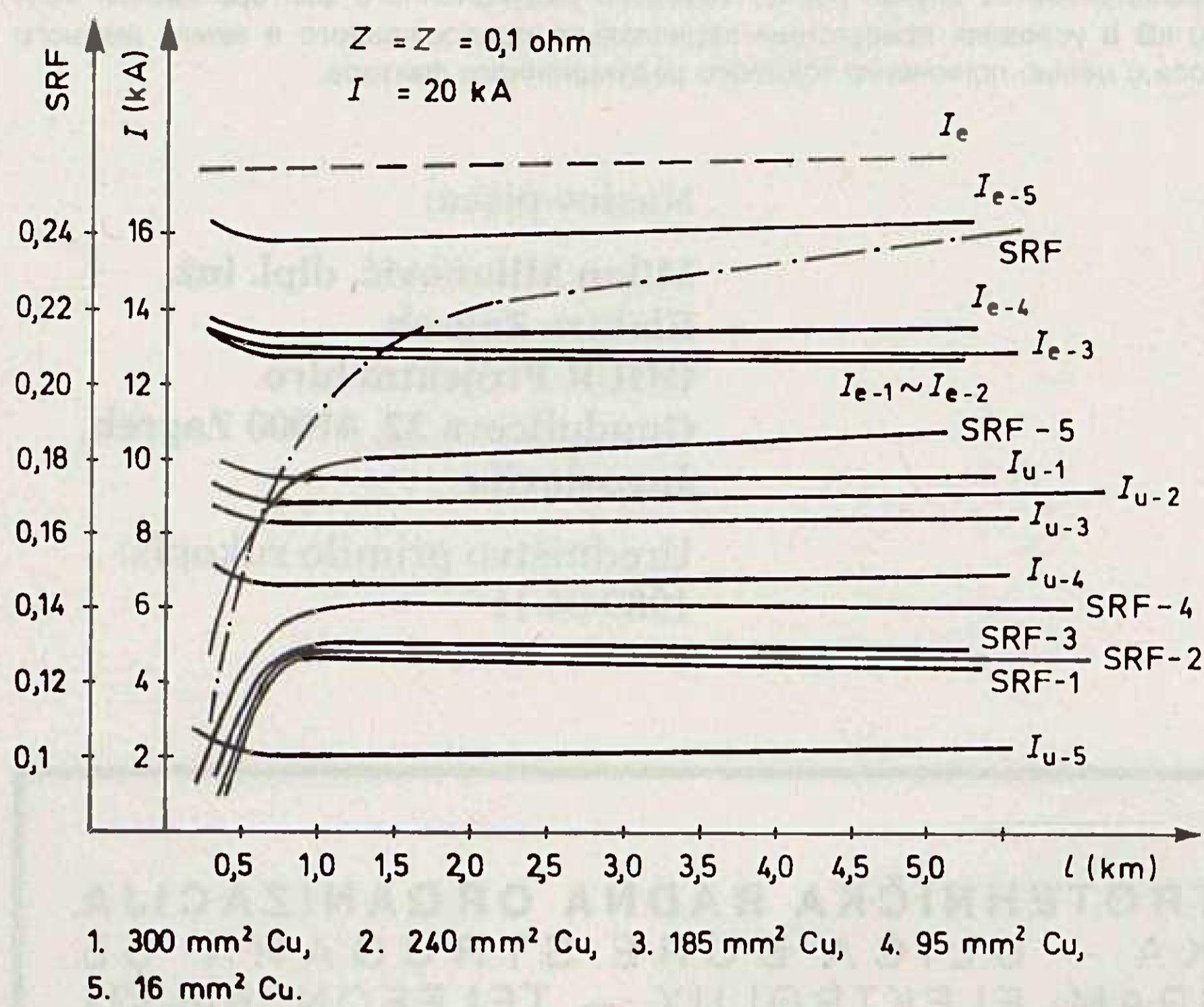
$$Z_{c1} = 0.207 + j0.576 \Omega/\text{km}.$$

Temperature bakrenog užeta i ekrana kabela uzete su za slučaj maksimalno mogućeg zagrijavanja, što je najnepovoljnije s obzirom na vrijednost strujnog reduksijskog faktora.

Na idućem dijagramu prikazani su rezultati proračuna. Proračun je napravljen variranjem dužine kabelske dionice između TS<sub>A</sub> i TS<sub>B</sub> i to od 0.5 km do 5 km. Pritom se za svaku od ovih dužina računaju struje kroz ekran kabela, uže na 1. četvoropolu, kao i struja kroz uzemljivač TS<sub>A</sub>, sve uz pretpostavku nastanka jednopolnog kratkog spoja na 110 kV strani u TS<sub>A</sub>. Struje računamo na 1. četvoropolu jer je najugroženija dionica ekrana kabela i užeta neposredno uz TS<sub>A</sub>. U proračunu se pretpostavlja vrijednost impedancija uzemljenja trafostanica A i B u iznosu od 0.1 Ω. Proračun za vrijednost impedancija od 0.05 Ω ne daje bitno drugačije rezultate strujnog reduksijskog faktora, a struje kroz ekran kabela i bakreno uže se reduciraju. Slični proračuni su napravljeni i za slučaj uvažavanja uzemljenja ekrana kabela na otprilike svaki km. Ova uzemljenja nešto pridonose strujnom rasterećenju ekrana kabela, ali ne mijenjaju bitno konačne rezultate.



Za slučaj drugačijeg specifičnog otpora tla potrebno je napraviti sličnu analizu.



Slika 3. Strujni reduksijski faktor i struje kroz ekran i uže 1. četvoropola za različite presjeke bakrenog užeta

Iz priloženog dijagrama vidljivo je da strujni reduksijski faktor varira od 0.130 do 0.188 na relacijama dužim od 1 km.

Ako struja 1 PKS na 110 kV strani iznosi 20 kA, struje kroz ekran na relacijama većim od 1 km, variraju od 12.8 do 16.1 kA, a struje kroz bakreno uže od 2.0 do 8.6 kA.

Ako se ne koristi bakrena užad kao uzemljivačke elektrode (slučaj  $M_{u11} = M_{u21} = 0,0,0,0$ ), dobiva se strujni reduksijski faktor u granicama 0.2–0.24, a struja kroz ekran kabela od 18 kA. Rezultati za ovaj slučaj prikazani su isprekidanim linijama.

### 3. ZAKLJUČAK

Analizom dobivenih rezultata može se zaključiti sljedeće:

1. Utjecaj polaganja bakrenog užeta za potrebe umanjenja strujnog reduksijskog faktora izražen je u relativno uskim granicama.
2. Gotovo isti rezultati strujnog reduksijskog faktora pojavljuju se u slučaju korištenja bakrene užadi presjeka 300, 240, 185 i 95 mm<sup>2</sup>.
3. Maksimalna struja kroz ekran kabela pojavljuje se za slučaj polaganja bakrenog užeta od 16 mm<sup>2</sup>. Ova struja iznosi 16 kA. Međutim, ni u ovom slučaju ekran kabela nije ugrožen, jer dopušteno opterećenje olovnog ekrana kabela za trajanje kratkog spoja od 1 sek iznosi 17 kA (U realnim uvjetima je trajanje kratkog spoja na 110 kV strani manje od 1 sek, a struja jednopolnog kratkog spoja uglavnom se kreće od 20 kA. Struja jednopolnog kratkog spoja od 30 kA pojavljuje se tek u perspektivi kao gornja granica). U slučaju proračuna sa strujom od 30 kA bakreno uže presjeka 16 mm<sup>2</sup> više ne zadovoljava, a ekran kabela nije preopterećen ni u jednom slučaju presjeka bakrenog užeta

većeg ili jednakog 95 mm<sup>2</sup>, za sva vremena trajanja kratkog spoja manja od 0.5 sek.

4. Minimalna vrijednost strujnog reduksijskog faktora koju je uopće moguće postići polaganjem paralelnih uzemljivačkih elektroda za dužine od 1 km iznosi 0.13. Ta vrijednost još je uvijek veća od željene vrijednosti strujnog reduksijskog faktora u iznosu 0.107 (što je strujni reduksijski faktor švedskog kabela).
5. Sve navedeno upućuje na potrebu pomnog analiziranja presjeka bakrenog užeta jer se ovakvom analizom mogu uštedjeti znatne količine bakra, koji bi se inače nepotrebno polagao u zemlju radi smanjenja strujnog reduksijskog faktora kabela, odnosno induciranih napona u PTT-linijama.

### POPIS UPOTRIJEBLJENIH OZNAKA

- SRF* — strujni reduksijski faktor 110 kV kabela  
 $Z_A$  — impedancija uzemljenja TSA 110/x kV  
 $Z_B$  — impedancija uzemljenja TSB 110/x kV  
 $Z'_B$  — paralelna kombinacija  $Z'_B / P$   
 $Z_{c1}$  — jedinična impedancija ekrana kabela  
 $M_{c1}$  — jedinično međuinduktivno djelovanje žila kabela-ekran  
 $l$  — dužina 110 kV kabela  
 $N$  — ukupni broj gama-četvoropola na kabelskoj dionici  
 $Z_u$  — udužna impedancija bakrenog užeta po jednom četvoropolu  
 $p$  — inverzna vrijednost odvoda bakrenog užeta  
 $M_{u1}$  — međuinduktivno djelovanje žila kabela-bakreno uže po jednom četvoropolu  
 $M_{u2}$  — međuinduktivno djelovanje ekran kabela-bakreno uže po jednom četvoropolu  
 $M_c$  — međuinduktivno djelovanje žila kabela-ekran kabela po jednom četvoropolu  
 $R$  — otpor uzemljenja ekrana 110 kV kabela  
 $I_{k1}$  — struja jednopolnog kratkog spoja na 110 kV strani TS 110/x kV  
 $I_c$  — struja kroz ekran kabela na 1. četvoropolu  
 $I_u$  — struja kroz bakreno uže na 1. četvoropolu

### LITERATURA

- [1] \*\*\* Bestimmung für Erdungen in Wechselstromanlagen über 1 kV, VDE, 0141/7.76
- [2] NOVOSELAC Z., ČUPIN, N., GALEK, I.: »Problem iznošenja potencijala iz TS 110/20 kV u Zagrebu«, Elektrotehnički institut »R. Končar« E1554, 1981
- [3] NAHMAN, J.: »Uzemljenje neutralne tačke distributivnih mreža«, Beograd, 1980.

## AN ANALYSIS OF CURRENT REDUCTION FACTOR FOR 110kV CABLE WITH PARALLEL LAID COPPER ROPE

In the article is analysed a current reduction factor for XHP48-A 110 kV cable with parallel laid copper rope for the purpose of decreasing current reduction factor.

## ANALYSE DES STROMREDUKTIONSFAKTORS 110 kV KABEL MIT PARALLEL GELEGTEN KUPFERSEIL IN DER ERDE

Hier behandelt man den Fall der Berechnung des Stromreduktionsfaktors des XHP 48 — A 110 kV Kabels bei dem parallel gelegten Kupferseil für die Bedürfnisse der Verringerung des Stromreduktionsfaktors.

## АНАЛИЗ ТОКОВОГО РЕДУКЦИОННОГО ФАКТОРА КАБЕЛЯ 110 кВ С ПАРАЛЛЕЛЬНО ПРОЛОЖЕННЫМ В ЗЕМЛЕ МЕДНЫМ ТРОСОМ

Рассматривается случай расчет токового редукионного фактора кабеля 48-A 110 кВ в условиях присутствия параллельно проложенного в земле медного троса с целью понижения токового редукионного фактора.

Naslov pisca:

**Milan Milunović, dipl. inž.**  
**Elektra Zagreb**  
**OOOR Projektni biro**  
**Gundulićeva 32, 41000 Zagreb,**  
**Jugoslavija**

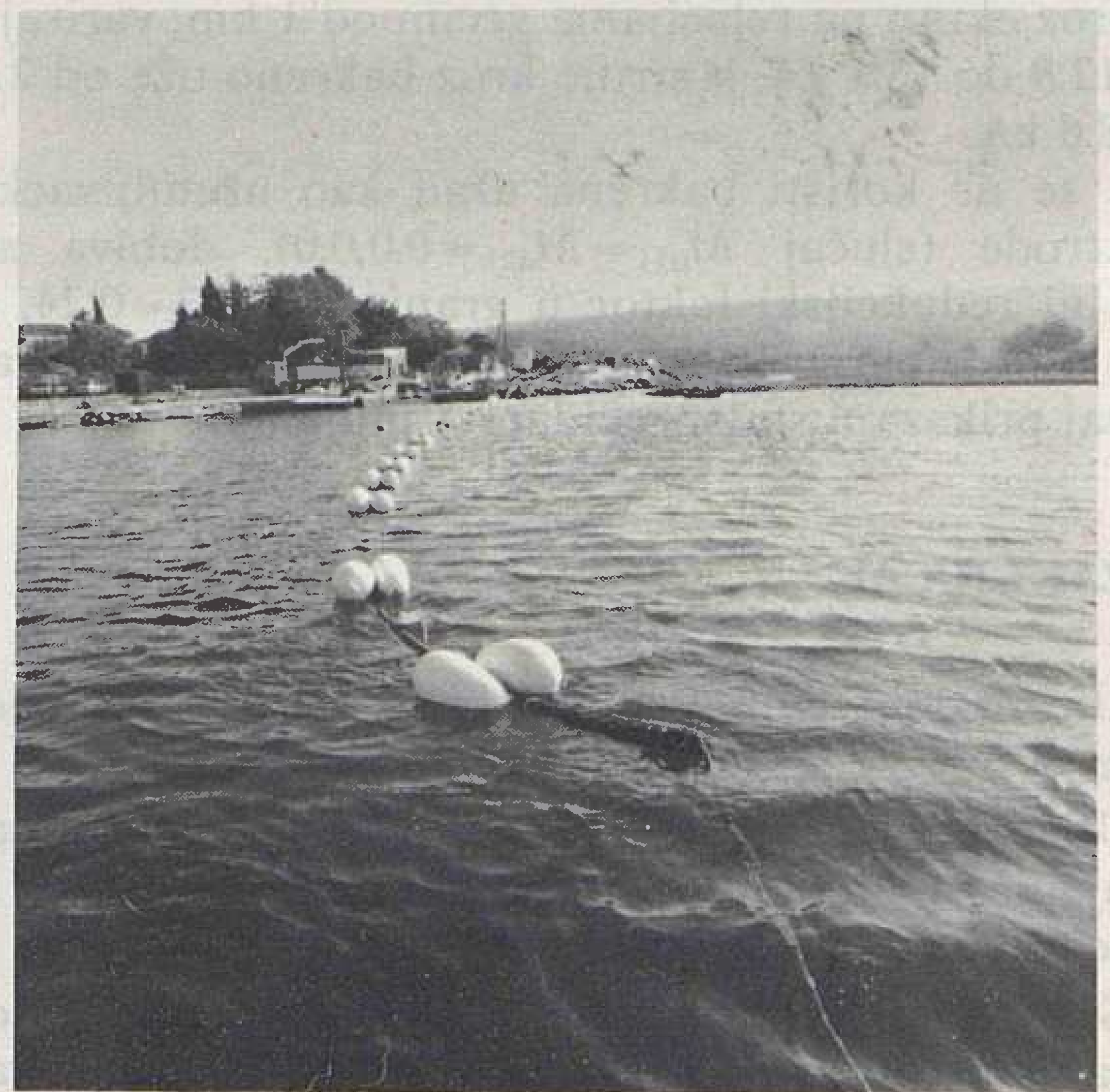
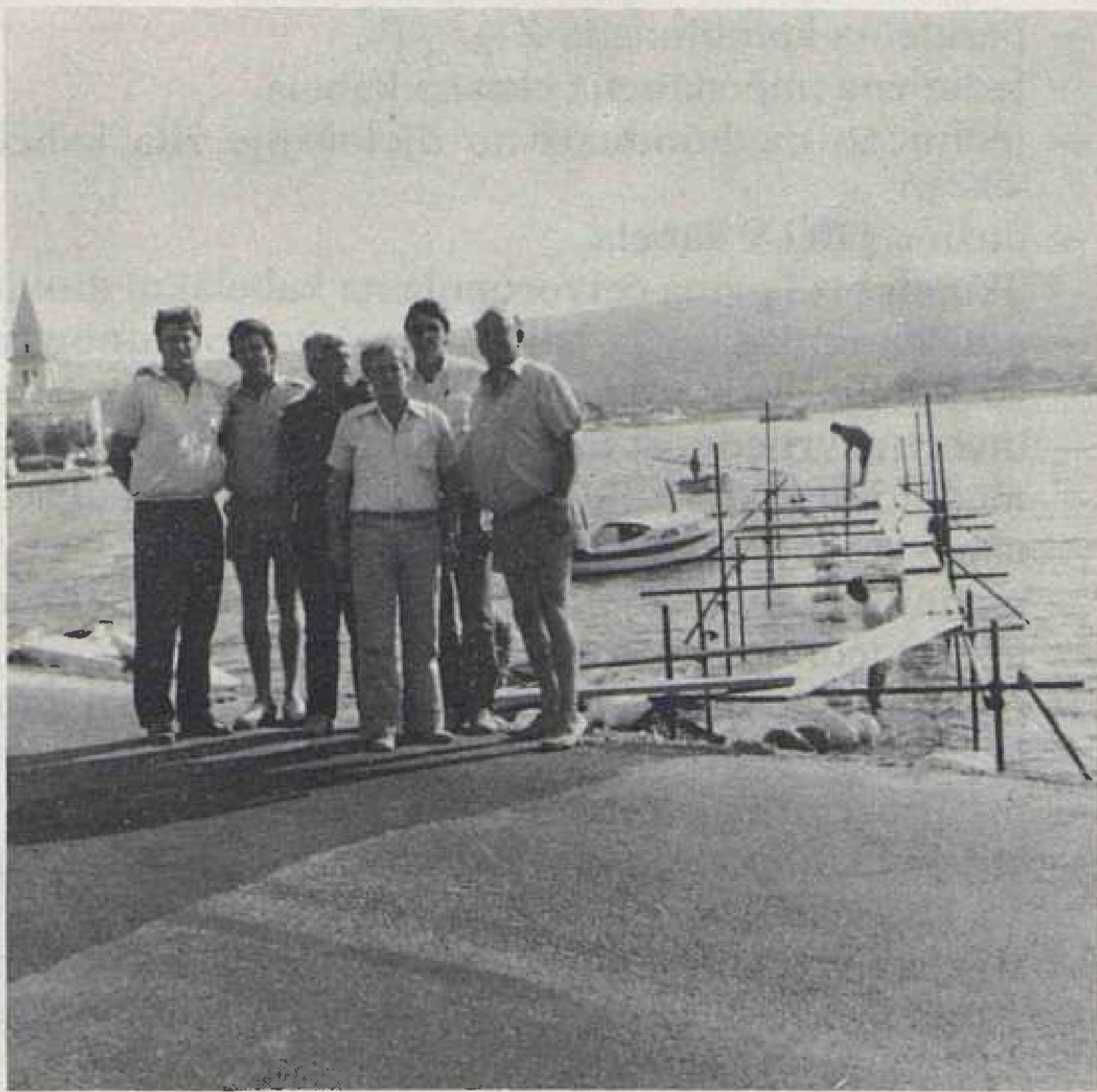
Uredništvo primilo rukopis:  
 1989-04-11



**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**

# OPASNA I ČUDLJIVA MUNJA — NEKE VAŽNE SPOZNAJE I POUKE ZA ZAŠTITU

Dr. Zvonimir Krulc, Zagreb

UDK 621.316.91:699.887.2

STRUČNI RAD

Prikazan je niz neobičnih i tragičnih opisa udara munje — pretežno iz javnih glasila informiranja. Iz takvih opisa bez stručnih analiza fizikalnih i drugih okolnosti pojave atmosferskih električnih pražnjenja, ipak se mogu izvući važne spoznaje i vrijedne pouke. Rad je dopunjen i zaokružen s osnovnim kritičkim razmatranjima zaštite od udara munje.

**Ključne riječi:** udari munje, ugroženost od udara munje, zaštita od udara munje (groma), gromobranska instalacija.

## 1. UVOD

O udarima munje — naročito onim štetnim ili smrtonosnim izvještava se gotovo isključivo u dnevnim javnim glasilima. Ti su izvještaji također gotovo isključivo samo prikazi činjeničnog stanja nakon udara munje, dakle samo opisi posljedica udara munje. Dakako da te prikaze sastavljaju novinari svojim »rutinskim« načinom opisivanja dnevnih događaja — bez stručnog znanja o fizikalnim karakteristikama munje. Ti prikazi ukazuju često na bizarne, neobične, često upravo spektakularne učinke munje kad ona »traži«, svoj kraj, svoje uzemljenje. Učinci struje munje u prikazanim su slučajevima u svom završnom dijelu često katastrofalni za udarene objekte ili osobe.

Za stjecanje spoznaja i još više za uspješnu zaštitu od opasnih udara munje mogu biti vrlo poučni i takvi kratki, šturi i posljedični opisi udara munje napisani bez ulaženja i bilo kakve stručnije analize mehanizma udara ili drugih uvjeta pojave atmosferskog električnog pražnjenja.

Ovdje prikazani opisi nekih neobičnih, bizarnih i »spektakularnih« udara munje uzeti su iz domaćih i inozemnih novina, ali su dopunjeni i stručnim prikazima i analizama iz stručnih časopisa, tako da se dobije ipak malo zaokruženija slika pojava štetnih i smrtonosnih udara struje munje.

Ovdje, svakako, treba upozoriti na vrlo poučan i zanimljiv rad A. Đumrukčića (1987) o nekim razornim i smrtonosnim udarima munja — pretežno u području Bosne i Hercegovine, prikupljenim iz dnevnih novina. U radu su, međutim, prije opisa prikazani i vrijedni podaci o fizikalnim karakteristikama munje, elektroenergetske spoznaje i ocjene opasnosti od udara munje. Analizirajući prikazane udare, taj autor daje u svom radu i vrijedne zaključke te preporuke za poboljšanje zaštite od udara munje kako bi se smanjio broj žrtava i šteta u industriji i privredi.

Svi ti prikazi pokazuju svu nepredvidivost udara i putova struje munje kao stihijske pojave, ali nas opetovano upozoravaju da moramo i dalje učiti o zaštitnim mjerama od njenih opasnih udara.

## 2. UDARI MUNJE U ELEKTROENERGETSKE I DRUGE OBJEKTE

### 2.1. Udari munje u dalekovode

U toku posljednjih petnaestak godina bilo je u dnevnim novinama više izvještaja — često s upravo uzbudljivim naslovima — o udarima munje u dalekovode u širem području Like (Začarani dalekovod, "Vjesnik" 29. 8. 1970; Gromovi iskopčali struju, "Večernji list" 12. 8. 1982; Gromovi zapalili električne stupove u Lici, "Večernji list" 1. 11. 1976; Grom oštetio dalekovod, "Večernji list" 13. 8. 1983. itd. U većem broju tih izvještaja spominju se česti ispadi dalekovoda na trasi Lički Osik — Gračac uz primjedbu »da je taj dalekovod više nego ijedan osjetljiv na vremenske prilike« te »da je uočeno da su na potezu Lički Osik — Raduč abnormalno velika atmosferska pražnjenja«. Većina tih udara zabilježena je sredinom kolovoza i početkom rujna kada su oluje najjače i najčešće, pa se osnovni uzroci udara munje mogu tražiti u hidrometeorološkim prilikama. Za područje Raduč — Gračac učinjen je i pristup rješenju učestalih ispada dalekovoda analizom povećane ugroženosti od udara munje sa stajališta geološko-geoelektričnih uvjeta tla (Z. Krulc, 1972, 1973).

O štetnim udarima munja u dalekovode izvještava se i iz drugih područja Jugoslavije npr. Gromovi poremetili elektroenergetski sistem (u SR BiH i dijelu SRH), "Vjesnik" 18. 5. 1970; Grom presijekao četiri dalekovodna stupa "Glas Istre" 20. 10 1981; Gromovi obustavili struju, "Večernji list" 23. 8. 1982 — područje Zagvozd ispod Biokova; česti prikazi udara munje u dalekovode u području Zagreba.

Prema izjavama stručnjaka u elektroprivrednim RO u našoj zemlji još su uvijek česti ispadi dalekovoda zbog atmosferskih pražnjenja. Svakako da se o toj problematici u toj stručnoj sredini vodi ozbiljna briga; postoje i dobro poznati i razrađeni sistemi zaštite od prenapona. Ipak se može dati preporuku da se za neka područja razmotre i geološko-geoelektrični uvjeti građe tla, da se istraži povećana ugroženost od udara munje i sa te strane.

## 2.2. Udari munje u trafostanice

U novinskim izvještajima često se navode i udari munje u trafostanice npr. Udar groma u trafostanicu, "Vjesnik", 15. 8. 1972. s primjedbom: »Gromovi su u dva navrata 'izbacili' transformatore, pa je Samobor ostao bez struje.« Pritom se ne izvještava da su kvarovi bili kratkotrajni, jer je »proradila« zaštita tih objekata.

Kratki izvještaj u »Večernjem listu« 1. 11. 1988. pod naslovom Grom pubudio je vjerojatno ipak veću pažnju i stručne i nestručne javnosti. Navedeno je, naime, da će NE Krško raditi neko vrijeme s pola snage. »Razlog tome je banalni udar groma koji je uništio transformator.« (...) »Postavljeno je i pitanje što je sa zaštitom od groma NE Krško, kada je može »probiti« malo jači nalet olujnih oblaka.« Autoru nije poznat daljnji tok predmetnih rasprava (u zatvorenim krugovima ili javnim glasilima), ali smatra vrijednim podsjetiti na 1977. god. održano predavanje prof. dr. S. Lundquista pod naslovom Utjecaji munje sa posebnim naglaskom na zaštitu nuklearnih elektrana (bilješka Z. Krulca). Posebno je zanimljiv prikaz praktičnog primjera udara munje u niži objekt u sklopu NE u kojem je bio kompjutor. Cijeli kompleks objekata NE U Švedskoj (u mjestu blizu glavnog grada) projektirali su arhitekti. Radi ljepšeg izgleda stavili su odvođe za kišnicu u unutrašnjost objekta. Jedan odvod bio je smješten u inače nižem dijelu objekta (između dva viša) vrlo blizu upravljačkog kompjutora. Pri udaru munje slabije struje u niži objekt kompjutor je oštećen. Odmah nakon toga povišen je stupanj sigurnosti za taj objekt, a pristupilo se oštrijoj procjeni ugroženosti od udara munja — posebno onih sa slabijom strujom — za ostale NE u Švedskoj. Usprkos nekim mogućim nepredvidivim okolnostima ne može se i ne smije se sumnjati u provedeni stupanj sigurnosti NE Krško od udara munje. Svaka pouka, pa i neka banalna, svakako mora biti korištena za poboljšanje zaštite od munje.

## 2.3. Udari munje u druge objekte

Udari u pokretne objekte — tramvaj, vlakove i trolej-buse — u dnevnim novinama sreću se dosta rijetko, ali svi imaju upravo neobičan, bizaran utisak u perima novinara. Naprimjer Grom u tramvaj ("Vjesnik" 21. 7. 1983) u Zagrebu; navodi se da su putnici već bili izašli iz tramvaja, ali je taj onesposobljen za vožnju, jer su nastali kvarovi na pogonskom dijelu tramvaja. Grom udario u tramvaj ("Večernji list" 20. 8. 1975) — u Osijeku; navodi se da unesrećenih nije bilo, ali su kola oštećena.

Zanimljiv je opis udara munje u trolejbus u Sarajevu: munja je udarila u trolejbus i zapalila ga; zahvaljujući prisebnosti vozača putnici su se razbježali, a protupožarnim aparatom vatra je ugašena; vozilo je znatno oštećeno (Grom zapalio trolejbus, "Večernji list" 24. 5. 1986).

Posebno su zanimljivi udari munje u nezaštićene ili nedovoljno zaštićene **stambene i slične objekte**. Neki opisi odnosno primjeri pokazuju neobičnu, bizarnu a i spektakularnu čudljivost struje munje.

— Sedam kuća u selu Šaini kod Pule oštećeno je u noći za vrijeme velikog nevremena nad Istrom i Kvarnerom, kada je munja udarila u obližnje stablo. Zanimljivo je da je struja munje naprosto zaorala brazdu dugačku 500 m i po tlu dospjela do obližnjih zgrada i oštetila ih. Najviše je stradala zgrada udaljena oko 100 m od mjesta, gdje je munja udarila u stablo. U kući su oštećene elektroinstalacije i električni uređaji. Popucala su i stakla na vratima. Na drugoj kući munja je učinila rupu duboku oko 6 cm. Na sreću nitko nije bio ozlijeđen. Nastao je i kvar na visokonaponskoj mreži («Glas Istre», 28. 10. 1981, Pula).

— Munja je udarila u antenu vezanu za krovni žljeb kojemu je odvodni oluk završavao 0,5 m iznad tla. Stambena kuća nije imala gromobransku instalaciju. Munja je slijedila antenski vod, nategnut koso na krovu, do žlijeba i ovdje se dijelila na dva dijela. Od žlijeba munja je skočila na metalni krov i na priključni ormarić telefonske linije, koji je bio smrvljen. S metalnog krova došlo je do preskoka na vodovodnu cijev, pri čemu se je zapalila drvena podloga metalnog krova. Munja je zatim prošla kroz rov bivšeg brojača vode zapalivši brtvilo pri-rubnice umetnute cijevi i nastavila svoj put duž oko 25 m duge vodovodne cijevi u tlu do brojila za vodu, gdje je istrgnula tu cijev. Vodovodna cijev vjerojatno nije imala galvansku vezu i na potonjem mjestu je pri preskoku nastala toplina u trenutku isparila vodu, što je dovelo do puknuća cijevi. — Drugi dio munje istrgnuo je u dnevnom boravku antenski vod iz zida, rastalio metalne dijelove utikača i uništio televizor. U kuhinji su pregorjeli bojler i utičnica štednjaka. U električnom priključnom ormariću nisu izdržali ovaj dio munje crpka za ložulje, te osigurači i električno broji-lo i bili su uništeni. Dva glavna osigurača u glavnom priključnom ormariću u udaljenosti oko 25 m također su pregorjela, a u susjednoj kući oštećena su tri televizora (A. Asfalg, 1983).

— Na stambenom objektu s mehaničarskom radionicom u području kotara Ludwigshafen (SR Njemačka) postavljena je u travnju 1965. gromobranska instalacija. Tri mjeseca kasnije, u srpnju 1965, udarila je munja u hvataljku instalacije na stambenom dijelu objekta. Budući da je bio broj odvođa samo tri umjesto propisanih šest a nije bio uzemljen ni jedan od šest oluka, odabrao si je dio struje munje svoj put preko limenog žlijebnog poruba, nepovezanog za gromobransku instalaciju, na također nepovezanu gromobransku instalaciju. Pritom su uništeni zidovi i stropne konstrukci-

- je objekta. Kako je »savjesno« radio monter gromobranske instalacije pokazuje okolnost, da dio uzemljivača još nije ni ukopao, već je to ostavio naručiocu. Ovaj je pak sa svoje strane uzemljivače također ostavio nedirnite (A. Hösl, 1966).
- U paviljonu (kućici) za zaštitu između brojnih stabala munja je pogodila 6 osoba. Peterokutni paviljon, otvoren na četiri strane, bio je pokriven bakrenim limom. Munja je udarila u obližnji hrast i preskočila na limeni krov i na ljude koji su tražili zaštitu od kiše. Četiri su osobe smrtno stradale, a dvije osobe i jedan pas bili su ozlijeđeni (»ABB Rundschreiben« 3/82).
  - U Sonkoviću, nedaleko od Skradina, grom je udario i teško ošteti Crkvu Sv. Marka. Za taj udar groma, po svemu sudeći, krive su dotrajale instalacije (Snijeg požurio ..., "Večernji list" 13. 10. 1975).
  - Udar groma najvjerojatniji je uzrok požara na zgradi proizvodne hale radne jedinice Metalne konstrukcije »Osijek-Standard« u Valpovu. Vatrogasna ekipa brzo je stigla u zapaljeni pogon, ali je intervencija kasnila, jer je požarište bilo pod naponom. Potpuno je izgorio krov i dio zgrade gdje je lakirnica (Grom zapalio pogon, "Večernji list" 1. 8. 1987).
  - Kokoši nisu izdržale veliko pražnjenje elektriciteta. Nakon udara groma uništen je zapat od oko 6 500 nesilica, od 8 000 koliko je bilo u metalnim kavezima suvremene farme za proizvodnju jaja (u Banatskom Novom Selu). To je bio senzacionalan događaj. Uglavnom su čitaoci stekli dojam da je grom zapalio farmu. Nitko ne zna objasniti gdje je zapravo udario grom koji je uništio gotovo sve nesilice. Još nigdje u Banatu nije zabilježen sličan slučaj udara groma. Slučaj je poučno djelovavao na druge farmere koji su pohitali osigurati svoju proizvodnju. (Kad je grom »zbrisao« farmu, "Večernji list" 20. 8. 1982). Ovdje treba svakako odmah postaviti pitanje zašto u toj farmi (objektu) s metalnim kavezima nije urađena gromobranska instalacija. Može se također postaviti pitanje kako su drugi farmeri osigurali svoju proizvodnju: da li s izvedbom tehničkog osiguranja s gromobranskom instalacijom ili osiguranjem od štete kod osiguravajuće organizacije.
- #### 2.4. Udari munje u živa bića
- Naročito su pak tragični i ponekad čudljivi udari munje u ljude, vrlo često onda kada su potražili »zaštitu« ispod stabala, gotovo uvijek s tragičnim posljedicama. Posljednjih nekoliko godina bilo ih je veoma mnogo. Ovdje samo nekoliko posebnih, upravo bizarnih i »spektakularnih« primjera.
- Udar munje u stablo kod Maglaja početkom lipnja 1983. bio je tragičan: od udara munje poginule su dvije osobe, a jedna je teže ozlijeđena. Pretpostavlja se da je munju privukla kosa što ju je nesretni kosač objesio o stablo, ispod kojeg su se te tri osobe sklonile od iznenadnog nevremena ("Večernji list" 9. 6. 1983).
  - Udar munje u veliku skupinu ljudi koji su se sklonili od nevremena u šator pod visokim hrastom u Gradišću (Austrija) potkraj svibnja 1983. može se nazvati upravo katastrofalnim: munja je ubila devet i ozlijedila još devet osoba ("Večernji list" 25. 5. 1983).
  - Za kiše praćene grmljavinom u selu Berinu izvoru blizu jugoslavensko-bugarske granice grom je udario u grupu ljudi. Poginula je učenica koja je u selo doputovala rođacima na ljetni odmor. Dvije su osobe lakše a jedna teže ozlijeđena. Prema prvim nalazima istrage grom je udario u vrh kišobrana ispod kojeg su bile ove osobe dok su se vraćale sa seoskog groblja s pogreba (Tragedija poslije pogreba. Grom u vrh kišobrana, "Večernji list" 1. 7. 1983).
  - Veliko nevrijeme koje je zahvatilo pirotski kraj nije prošlo bez ljudskih žrtava. Na turniru malog nogometa u Pirotu grom je udario u skupinu gledalaca. Poginuo je jedan gledalac a tri su ozlijeđena (Grom udario u gledaoce, "Večernji list", 11. 7. 1983).
  - Za nevremena na planini Osogovu blizu Kočana grom je ubio stado od 350 ovaca, koje su se od nevremena sklonile pod krošnjom visokog stabla u koje je udario grom (Grom pobio stado, "Večernji list" 20. 7. 1983).
  - U mjestu Badnju ispod planine Lelije u kalinovačkoj općini grom je udario u omoriku i usmrtio 50 ovaca. Na sreću, pastiri su bili u obližnjem šumariku, pa od njih nitko nije stradao (Grom usmrtio 50 ovaca, "Večernji list" 24. 6. 1986).
- ### 3. NEKA OSNOVNA KRITIČKA RAZMATRANJA ZAŠTITE
- Ovakvi napisi odnosno štute informacije iz dnevnih novina, ali i iz nekih stručnih časopisa (bez stručnog komentara), daju svakako povoda da se postave ova dva pitanja:
- da li je udar munje doista neizbježan događaj?
  - da li je zaštita od udara munje loša ili se pak još uvijek ne znamo zaštititi?
- Na prvo pitanje zapravo znademo odgovor — osim onda kada je taj događaj tragičan ili katastrofalan, a takav nije trebao biti.
- Odgovor na drugo pitanje svakako je važniji, jer on sačinjava »filozofiju«, tj. skup naših spoznaja o sigurnoj zaštiti od munje ili njezinom praktičnom vrednovanju.
- Ovdje treba samo ukratko ukazati na osnovne elemente kritičkih razmatranja o zaštiti od udara munje.
- O teorijama o **zaštitnom prostoru** (ili zaštitnoj zoni) gromobrana još se uvijek raspravlja u znanstvenim krugovima. Ipak su izrađene stanovite smjernice, upute i propisi o zaštitnom prostoru gromobrana. To je naročito dobro razrađeno u praksi zaštite elektroenergetskih objekata, posebno dalekovoda. Neki poznati evropski znanstveni-

ci zastupaju mišljenje da je umjesto pojma zaštitni prostor svrsishodnije zaštitno djelovanje gromobrana poistovjetiti s **rizikom udara ili vjerojatnoćom udara**.

- Kritička razmatranja štetnih udara munje posljednjih nekoliko godina, naročito u području srednje Evrope, pokazuju da se u mnogim slučajevima radi o **dvostrukoj ugroženosti** od udara munje: osim direktnog udara treba voditi brigu i o **indirektnom djelovanju struje munje** kod njezina prolaza kroz objekt u tlo. Ova indirektna djelovanja munje prouzrokuju u modernim objektima pretežni dio šteta čak i kod izvedene gromobranske instalacije. Najčešće štete ove vrste nastaju u nedovoljno zaštićenim elektronskim uređajima; ovdje su potrebne posebne mjere zaštite. (U posljednje vrijeme govori se odnosno razlikuje se tzv. vanjska zaštita od tzv. unutarnje zaštite od udara munje.)
- U izvođenju pouzdane zaštite od udara munje treba voditi brigu i o ekonomskim uvjetima. Tehnički se može učiniti svašta, ali treba svladati principijelnim racionalni zahtjev: treba ići na **minimum** a ne na maksimum zaštite. Treba tražiti i izvesti optimalni način zaštite, a ne propisivati i tražiti previše. Dakako da za posebno vrijedne ili važne objekte — kao što su npr. i nuklearne elektrane — treba u zaštiti od udara munje za cijeli kompleks objekta tražiti najviši stupanj sigurnosti.
- Praktički sastoji se taj **optimalni način zaštite** od udara munje u dosljednom provođenju principa integracije svih potrebnih faza cjeline zaštite: sistematsko povezivanje (koordinacija) svih elemenata projektiranja, izvođenja i kontrole zaštitnih instalacija. U cjelinu projektiranja zaštitnih mjera treba svakako uključiti suvremeno istraživanje geološko-geoelektrične građe (sastava) tla.
- Zaštiti živih bića od udara munje ne posvećuje se zapravo dovoljna pažnja. Toj je problematici posvetila veću pažnju tek 1985. god. Internacionalna gromobranska konferencija kao asocijacija s formiranjem zasebne tematske skupine na svojim sastancima (savjetovanjima) pod naslovom Ugroženost živih bića od munje. Kao jednu od zasad najboljih akcija za zaštitu ljudi u slobodnim prostorima treba prihvatiti (ali i provoditi) stalno podučavanje — na svim mogućim mjestima i na sve moguće načine, naročito u javnim sredstvima informiranja. Ovdje treba svakako upozoriti na akciju i radove što ih je dao A. Simonetti (1985a, 1985b, 1986).
- Konačno se može postaviti i pitanje da li su bili analizirani štetni udari munje u objekte (za)štićene gromobranskom instalacijom. Zasad je poznat rezultat ispitivanja 37 »slučajeva« šteta od udara munje usprkos gromobranskoj instalaciji, što ga je prikazao A. Hösl još 1966. god. na temelju odgovarajuće ankete ABB-a u SRNj. Do te ankete došlo je zbog toga što su dnevne novine — ponekad i na temelju izvještaja elektrotehničkih vještaka o takvim »slučajevima« izvještale da se radi o tome

da su zatajili znanost, tehnika i inženjeri. A. Hösl (1966.) podijelio je 37 ispitanih »slučajeva« ovako:

1. Kidanje preslabih odvoda	9 puta	25%
2. Udar munje u antenu	7 puta	20%
3. Putujući valovi naponske mreže	6 puta	16%
4. Dimnjak ili zračni vod kao paralelni put	4 puta	11%
5. Nepotpune hvataljke	3 puta	8%
6. Premalo odvoda	2 puta	5%
7. Nedovoljno uzemljenje	2 puta	5%
8. Nepridržavanje zahtjeva razmaka instalacije	2 puta	5%
9. Drveće u blizini objekta	2 puta	5%
	37 puta	100%

(Prikazani postoci trebaju dati samo bolju preglednost razmatranih »slučajeva« šteta.)

Pregled pokazuje da u ovim »slučajevima« nisu bili poštivani postojeći propisi o zaštiti od udara munje.

#### 4. ZAKLJUČAK

Iz opisanih izvještaja o udarima munje u dnevnim javnim glasilima, ali i onih iz stručne literature (bez stručnih analiza) — bez obzira na to da li se pritom radilo o neobičnim, bizarnim ili »spektakularnim«, ali svakako tragičnim i katastrofalnim udarima munje — i iz osnovnih pravila (propisa) zaštite može se ipak doći do novih spoznaja i pouka.

- Munja kao ponekad lijepa, gotovo očaravajuća, ali stihijska prirodna pojava često pokazuje svoju čudljivost i nepredvidljivost. Naročito su ponekad čudljivi »putovi« struje munje — kada se iz nekih razloga granaju i onda kao da »lutaju« do svog smirenja u uzemljenju.
- Opasnosti i štete od udara munje mogu se sigurno izbjeći ako objekti imaju po propisima izvedenu i održanu gromobransku instalaciju. Jedinu sigurnu zaštitu objekata, dakako naročito onih viših, osamljenih i posebno istaknutih, pruža samo pravilno izvedena gromobranska instalacija. Za pouzdanu zaštitu vrlo osjetljivih elektronskih sistema i uređaja treba poduzeti posebne dodatne zaštitne mjere.
- Zaštitu od udara munje u slobodnim prostorima ne valja nikako tražiti ispod ikakvog drveta, naročito ne usamljenog ili onog u šumi, što strši zbog veće visine. Posebno su čak ugrožena pojedinačna stabla ili skupine drveća i rubovi šume s visokim stablima. Zaštita se može tražiti samo u unutrašnjosti šume s drvećem podjednake visine. Treba svakako izmijeniti ono staro narodno pravilo »Drž'se bukve, bjež'od hrasta«. Na svim mogućim mjestima i na sve moguće načine trebalo bi pojačati podučavanje o opasnosti od munje osoba koje često borave i rade u slobodnim prostorima — posebno poljoprivrednika, pastira itd.

## LITERATURA

- [1] ĐUMRUKČIĆ, A.: »Atmosferska pražnjenja, požari i posljedica«; »Opasnosti i zaštita od požara na elektroenergetskim postrojenjima i instalacijama, u elektroprivredi, industriji i kućanstvu«. 2. savjetovanje, Zbornik referata, 35 – 47, Primošten, Delit, 1987.
- [2] KRULC, Z.: »Prilog proučavanju ugroženosti od munje«, »Elektroprivreda«, 24, 9/10, 384 – 387, Beograd, 1972.
- [3] KRULC, Z.: »Geologija i geofizika u službi zaštite od munje«, »Geološki vjesnik«, 25, 207 – 217, Zagreb, 1973.
- [4] KRULC, Z. — Bilješka o predavanju i diskusiji S. Lundquista u Elektroinštitutu »Milan Vidmar«, Ljubljana, 1977.
- [5] ASFALG, A.: »Blitzschlag in ein Wohngebäude«, 17. IC-LP, Haag, Diskussionsbeitrag, 1983.
- [6] HÖSL, A.: »Interessante Blitzschäden. Schäden bei fehlendem oder mangelhaftem Blitzableiter«, »Der Elektromeister«, XIX, 10, 657 – 666.
- [7] SIMONETTI, A., LUKŠIĆ, M.: »Studie über die Blitzgefährdung von Personen in Autocamps«, 18th IC-LP, Conference Proceedings, 6. 5., 423 – 429, Munich, 1985.
- [8] SIMONETTI, A.: »Prilog proučavanju zaštite ljudi od udara munje u otvorenom prostoru«, »Seminar za projektante i izvodače gromobranske i elektrostatičke zaštite«, (Zbornik referata), XIII, 1 – 8, Poreč, 1985.
- [9] SIMONETTI, A.: »Osvrt na studiju 'Utjecaj groma na boravak ljudi u autokampu'«, »Šesto jugoslovansko savjetovanje o geoelektricitetu, statičkom elektricitetu i gromobranima 'Sarajevo '86'«, Zbornik radova, 21-1-9, Sarajevo, 1986.

## DANGEROUS AND UNPREDICTABLE LIGHTNING — SOME IMPORTANT FACTS AND SUGGESTIONS FOR PROTECTION

In the article are presented series of unusual and fatal lightning based on public news. On the base of descriptions and without physical and other analysis it is possible to obtain some important facts and observations. The article is complemented with base critical discussion on lightning protection.

## GEFÄHRLICHER UND LAUNENHAFTER BLITZ — EINIGE WICHTIGE ERKENNTNISSE UND VORSCHLÄGE ZU SCHUTZMAßNAHMEN

Hier wurde eine Reihe von tragischen Blitzschlägen, hauptsächlich aus öffentlichen Informationsmitteln geschildert. Aus solchen Beschreibungen ohne Fachanalysen der phisikalischen und anderen Umständen der Erscheinung der atmosphärischen elektrischen Entleerungen kann man trotzdem wichtige Erkenntnisse und wertvolle Lehren ziehen.

Die Arbeit enthält kritische Betrachtungen über die Schutzmaßnahmen gegen den Blitzschlag.

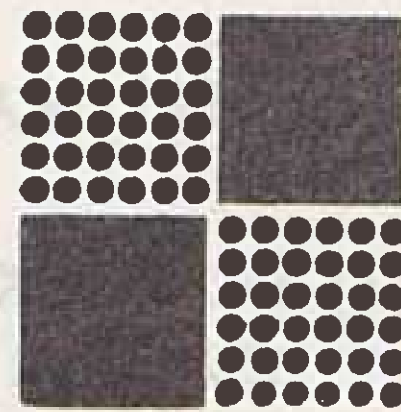
## ОПАСНАЯ И ПРИЧУДЛИВАЯ МОЛНИЯ — НЕКОТОРЫЕ ВАЖНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПОУЧЕНИЯ

Изложен ряд необычных и трагических описаний ударов молнии — гравным образом из общественных источников информации. Из подобных описаний без профессиональных анализов физических и прочих обстоятельств возникновения атмосферных электрических разрядов все-же можно приобрести важные понятия и никаких поучений. Работа дополнена и закончена о сновным критическим рассматриванием защиты от разрядов молнии.

Naslov pisca:

**Dr. Zvonimir Krulc, dipl. inž.**  
Viši znanstveni suradnik  
41000 Zagreb, Klaićeva 60,  
Jugoslavija

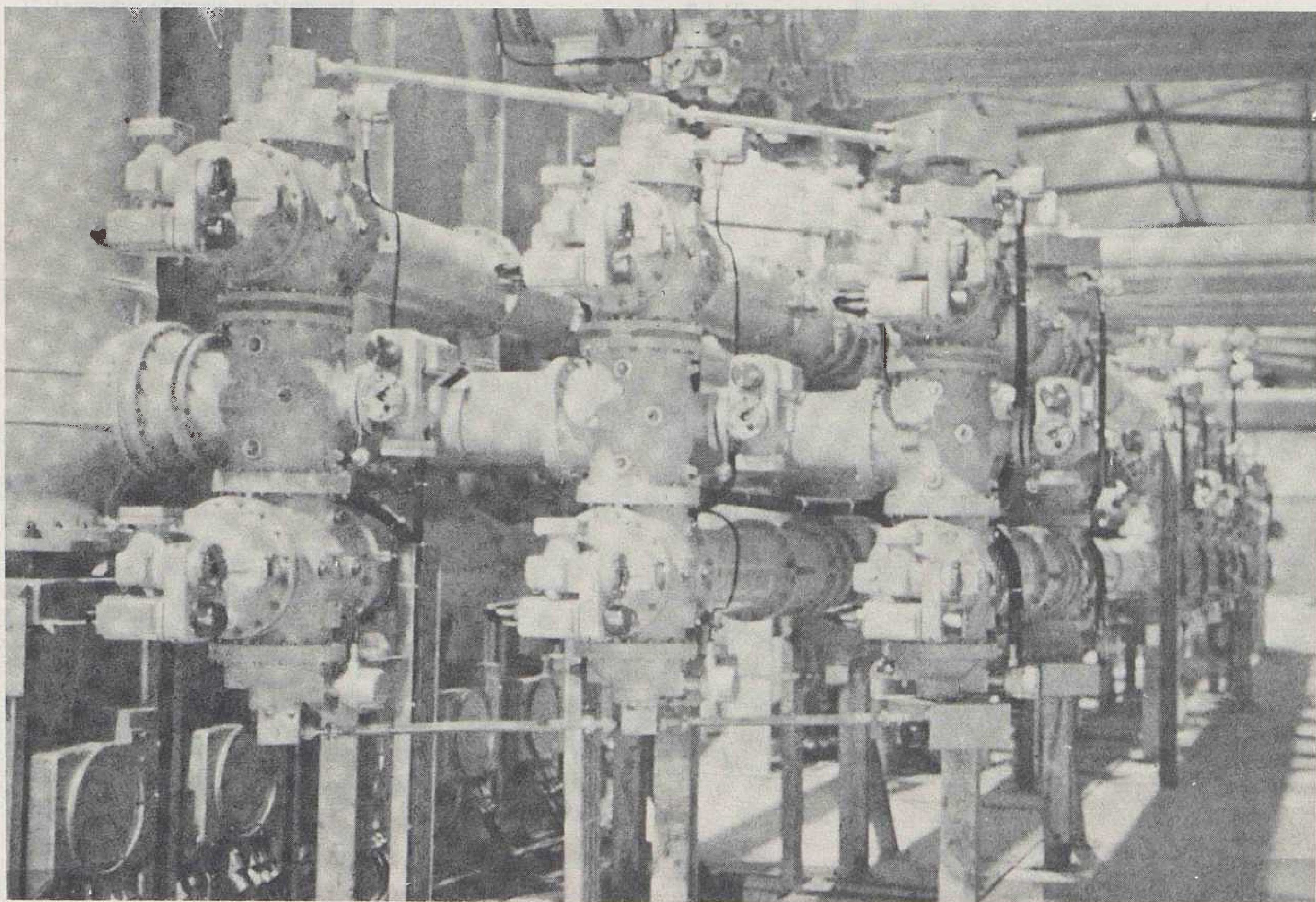
Uredništvo primilo rukopis:  
1989-04-12



**Radna organizacija za *elektromontažne radove***

ZAGREB ● Kesterčanekova 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





# IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

## ELEKTROMAGNETSKA POLJA I GRANIČNE VRIJEDNOSTI

Vjerojatno više i nema ljudi koji slušaju autoradio na srednjem ili dugom valu, pa prolazeći ispod vodiča dalekovoda ili kontaktnog voda elektrificirane pruge načas čuju samo praskanje ili šum. Bez obzira na to što na UKV-području tog efekta nema, ovaj primjer je naveden da nas podsjeti da smo svakodnevno i svugdje-u području različitih i mnogobrojnih elektromagnetskih zračenja.

Sve češće se traži odgovor kakav je utjecaj tih zračenja na ljudski organizam, pa je sve više naučnih istraživanja koja provode biolozi i fizičari zajedno da se utvrde granične vrijednosti. Tako utvrđene granične vrijednosti koje, naravno, vrijede i za proizvodnju i prijenos električne energije, opisane su u Novom izdanju normi VDE 0840, 4. dio pod naslovom »Granične vrijednosti za jakosti polja za zaštitu ljudi u frekventnom području od 0 do 30 kHz«. Norme je izdala Njemačka elektrotehnička komisija.

Fizikalna činjenica je da protokom izmjenične struje kroz vodič nastaje elektromagnetsko polje koje se tako reći neograničeno širi prostorom i prouzrokuje širok dijapazon utjecaja od bezazlenog šuma u zvučniku ili smetnje na ekranu televizijskog prijemnika pa do višednevnog sljepila dobro poznatog variocima amaterima. Nasreću, postoje tehnička sredstva koja omogućavaju da se jačina polja u svakom slučaju drži u određenim granicama.

Spektar elektromagnetskih zračenja danas je vrlo širok, prostire se od frekvencija 0 Hz pa do GHz, gdje se zračenja više ne opisuju kao elektromagnetska nego kao rendgenska (radioaktivna) i optička. Zračenja pojedinih frekvencija imaju različitu primjenu, ali je i utjecaj bitno različit. Zbog toga se polja međusobno razlikuju električni (V/m) i magnetski (A/m).

Prema već spomenutim VDE normama broj 0484 danas nema dvoumljenja da za sve kućanske aparate proizvedene prema tehničkim propisima i pod uvjetom da se ispravno koriste, vrijedi da ne proizvode štetna elektromagnetska zračenja. Isto vrijedi i za kretanje osoba u blizini visokonaponskih vodova i postrojenja.

Vršena su različita istraživanja na modelima da se utvrdi koje je zračenje sigurno, a koje opasno i kod kojih veličina su moguća oštećenja nervnih i mišićnih stanica ili nepravilnosti u radu srca. Utjecaji na genetske promjene i na nasljeđivanje nisu zapaženi. U blažim slučajevima postoji opasnost za čovjeka da upadne u stanje šoka, naročito na pojedinim izloženim radnim mjestima; naprimjer za varioce, u blizini indukcionih peći i ponegdje u medicini. Po tome su radnici u elektroprivredi u dosta povoljnom položaju, granica opasnosti bi bila pređena tek pri jakosti polja preko 20 kV/m (električki) i 4 kA/m (magnetski), i to za dulje vrijeme trajanja. Ove vrijednosti se ne postižu ni u neposrednoj blizini 380 kV postrojenja.

Još se može spomenuti da za niske frekvencije ispod 10 MHz nije utvrđena takozvana apsorpcijska doza (W/kg) kao za radioaktivna zračenja, jer to ovdje nema nikakvo značenje. Na kraju se može izreći zaključak u obliku tvrdnje da transformator ipak nije laser!

Stromthemen 3/1989, Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft, Frankfurt/M, 1989.

Cz.

## POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA ZAŠTITU OKOLINE

U termoelektranama u SR Njemačkoj troši se sve više energije u postrojenjima za odsumporavanje. Rastući broj tih postrojenja je doveo do porasta vlastite potrošnje elektranu u prosjeku za 11.4% ili za 2.5 milijarde kWh. To je, nakon prvih procjena, javilo Udruženje njemačkih elektrana (VDEW).

Osnovni razlog za tako povećanu potrošnju jest zaključivanje programa odsumporavanja u 1988. godini. Tada je broj postrojenja za odsumporavanje porastao na 148 i udvostručen je u odnosu na prethodnu godinu. Svi ostali uređaji u elektranama (pumpe, katalizatori, elektrostatski filteri, rashladna postrojenja itd.) troše relativno manje energije negoli odsumporavanje. Ukupna vlastita potrošnja bila je:

- 1987. godine 21.9 milijardi kWh ili 6.2%,
- 1988. godine 24.4 milijardi kWh ili 6.7%

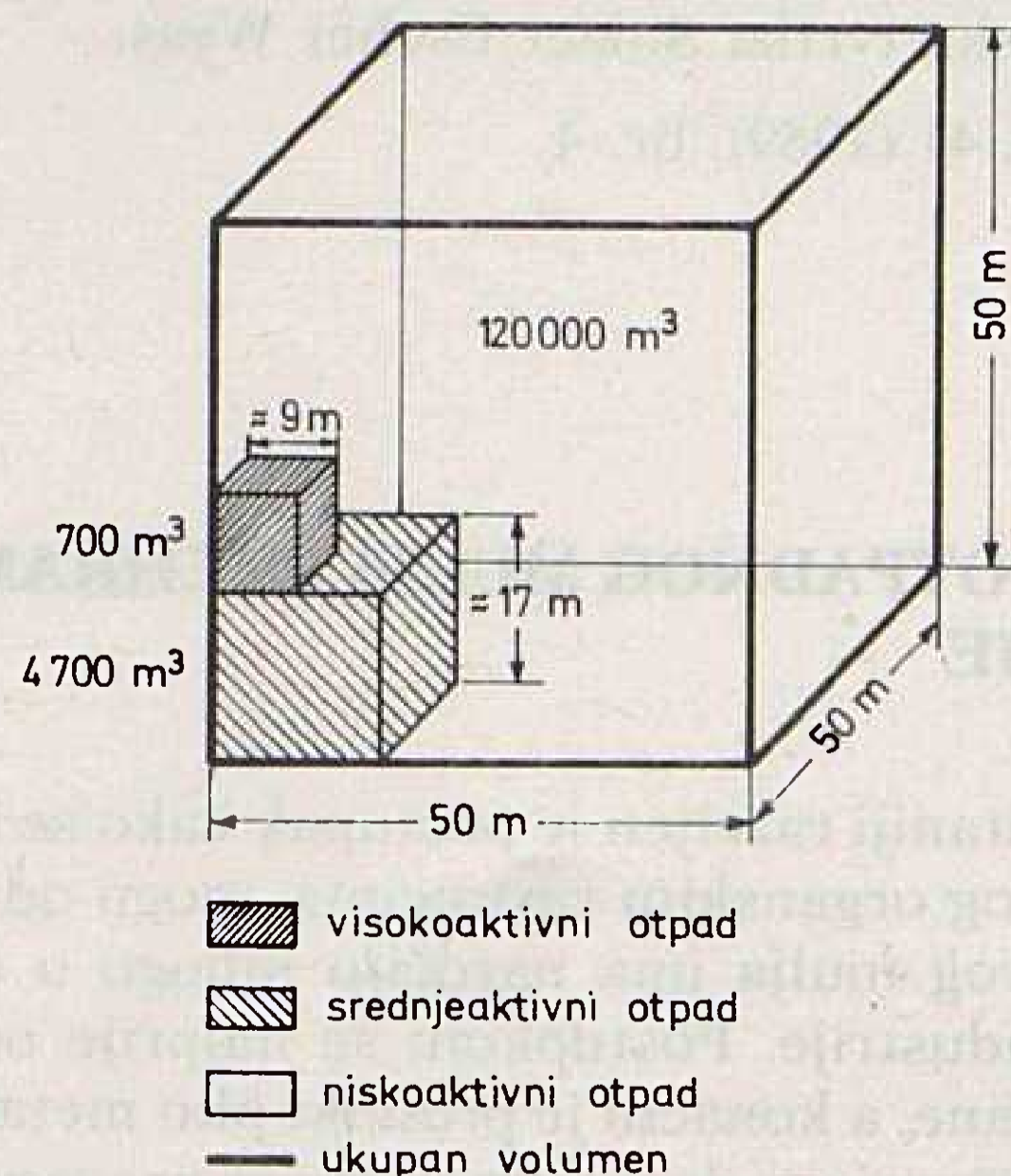
od proizvodnje koja je iznosila 355 milijardi kWh u 1987. odnosno 367 milijardi kWh u 1988. godini.

Stromthemen, Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft, Frankfurt/M. 5/1989.

Cz.

## RADIOAKTIVNI OTPAD IZ NUKLEARNIH ELEKTRANA U SR NJEMAČKOJ DO 2000. GODINE

Ukupni volumen kontaminiranog radioaktivnog otpada do 2000. godine, dakle nakon ukupno 40 godina korištenja nuklearnih elektrana u SR Njemačkoj iznosit će oko 125 000 m<sup>3</sup>. To se odnosi na konačno prerađeni otpad. Ova na prvi pogled ogromna količina odgovara volumenu kocke sa stranicama od 50 m. Navedenoj količini odgovara proizvodnja električne energije 2 500 milijardi kWh. Za proizvodnju iste količine energije bilo bi potrebno 500 milijuna t nafte, što je pet puta više od ukupne potrošnje tog goriva u SR Njemačkoj u 1987. godini. Ili još jedan podatak: da se ta energija proizvede iz fosilnih goriva, posljedica bi bila i milijarda t ugljik-monoksida.



Približni međusobni odnosi volumena niskoaktivnog, srednjeaktivnog i visokoaktivnog otpada vide se na gornjoj slici.

Stromthemen, Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft, Frankfurt/M, 5/1989.

Cz.

## VIŠE NUKLEARNIH ELEKTRANA U SSSR-U

Sovjetski Savez namjerava do godine 2000. potrostručiti svoje kapacitete nuklearnih elektrana. Od 35 000 MW na 100 000 MW. Da se to provede, treba izgraditi 4 do 6 novih nuklearnih elektrana, a postojeće elektrane proširiti. U toku je konstrukcija novih tipova reaktora na vodu pod tlakom. U SSSR-u povećat će se također sigurnosne mjere na nuklearnim elektranama i u tom se smislu predviđa suradnja sa stručnjacima iz Švedske i obje Njemačke.

*RGE*, god. 1989, br. 3

Mrk.

## NAJDULJI JEDNODIJELNI KABEL OD STAKLENIH VLAKANA

Najdulji kabel od staklenih vlakana, duljine oko 100 km, položen je u jednom komadu između filipinskih otoka Cebu i Negrosa. Ta je razdaljina svladana podmorskim kabelom bez umetnog regeneratora. Na dvije staklene niti, debljine čovječje vlasi, može se prenijeti 1 920 telefonskih razgovora. Kabel sadrži 4 takve niti. Posebne su poteškoće morale biti svladane pri izradi tako dugog kabela u jednom komadu, a tehnološki proces izrade trajao je neprekidno 5 dana u tvornici tvrtke »Siemens«.

Pri polaganju kabela u dnu mora služio je posebni kopač koji je automatski ukopavao kabel u morsko dno.

*ETZ*, god. 110 (1989), br. 6/7

Mrk.

## NAJVEĆA INSTALIRANA SNAGA HIDROELEKTRANA S PETLOVIM TURBINAMA

Hidroelektrana Guavio u Kolumbiji bit će elektrana s najvećom instaliranom snagom na svijetu opremljena Petlovim turbinama. Sad je u gradnji 5 jedinica jedinične snage 260 MW, dok će konačna snaga iznositi 2 080 MW u dvije stepenice. Bruto-pad elektrane iznosi 1140 m. Turbine dobavlja švicarska tvrtka Sulzer Escher Wyss.

*Energie*, god. 41 (1989), br. 4

Mrk.

## METAN IZ OTPADNOG MULJA PREHRAMBENE INDUSTRIJE

U Velikoj Britaniji razvijen je postupak kako se iz otpadnog mulja, bogatog organskim sastojcima, mogu odvojiti gorivi plinovi. Takvog mulja ima naročito mnogo u otpadu prehrambene industrije. Postupkom se najprije odvaja kruta tvar od tekućine, a konačni je produkt plin metan, koji služi bilo za zagrijavanje vode u tehnološkom procesu, bilo za zagrijavanje prostorija. Tvrtka »Biomechanics Ltd« isporučuje kompletni uređaj s čeličnim tenkovima i pumpama. Interesenti mogu od tvrtke za probu iznajmiti pilot-uređaje.

*Energie*, god. 41 (1989), br. 3

Mrk.

## NUKLEARNA ENERGIJA U INDIJI

Indija je zemlja koja se potpuno opredijelila za izgradnju nuklearnih elektrana. S nuklearnim programom započelo se već prije tridesetak godina. Otada je Indija razvila uz pomoć Kanade svoju vlastitu tehnologiju na bazi teške vode i prirodnog urana. Danas je u pogonu instalirana snaga od 1 700 MW, a do godine 2000. planira se ukupno 10 000 MW. Na polju nuklearne energije Indija razvija opsežna istraživanja. Blabha atomic reseach center (BARC) ima u pogonu pokusni reaktor na brze elektrane, snage 13 MW, konstatiran uz pomoć francuske tehnologije. Sa SSSR-om raspravlja o mogućnosti gradnje dvaju reaktora tipa PWR snage 1 000 MWe. To ukazuje na prijelaz na stranu tehnologiju i tehnologiju lakovodnih reaktora.

U Indiji se provode istraživanja uranove rude, no ona je u tom pogledu siromašna, pa je Indija upućena na uvoz. Osim toga i obogaćivanje urana iz BWR reaktora mora se provesti u inozemstvu. Što se pak tiče proizvodnje goriva i rukovanja radioaktivnim otpadom, zemlja je odgovarajuće opremljena.

*RGE*, god. 1989, br. 3

Mrk.

## PRIHVAĆANJE NUKLEARNE ENERGIJE U SAD

U američkoj saveznoj državi Massachusetts na referendumu se izjasnilo 69% stanovnika protiv zatvaranja dviju nuklearnih elektrana Rowe i Plymouth, a protiv napajanja iz drugih energetske izvora. U državi Nebraski su se pak stanovnici izjasnili za sudjelovanje države u regionalnom sistemu za odlaganje radioaktivnog otpada.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 88 (1989), br. 3

Mrk.

## ODNOS CIJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE U EZ

Cijene električne energije u zemljama Evropske zajednice prilično se razlikuju. Učinjena je usporedba cijene električne energije za domaćinstvo koje u prosjeku troši 3 500 kWh/god. Ako se cijena, za takve svrhe, u SR Njemačkoj uzme 100%, onda su odnosi u ostalim zemljama (1988. g.) kako slijedi:

Danska	78%
Nizozemska	81%
Velika Britanija	88%
Irska	93%
Luksemburg	96%
Francuska	101%
Grčka	108%
Belgija	114%
Španjolska	121%
Italija	124%
Portugal	166%

Smatra se da je jeftina struja u Danskoj prvenstveno posljedica proizvodnje na bazi jeftinog uvoznog ugljena, a u Nizozemskoj domaćeg zemnog plina.

*Energie*, god. 41 (1989), br. 3

Mrk.

## UNIŠTAVANJE OTROVNOG SMEĆA

Otrovno smeće, i smeće općenito, čini velike probleme naročito u industrijaliziranim zemljama. Čuvanje otrovnog smeća u vodnopropusnim, često i čuvanim deponijama vrlo je skupo. Velik dio takvog otpada ne može se spaljivati jer time nastaju otrovne tvari, kao npr. dioksin. Pri pirolitskom izgaranju, dakle pri izgaranju bez pristupa kisika na temperaturi od 300 °C do 600 °C, također se ne može izbjeći stvaranje otrova.

Jedno od daljnjih mogućnosti uništavanja smeća bila bi razbijanje molekula u atome pod visokim temperaturama — između 3000 °C i 5000 °C. U tim je prilikama u ioniziranom plazma-stanju. Tada se užareni materijal može sortirati prema kemijskim osobinama atoma i ponovno izlučiti čiste elemente npr. po metodi masene spektroskopije. Specijalno otrovno smeće može se pretvoriti u stanje plazme uz pomoć posebnih gorionika, koji su već u proizvodnji, snage 20 do 7 500 kW i temperatura 5000 °C do 20 000 °C.

Pri takvim temperaturama sav materijal prelazi u stanje plazme, no za to su potrebne znatne količine električne energije. Za tonu materijala bilo bi potrebno utrošiti 1 000 do 3 000 kWh, što je vrlo skupo. To je upravo razlog da ova metoda, razvijena još 1968, dosada nije prihvaćena.

Prošle godine je u New Yorku, koji se guši u smeću, prorađio uređaj za stvaranje plazme od smeća, ali još bez reciklaže.

Trebat će prosuditi što je ekonomičnije i za okoliš povoljnije: posebna deponija čuvana i vodnopropusna ili uređaj za stvaranje plazme od otpada.

ÖZE, god. 42 (1989), br. 1

Mrk.

## KOMBINIRANO NAPAJANJE SUNCE-VJETAR-DIZELSKI AGREGAT

Za potrebe napajanja poštanskih telekomunikacijskih uređaja i rasvjete planinske kuće na cesti preko Grocglöcknera (Austrija) instaliran je kombinirani elektroenergetski uređaj od fotovoltaičkih ćelija, vjetrenjače s asinhronim generatorom i dizelskog agregata vezanih a akumulatorskom baterijom. Solarne ćelije imaju ukupnu površinu od 16,5 m<sup>2</sup>, nazivne snage 1,23 kW, pri pogonskom naponu 22 do 27 V. Elektrana uz vjetar daje pri vjetru od 10 m/s snagu od 3 kW. Rad počinje pri brzini vjetra 4 m/s, a iskapča se pri 14 m/s. Dizelski agregat daje električnu snagu od 2,5 kW. Sabirnica, odakle se napaja potrošnja, imaju 24 V istosmjernu struju. Na sabirnice je vezana baterija od 12 članaka kapaciteta 1 200 Ah. Cijelim uređajem upravlja mikroprocesor.

ÖZE, god. 42 (1989), br. 1

Mrk.

## PRVI ENERGETSKI OTOK

Prvi energetski otok gradi Italija na Jadranu 30 do 40 km od obale, između Venecije i Riminija. Ova će termoelektrana biti izgrađena na platformi dimenzija 550 na 750 m, a

sastajat će se od 4 jedinice po 660 MW i uređaja za 600 osoba. Računa se da će cijena kWh iznositi 102 lire, što je 16 lira skuplje nego u elektranama na kopnu.

RGE, god. 1989, br. 4

Mrk.

## ARGENTINA NASTAVLJA S GRADNJOM NUKLEARNIH ELEKTRANA

Argentinska nacionalna komisija za nuklearnu energiju ovlaštena je da pripremi izgradnju druge nuklearne elektrane — Atucha-2. Polovinu kredita za gradnju dala je vlada SR Njemačke, a polovinu tvrtka »Siemens« koja je dobavljač opreme. Elektrana će imati reaktor za prirodni uran i tešku vodu. Instalirana snaga iznositi će 745 MW.

RGE, god. 1989, br. 4

Mrk.

## RJEŠENJE ZA NUKLEARNU ELEKTRANU ZWENTENDORF

Kao što je poznato, gradnja nuklearne elektrane Zwentendorf u Austriji morala se prekinuti zbog pritiska javnosti i konzervirati. Da se spase uložene investicije, odlučeno je da se pregradi u elektranu s plinom kao pogonskim gorivom. Uređaj će biti najmodernije opremljen u pogledu korištenja goriva i zaštite okoliša. Iskorištavanjem postojeće infrastrukture i nenuklearnog dijela elektrane uštedjet će se oko 2 milijarde ATS u usporedbi s gradnjom posve novog postrojenja.

ÖZE, god. 42 (1989), br. 2

Mrk.

## ZAŠTITA OD LAVINA

Za postrojenja i komunikacije elektroprivrednih poduzeća u Alpama posebnu opasnost čine snježne lavine. Austrijsko elektroprivredno poduzeće »Tauernkraftwerke« već je 1956. osnovalo službu koja se brine o zaštiti od lavina. Posljednjih godina ta se služba bavi umjetnim aktiviranjem lavina pomoću eksplozija koje se vrše nakon obilnijeg padanja snijega u Alpama. Od 1980. izvedeno je već oko 720 ovakvih aktiviranja. Danas se to radi pomoću helikoptera tako da se eksplozivna punjenja od nekih 5 kg, bacaju iz letjelice ili se pak u snijeg ubadaju motke na kojima je eksploziv na visini od 1,5 do 2 m.

Ovaj se drugi način pokazao boljim i pouzdanijim. U rukama iskusnih stručnjaka umjetno aktiviranje lavina eksplozijama vrlo je efikasan način zaštite, što potvrđuju i švicarska iskustva.

ÖZE, god. 42 (1989), br. 2

Mrk.

**VELIMIR HANGI**

(14. 04. 1924 — 06. 09. 1989)



Šestog rujna umro je Velimir Hangi dipl. inž. Njegovom smrću Elektroprivreda u kojoj je proveo gotovo cijeli radni vijek izgubila je cijenjenog druga, kolegu i stručnjaka.

Rodio se u Sisku. Tamo je proveo svoje osnovno i srednje školovanje. Odmah nakon odsluženog vojnog roka upisuje se na Elektrotehnički fakultet u Zagrebu, na kojem 1952. godine i diplomira.

Nakon studija svoje prvo zaposlenje dobiva u tvornici »Rade Končar«. Radi na poslovima konstrukcije velikih transformatora. Već 1955. godine prelazi na rad u Zajednicu elektroprivrednih poduzeća ZEOH, u Pogonski odjel. Rad u elektroprivredi vodi ga i usmjerava na područje relejne zaštite. U tom pionirskom poslu, koji je tek u razvoju nalazi sebe i zdušno mu se predaje. Radi na ispitivanjima i stavljanjima u pogon zaštitnih uređaja u novoizgrađenim postrojenjima i elektranama. Ta se primjena distantne zaštite uvodi u mrežu, a inženjer Velimir Hangi pristupa izradi plana stepenovanja za tadašnju jedinstvenu 110 kV mrežu. Kasnije radi u ZEOH-u na vrlo složenim analizama i utvrđivanju uzroka poremećaja u elektroenergetskom sistemu SRH. Zbog svojih sposobnosti bio je i

Tajnik Komisije za relejnu zaštitu i mjerenje Odbora za zajednički rad sistema.

Na studijskom razvojnom putu relejne zaštite od 1957. godine djeluje u sekciji zaštite u Studijskom Komitetu CIGRE. Za svoj požrtvovni rad na tom području na 19. zasjedanju CIGRE u svibnju ove godine na Bledu, dobio je plaketu za svoj dugogodišnji i predani rad.

Njegov rad u Komisiji za relejnu zaštitu bio je uvijek unaprijed osmišljen sa svim potrebnim elementima za kvalitetno donošenje zaključaka. Zato je kao stručnjak bio vrlo cijenjen, a kao kolega, drug i prijatelj rado viđen u svim stručnim krugovima, naročito među svojim »zaštitarima« koje je toliko volio i koji su njega voljeli.

Svijetli lik inženjera Velimira Hangija njegovi kolege, prijatelji i poslovni suradnici zadržat će u trajnoj uspomeni.

A. Šaler

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Godište 38 (1989)

Zagreb 1989

Br. 6

Zajednica elektroprivrednih  
organizacija Hrvatske

Institut za elektroprivredu, Zagreb

SIZ za znanstveni rad Hrvatske

IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

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 — EDITORIAL BOARD

Glavni urednik - Editor-in-chief: dr Zorko Cvetković, dipl. inž.  
Urednik - Editor: Zdenka Jelić, prof.

Urednici rubrika — Contributing Editors: »Energetski siste-  
mi«, Nikola Bilčar, dipl. inž. — »Hidroelektrane«, Kruno-  
slav Begović, dipl. inž. — »Termoelektrane i Toplane«, Mla-  
den Nadinić, dipl. inž. — Prijenos električne energije, Zden-  
ko Tonković, dipl. inž., Zagreb — »Razvod, distribucija i  
potrošnja električne energije«, Josip Antić i Mladen Ježić,  
dipl. inž., — »Ekonomika elektroprivrednih poduzeća, eko-  
nomskofinancijska i tarifna pitanja, te ekonomika poslova-  
nja«, dr Jure Šimović, dipl. oec. i Željko Vodopija, dipl.  
oec. — Tehnički urednik — Technical Editor: Branko Mališ  
— Lektor — Linguistic Adviser: Vladimir Strojny, prof. —  
Metrološka recenzija — Metrologic review: Mladen Zeljko,  
dipl. inž.

Redakcija završena 1989 — 10 — 20

## SADRŽAJ

<i>Filipović-Grčić B. — Žutobradić S.:</i> Slom napona u EES-u — uzroci i posljedice (Prethodno priopćenje)	467
<i>Jelavić B.:</i> Srednjoročno planiranje eksploatacije EES-a (Pregledni rad)	477
<i>Jelavić V.:</i> Odras revizije »Source Terma« na neke sigurnosne aspekte rada Nuklearne elektrane Krško (Pregledni rad)	481
<i>Potočnik V. — Jančijev T.:</i> Optimalizacija rada energetske pri proizvodnji električne i toplinske energije (program OPTINEN) (Prethodno priopćenje)	491
<i>Šander M. — Plevnik S.:</i> Turbina 70 MW u EL-TO Zagreb — primjer mogućnosti protutlačnog i kondenzacijskog pogona (Prethodno priopćenje)	495
<i>Mihalek E.:</i> Brza i spora kolebanja napona i posljedice za dimenzioniranje niskonaponske mreže i aparata (Originalni znanstveni rad)	501
<i>Mahmutćehajić R. — Hajdin S.:</i> Osvrt na primjenu maloljnih prekidača (Stručni rad)	509
<i>Mužek Z.:</i> 14. kongres Svjetske konferencije za energiju	515
<b>Savjetovanja i konferencije</b>	533
<b>Vijesti iz elektroprivrede</b>	538
<b>Iz strane stručne literature</b>	543
<b>Nove knjige</b>	549
<b>In memoriam</b>	550
<b>Oglasi</b>	551

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)

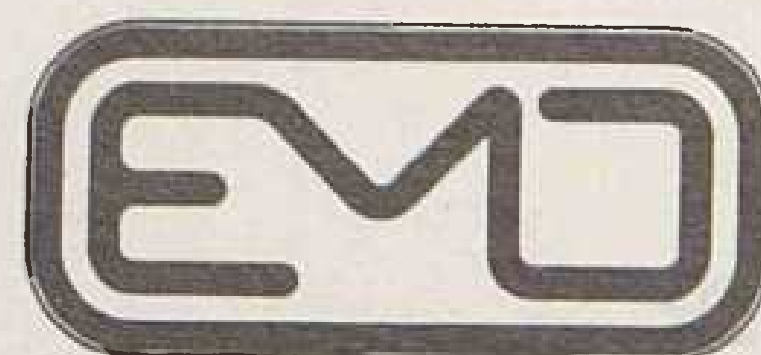
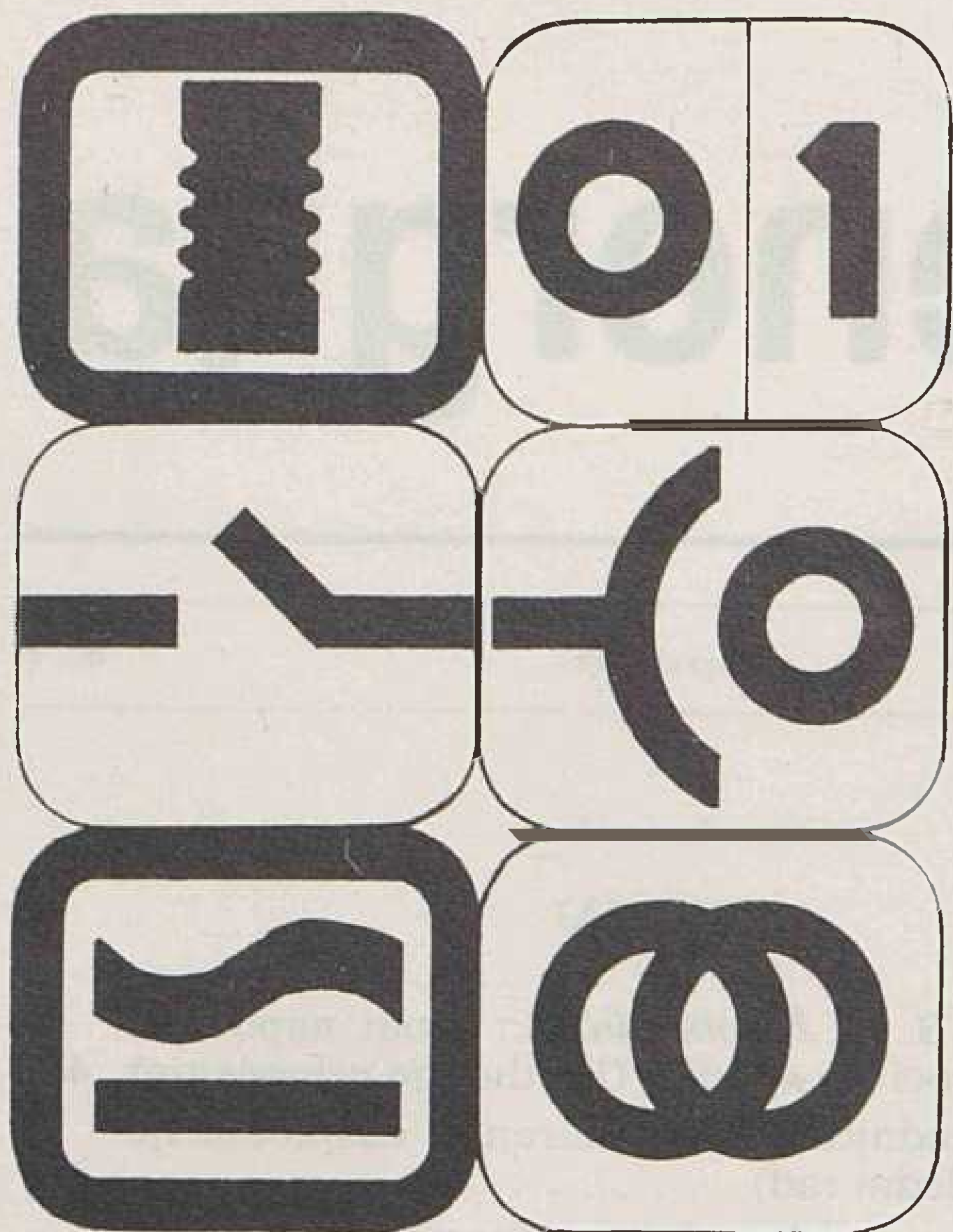
Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 60000  
dinara, a za poduzeća i ustanove 150000 dinara (za studente 30000)  
dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 10000.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišejci — Print: TIZ »Zrinski«, Čakovec



**EMO OHRID**  
Elektroindustrija i inženjering

**PROJEKTIRANJE**  
**INŽENJERING**  
**KONSALTING**



96000 OHRID, P. Fah 118  
JUGOSLAVIJA

Tel. (096) 34-944  
Telex: 53829 YU EMOOH  
Telefax: 33690

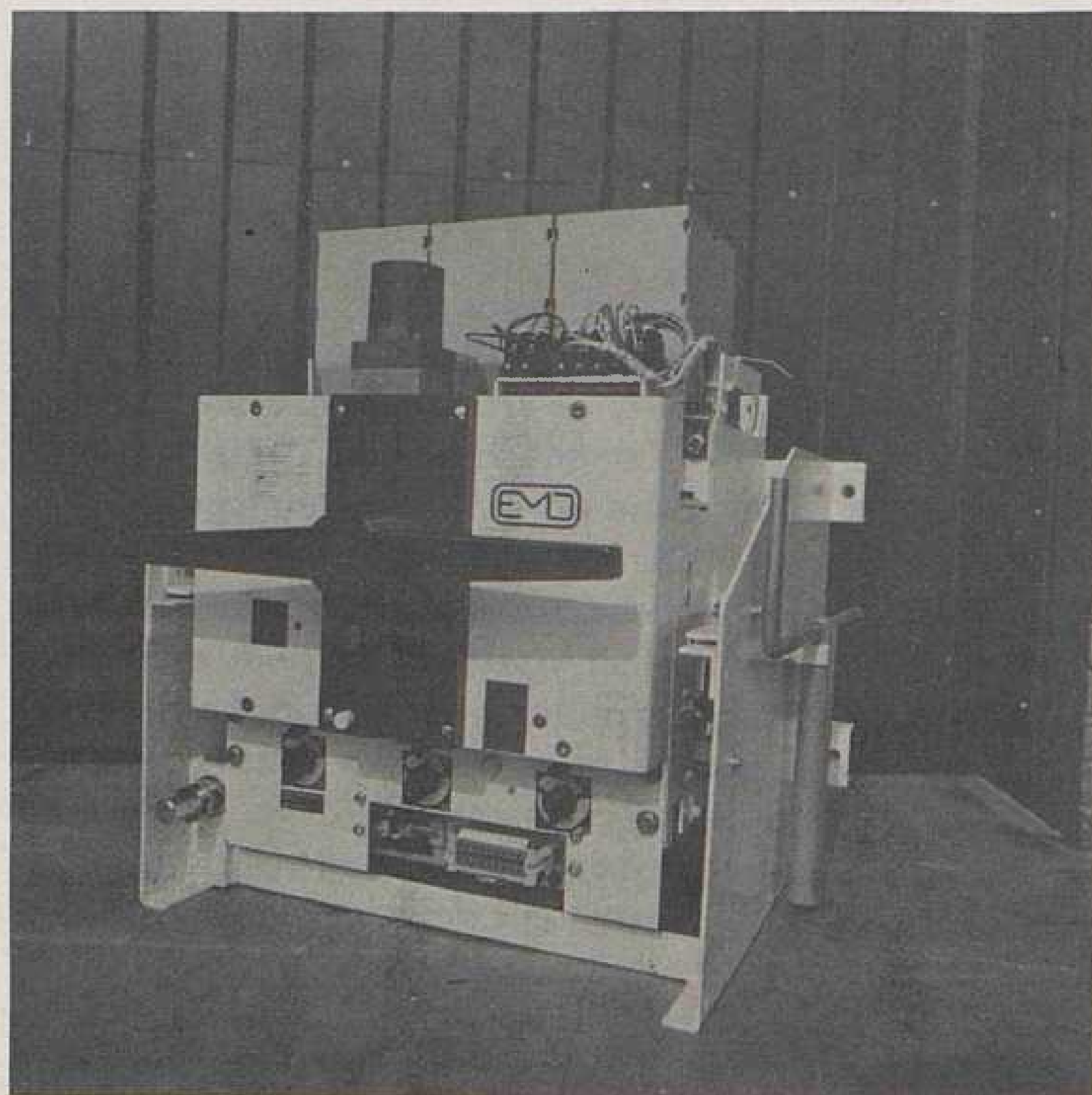
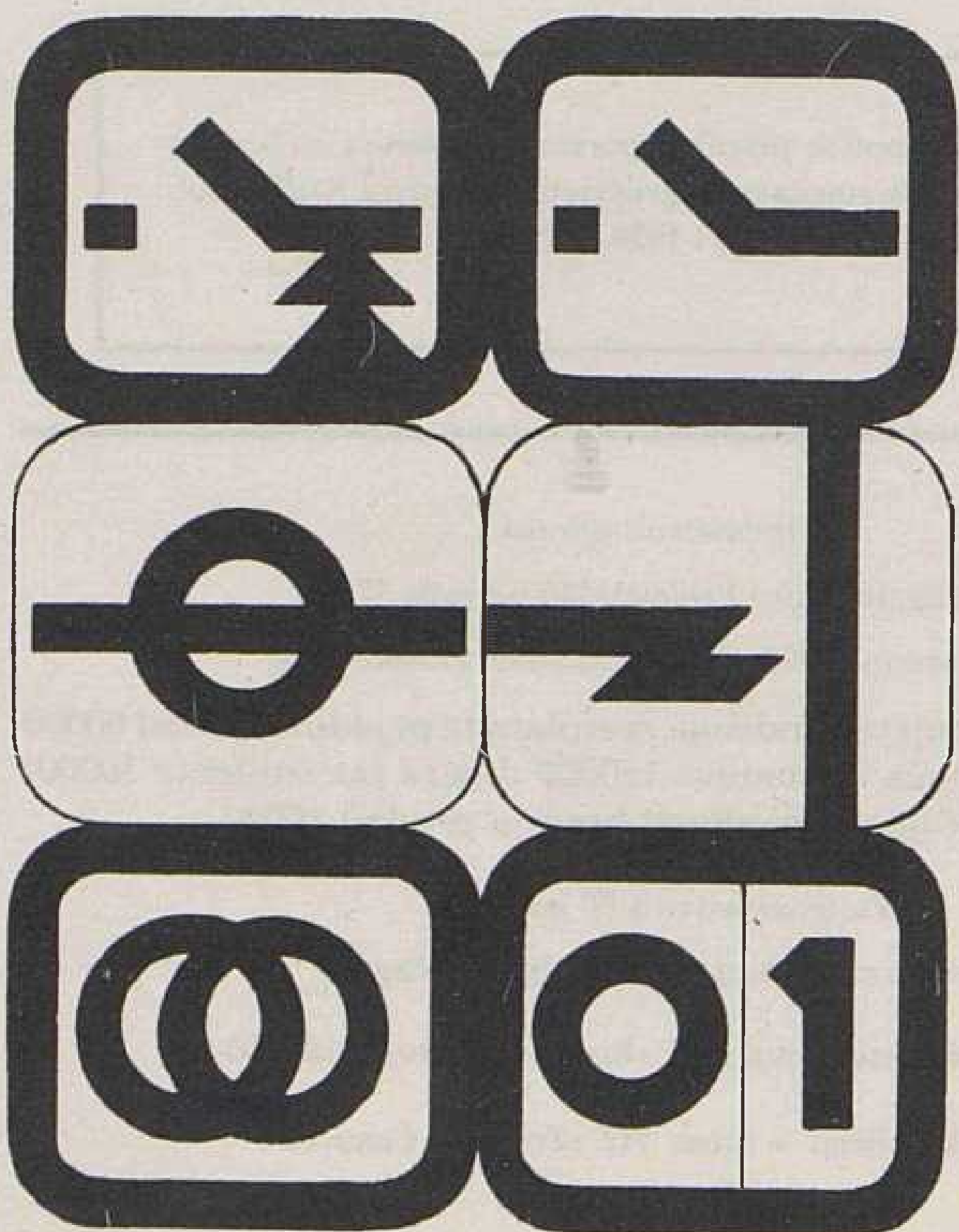
EMO OHRID projektira, proizvodi i montira elektroopremu i izvodi elektroenergetske i industrijske objekte po sistemu „ključ u ruku”.

Svoje aktivnosti EMO OHRID ostvaruje preko 15 različitih programa koji uključuju elektroopremu za niski, srednji i visoki napon, elektroaparature, kompjuterske sisteme, površinsku zaštitu materijala i inženjering. Gotovo četvrt veka prisutan je na jugoslovenskom i stranom tržištu.

Pretstavljjanje na ovaj način trebalo bi doprineti da se zajednički interesi sa dosadašnjim i budućim partnerima lakše identificiraju, u cilju uspešnije saradnje.



Suhi transformator, 630 kVA  
Termička klasa izolacije H



Niskonaponski prekidač, 2000 A

# SLOM NAPONA U EES-U — UZROCI I POSLJEDICE

Mr. Božidar Filipović-Grčić — dr. Srđan Žutobradić, Zagreb

UDK 621.316.9

PRETHODNO PRIOPĆENJE

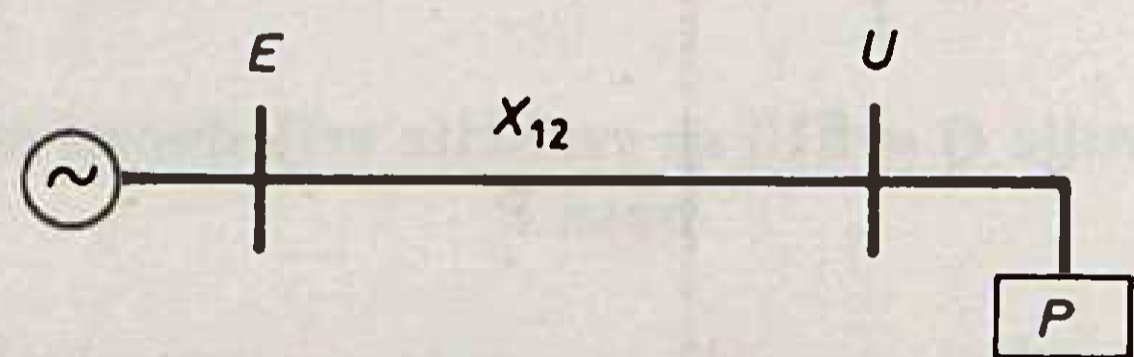
U članku se razmatra problematika naponske nestabilnosti, sloma napona u visokonaponskim mrežama. Najprije su dana osnovna teorijska objašnjenja problema a nakon toga analiziran slučaj naponskog sloma u EES-u ZEOH i rad relejne zaštite pri tom poremećaju.

**Ključne riječi:** slom napona, elektroenergetski sistem, relejna zaštita.

## 1. TEORIJSKE OSNOVE

### 1.1. Prilike u jednostavnom EES-u

Da bismo lakše objasnili fenomen naponskog sloma, pretpostavit ćemo ekvivalentni EES prema sl. 1.



Slika 1. Ekvivalentna shema EES-a

Veličina aktivne snage koja se prenosi preko spojnog voda definirana je poznatim izrazom:

$$P = \frac{E \cdot U}{X_{12}} \sin \delta, \quad (1)$$

gdje su:

- $X_{12}$  — reaktancija voda ( $R_{12} = 0$ );
- $E, U$  — naponi na početku i kraju voda
- $\delta$  — kut između napona  $E$  i  $U$ .

Pri prijenosu snage EES je stabilan na dijelu krivulje za koju vrijedi:

$$\frac{dP}{d\delta} > 0, \quad (2)$$

što se ponekad naziva glavnim kriterijem stabilnosti. Maksimalna snaga prenosa aktivne snage dobiva se za  $\delta = 90^\circ$  i iznosi:

$$P_{\max} = \frac{E \cdot U}{X_{12}}. \quad (3)$$

No, prijenos s takvim kutom  $\delta$ , koji inače ima samo teorijski smisao zbog razloga očuvanja stabilnosti, postavlja velike zahtjeve na reaktivne snage na krajevima voda. Iz vektorskog dijagrama sa sl. 2. lako dobivamo izraze za reaktivne snage na početku i kraju voda:

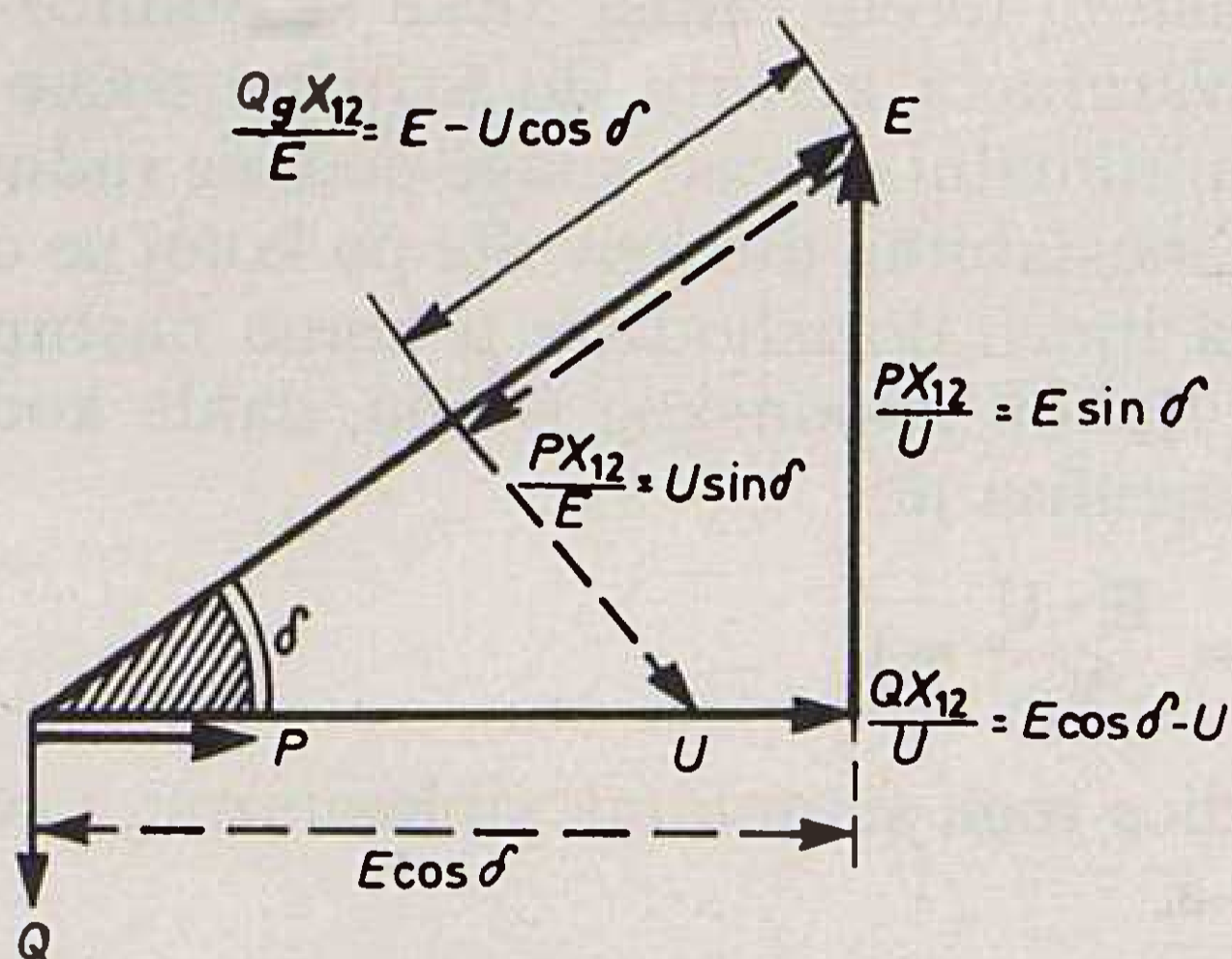
$$Q_g = \frac{E^2}{X_{12}} - \frac{E \cdot U}{X_{12}} \cos \delta \quad (4)$$

$$Q = \left( \frac{U^2}{X_{12}} - \frac{E \cdot U}{X_{12}} \cos \delta \right). \quad (5)$$

Pretpostavimo li, kao kod radne snage, kut prijenosa  $\delta = 90^\circ$  dobivamo:

$$Q_g = \frac{E^2}{X_{12}}; \quad Q = -\frac{U^2}{X_{12}}, \quad (6)$$

što znači da su reaktivne snage na krajevima voda istog reda veličine kao i aktivna snaga koja se prenosi. U realnim sistemima generatori na krajevima prijenosnog voda redovito ne mogu trajno osigurati takve iznose reaktivnih snaga, što dovodi do problema održavanja napona u EES-u, a u ekstremnim slučajevima i do kolapsa napona kod kutova prijenosa znatno manjih od  $90^\circ$ .



Slika 2. Vektorski dijagram ekvivalentnog EES-a sa sl. 1.

Naponski slom može se analizirati pomoću jednadžbe napona na kraju voda koja se može izvesti iz vektorskog dijagrama na sl. 2. Očigledno je:

$$E^2 = U^2 + 2 QX_{12} + \left( \frac{QX_{12}}{U} \right)^2 + \left( \frac{PX_{12}}{U} \right)^2 \quad (7)$$

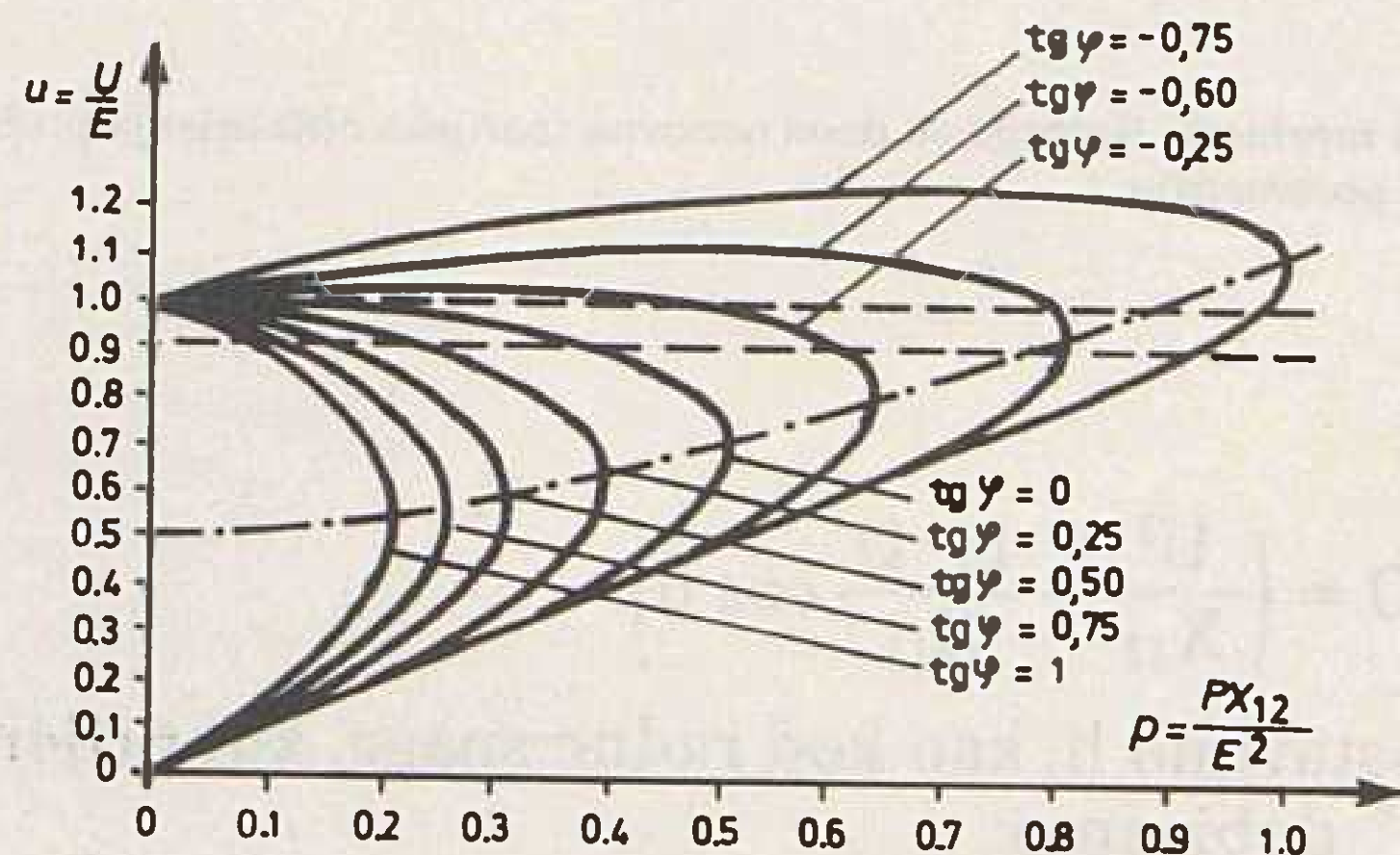
ili, nakon sređivanja,

$$U^4 - 2 \left( E^2 / 2 - QX_{12} \right) U^2 + X_{12}^2 (P^2 + Q^2) = 0. \quad (8)$$

Rješenje navedene (bikvadratne) jednadžbe dobiva se na poznati način:

$$U^2 = \frac{E^2}{2} - QX_{12} \pm \sqrt{\left(\frac{E^2}{2} - QX_{12}\right)^2 - X_{12}^2(P^2 + Q^2)}. \quad (9)$$

Pretpostavimo li da je napon  $E$  na početku voda konstantan (kruta mreža), može se iz (9) odrediti napon  $U$  na kraju voda kao funkcija snage prijenosa  $P$  za odabrani faktor opterećenja ( $\cos \varphi$  ili  $\operatorname{tg} \varphi$ ) kao parametar. Rezultati proračuna pokazani su na sl. 3, gdje je na apscisi uzeta veličina  $X_{12} P/E^2$  — da bi analiza bila neovisna o vrijednosti  $X_{12}$  — a ordinati je dana relativna vrijednost napona na kraju voda  $U/E$ .



Slika 3. Napon na kraju voda kao funkcija snage prijenosa  $P$  za različite vrijednosti faktora tereta  $\operatorname{tg} \varphi$

Iz slike se vidi da se za svaku snagu prijenosa  $P$  postoje veličine napona, da postoje određeni limit snage  $P_{\text{krit}}$  koji je moguće prenositi i da ta snaga može biti znatno manja od vrijednosti  $P_{\text{max}}$  dobivene iz (3) ili od vrijednosti izračunate prema dozvoljenom termičkom opterećenju voda uz svu ogradu koja postoji pri tako nepreciznom definiranju snage prijenosa. U normalnom stanju EES-a radna točka nalazi se na gornjem, stabilnom dijelu krivulje a napon je blizu 1 p.u. Porastom tereta radna točka se pomiče udesno po odgovarajućoj krivulji do kritične točke  $P_{\text{krit}}$ , a daljnji, minimalni, porast snage pomiče radnu točku na donji, nestabilni, dio krivulje po kojoj se ona kreće prema lijevo do ishodišta u kome nastupa slom napona. Nakon naponskog sloma, dakle kod  $U = 0$ , snaga prijenosa je:

$$P = \frac{E \cdot U}{X_{12}} = 0, \quad (10)$$

a posljedice toga su gubitak sinhronizma i razdvajanje EES-a.

Vrlo bitno je uočiti da naponski slom nastupa kod kuta prijenosa  $\delta_{\text{krit}}$  koji je znatno manji od  $\delta_{\text{max}} = 90^\circ$ . Naime, iz (1) proizlazi:

$$\delta = \arcsin \left( \frac{PX_{12}}{E \cdot U} \right), \quad (11)$$

odnosno, zbog pretpostavke da je

$$Z_{12} = X_{12} \angle \pi/2 \quad (12)$$

nakon jednostavnih transformacija dobivamo

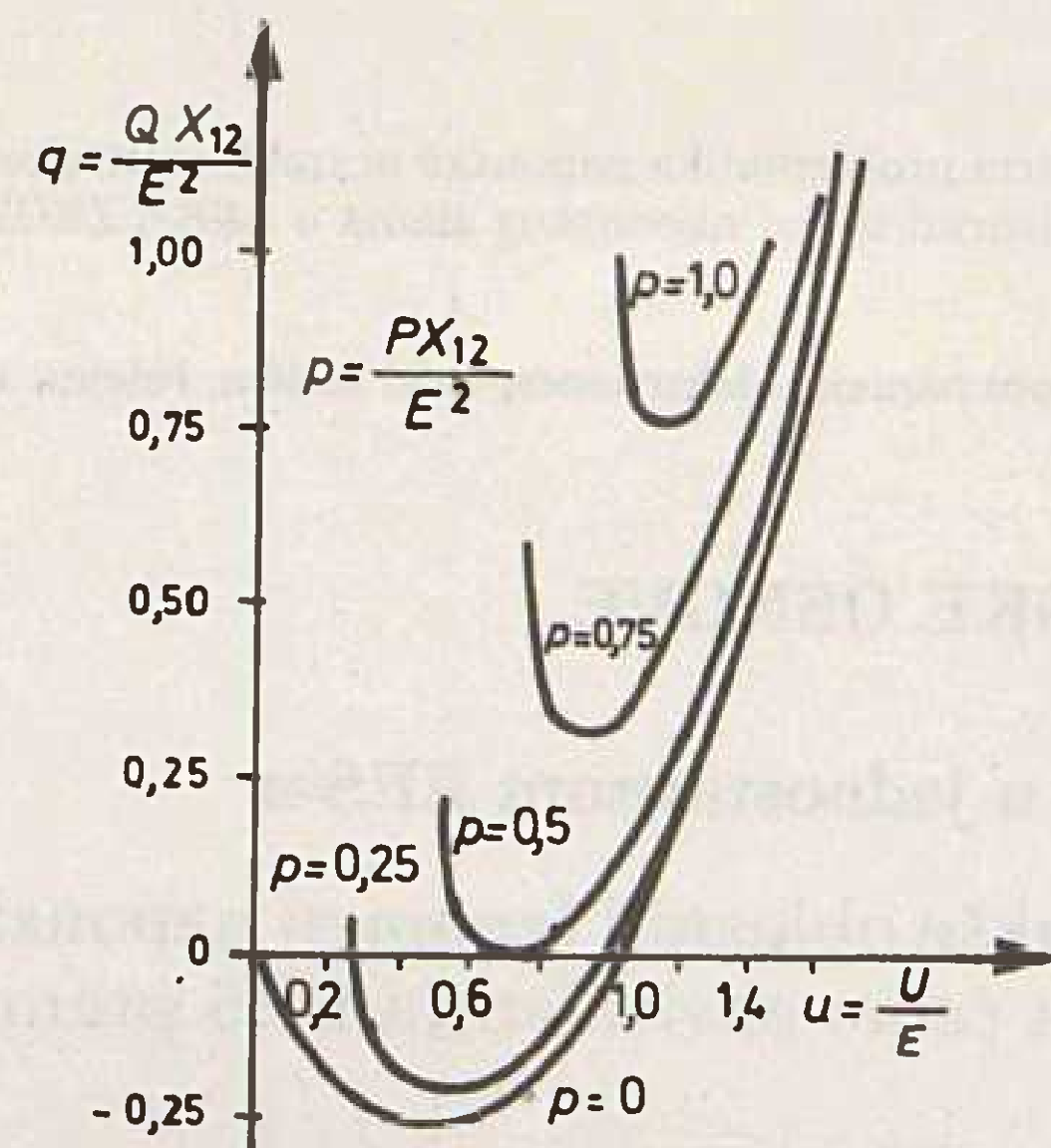
$$\delta_{\text{krit}} = \frac{\pi/2 - \varphi}{2}, \quad (13)$$

gdje je  $\varphi$  kut tereta koji se računa iz izraza

$$\varphi = \arcsin \left( \frac{Q}{P} \right). \quad (14)$$

Kritični kut prijenosa je, dakle, funkcija samo kuta  $\varphi$  a iz (13) se vidi da i za relativno povoljne kutove tereta, npr.  $\varphi = 25^\circ$  ( $\cos \varphi = 0,9$ ), dobivamo  $\delta_{\text{krit}} = 37^\circ$ , što jasno upućuje na sva ograničenja prijenosa čak i uz pretpostavku konstantnog napona na početku voda, što u realnim mrežama nikada nije slučaj.

Umjesto krivulja  $U = f(P)$  za analizu je ponekad povoljnije koristiti krivulje  $Q = f(U)$ , čije se jednadžbe mogu dobiti iz vektorskog diagrama na sl. 2 i izraza (7)–(9), a prikazane su na sl. 4.



Slika 4. Krivulje  $Q = f(U)$  za različite vrijednosti snage prijenosa  $P$

Iz sl. 4. također se vidi mogućnost nastanka sloma napona u EES-u. Naime, za područje lijevo od minimuma očigledno vrijedi:

$$\frac{dQ}{dU} < 0, \quad (15)$$

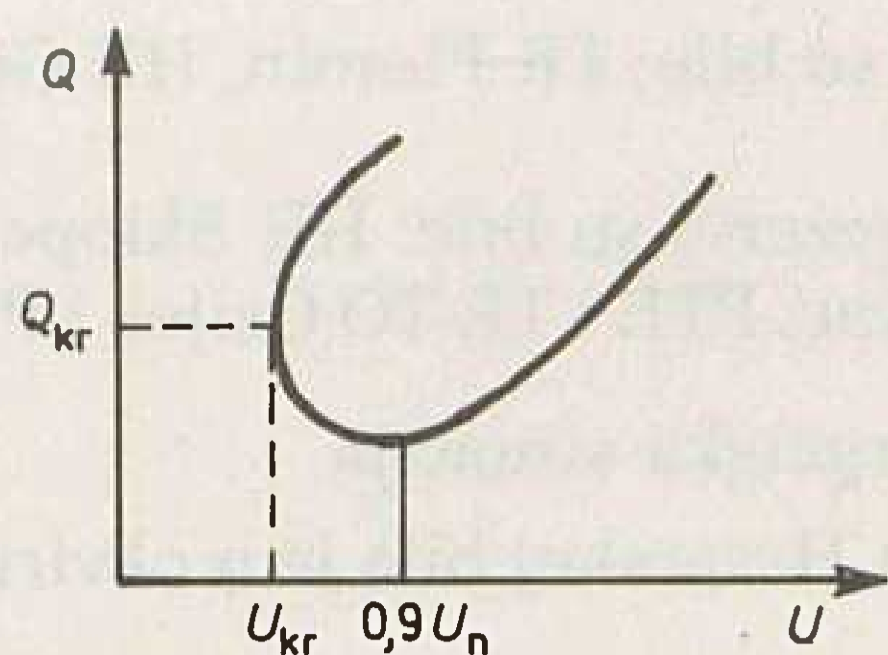
što fizikalno znači da sniženje napona povećava reaktivnu snagu, a to izaziva daljnji pad napona itd. Imamo, dakle, jedan proces progresivnog sniženja napona — koji se, jednom započet, odvija sam po sebi. Prema tome, ako je radna točka lijevo od minimuma, EES se nalazi u nestabilnom stanju, što se može izraziti sljedećom jednadžbom:

$$\frac{dQ}{dU} \rightarrow -\infty. \quad (16)$$

Za razliku od (2) gornji izraz naziva se ponekad sekundarnim kriterijem stabilnosti EES-a.

Dakako, da bi se takve situacije u EES-u mogle zaista dogoditi, nužno je da postoje induktivni potrošači, posebno oni kod kojih sniženje napona izaziva povećanje reaktivne snage. Tipičan primjer takvih potrošača su asinhroni motori koji obično predstavljaju najveći dio opterećenja u mreži. Kvalitativna krivulja  $Q = f(U)$  za asinhronne motore prikazana je na sl. 5, iz koje se lako može vidjeti sličnost s krivuljama na sl. 4. U objašnjenje karakteristike  $Q = f(U)$  za asinhronne motore ovdje se nećemo detaljnije upuštati jer smatramo da je ona dovoljno poznata. Za naša razmatranja je dovoljno imati na umu da karakteristike tereta u pojedinim čvorovima mogu na različite načine ovisiti o naponu čvora.



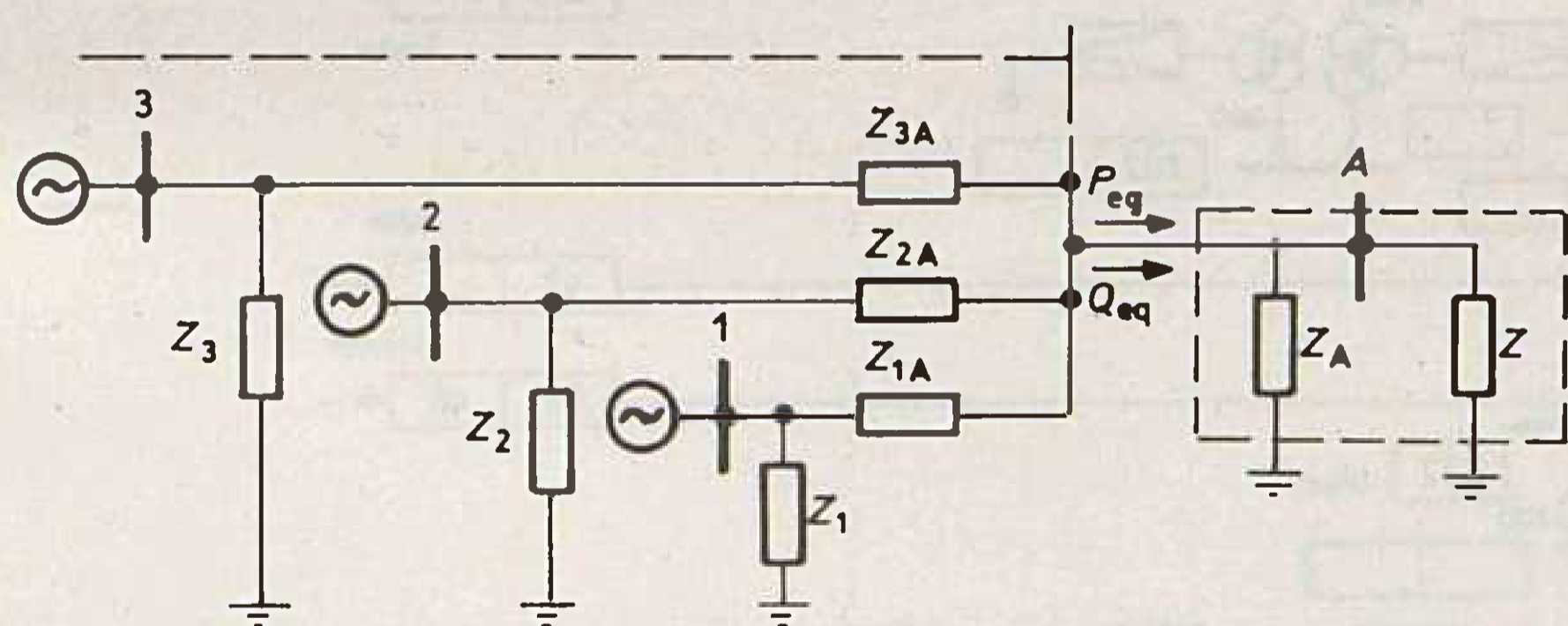
Slika 5. Ovisnost  $Q = f(U)$  za asinhronu motore

Poseban utjecaj na prilike u EES-u ima i ponašanje regulacijskih transformatora jer se regulacija, gledano sa strane sistema, manifestira kao sniženje impedancije odnosno porast opterećenja koje djeluje na daljnje smanjene napona. Prema tome, automatska regulacija transformatora, koja nastoji održati napon na sekundaru, zapravo pogoršava naponske prilike u sistemu i taj proces, traje sve dok regulacijske sklopke transformatora ne dođu u granični položaj. Utjecaj regulacije detaljnije je razmotren u 3.3.

## 1.2. Prilike u složenom EES-u

Stvarni EES je, dakako znatno složeniji od ekvivalentne sheme na sl. 1. i sadrži veći broj trafostanica i elektrana međusobno povezanih prijenosnim vodovima, pa se za njega postavlja problem nalaženja kriterija koji bi definirali kritične snage prijenosa na svim vodovima, i to za različita uklopna stanja sistema.

Koristeći se Wardovom redukcijom, stvarni EES može se svesti na ekvivalentnu shemu na sl. 6, koja sadrži sve izvore i čvor A s ekvivalentnim teretom za koji želimo provesti analizu.



Slika 6. Reducirana mreža s izvorima konstantnog napona i teretom u čvoru A

Raspodjela opterećenja između pojedinih čvorova dobiva se standardnim proračunom tokova snage. Slično kao kod sheme na sl. 1, i ovdje postoji granična snaga prijenosa  $P_{eqmax}$  koju dobivamo kada je impedancija tereta jednaka kratkopojnoj impedanciji dijela EES-a gledano iz čvora A. Prema tome, moguće je odrediti i graničnu snagu i kritični kut prijenosa između čvora s teretom i svih generatora u složenom EES na sličan način kao kod ekvivalentnog EES-a sa sl. 1.

Dakako, sam proračun je znatno složeniji, pa je i izraz za  $\delta_{krit}$  u ovom slučaju kompliciraniji od (13). Zbog toga, kao i zbog činjenice da su fizikalni odnosi potpuno isti kao u 1.1, izraz za kritične kutove nećemo ovdje izvoditi, već upućujemo na [4]. Označimo li

s  $g_i$  generatorske sabirnice i-tog čvora i odgovarajući kut između generatorskih sabirnica i čvora A sa  $\delta_{diA}$ , tada za sve čvorove mora biti ispunjen uvjet:

$$\delta_{diA} > k \cdot \delta_{giAkrit}, \quad (17)$$

gdje je

$$0 < k < 1. \quad (18)$$

## 2. UZROCI I KARAKTERISTIKE SLOMA NAPONA

Iz prethodnih razmatranja proizlazi da u EES-u inherentno postoje uvjeti naponske nestabilnosti, a rizik naponskog sloma povećava se posebno u slučajevima:

- ispada generatorskih jedinica
- sabirničkih kvarova ili kvarova na interkonektivnim vodovima koji rezultiraju slabljenjem EES-a
- manjka reaktivnih snaga
- neadekvatne regulacije napona
- prijenosa velikih snaga

i, razumljivo, u svim međusobnim kombinacijama ovih osnovnih uzroka.

Za naponski slom karakteristično je sljedeće:

- Frekvencija EES-a neposredno prije pojave naponskog sloma je normalna, iz čega proizlazi osobito važna konstatacija da podfrekventna zaštita, koja u našem EES-u predstavlja jedinu sistemsku zaštitu, nemože spasiti sistem od kolapsa.
- Distantni releji koji nemaju protunjihajnu blokadu proraduju zbog pada pogonske impedancije u proradnu karakteristiku, što rezultira većim brojem ispada i dezintegracijom EES-a.
- Slom napona se često pojavljuje s određenim vremenskim kašnjenjem u odnosu na neposredni uzrok poremećaja. To vremensko kašnjenje definirano je vremenom promjene položaja regulacijskih sklopki transformatora i radom regulatora napona generatora.

## 3. ANALIZA NAPONSKOG SLOMA U 400 kV MREŽI ZEOH-a I RAD RELEJNE ZAŠTITE

### 3.1. Uvodne napomene

Dana 6. 8. 1988. došlo je do poremećaja u EES-u ZEOH-a koji je uzrokovao razdvajanje i djelomični raspad sistema. Ukupno trajanje poremećaja iznosilo je 83 min, a neisporučena električna energija procijenjena je na 800 MWh. Budući da se taj događaj razlikuje od »običnih« raspada EES-a uzrokovanih kvarovima i predstavlja — prema našem mišljenju — klasični primjer naponskog sloma, značajno je da se izvrši korektna analiza i utvrde stvarni uzroci. Bitno je uočiti upravo presudnu važnost utvrđivanja uzroka poremećaja: ako je, naime, uzrok kvar i nekorektan rad zaštite, rješenje je u korekciji postojeće koncepcije šticećenja, promjeni podešenja i sl.; u protivnom traženje rješenja znatno je kompleksnije i zadire u domenu planiranja izgradnje EES-a, operativnog planiranja i vođenja EES-a, regulacije napona itd.

Ovo ističemo jer su u [5] odnosno [6] i [7] dane različite interpretacije spomenutog raspada.

### 3.2. Topologija mreže i energetska situacija

Topologija mreže i energetska situacija 6. 8. 1988. u 10<sup>h</sup> preuzeti su uglavnom iz [5].

— Vodovi: U pogonu su bili svi vodovi osim:

- DV 220 kV Konjsko – Brinje (remont)
- DV 220 kV Senj – Melina (kvar)
- DV 110 kV Koprivnica – Čakovec (kvar).

Mreža na području sekcionirana je na čvorištu TS Tumbri i TS Mraclin. Uklopno stanje prikazano je na sl. 7.

— Elektrane:

- TE-TO Zagreb TA2 (TA1 i TA3 u hladnoj rezervi)
- EL-TO Zagreb TA5 u remontu)
- TE Sisak, TA1 (90 MW), TA2 (90 MW). Ostali kotlovi u kvaru.
- NE Krško
- TE Rijeka
- HE Varaždin A1 i A2
- HE Čakovec A1 i A2
- HE Vinodol A1, A2 i A3
- HE Zakućac A2 (A1 u remontu, A3 i A4 isključeni zbog remonta tunela)
- HE Senj A1 i A3 (A2 u hladnoj rezervi)
- HE Orlovac A1 i A2 (A3 u hladnoj rezervi).

U remontu su bile: TE Plomin, HE Gojak i HE Rijeka.

U hladnoj rezervi su bile: HE Sklope, HE Peruća, RHE Obrovac, PTE i TE-TO Osijek i PTE Jertovec.

— Elektroenergetska situacija

Potrošnja u Hrvatskoj bila je u okviru planirane a kretala se:

9 – 10 h	1 743 MWh
10 – 11 h	1 871 MWh
11 – 12 h	1 431 MWh (smanjenje otprilike 500 MWh zbog poremećaja)

Ukupna proizvodnja bila je:

9 – 10 h	1 028 MWh
10 – 11 h	994 MWh
11 – 12 h	743 MWh (smanjenje zbog ispada elektrana).

Razlika između ukupne potrošnje i proizvodnje podmirivana je nabavom iz Srbije, BiH i Slovenije.

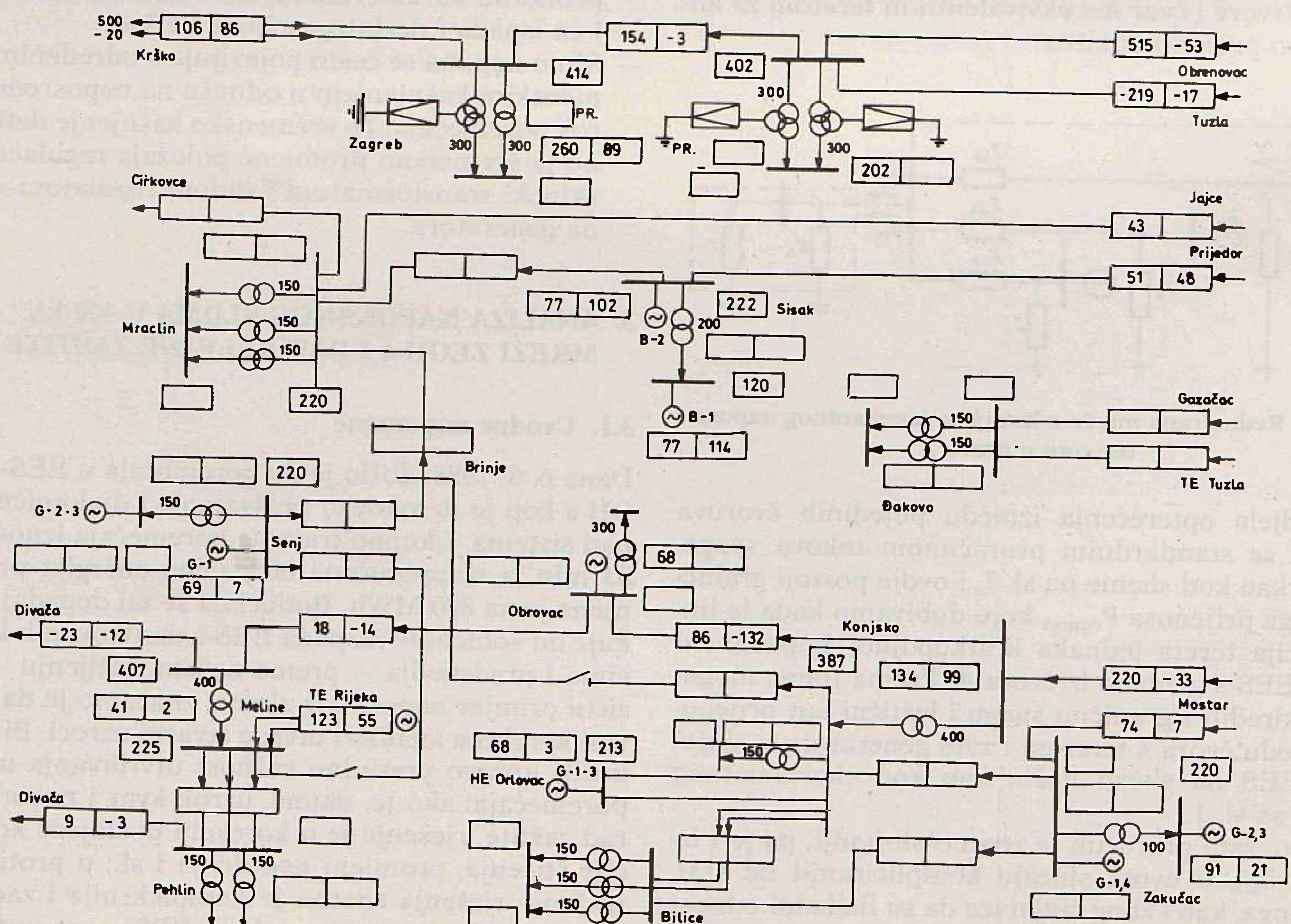
Ukupna razmjena Jugoslavije s UCPT-om bila je nula, a po vodovima je to iznosilo:

Vodovi 400 kV

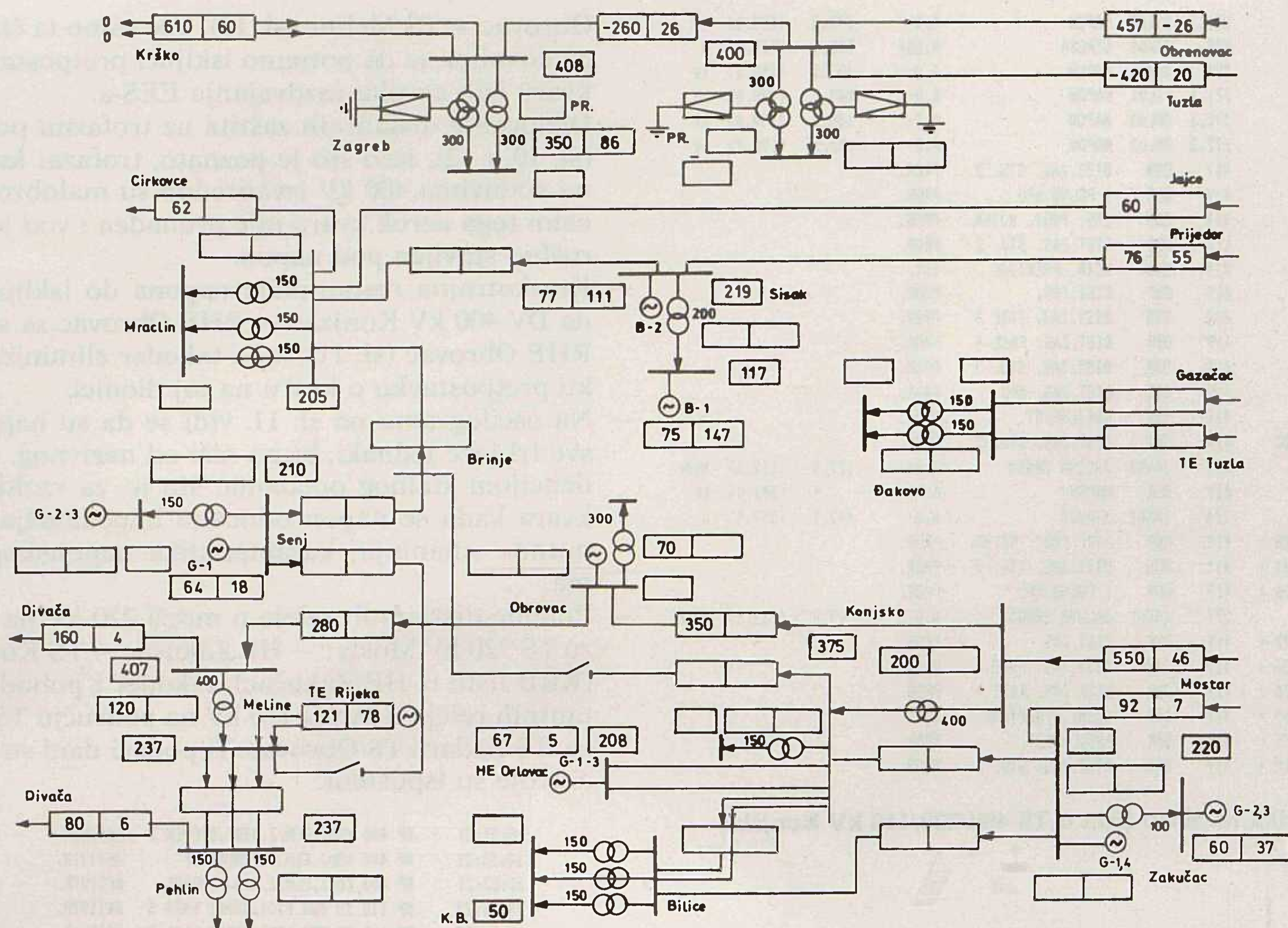
Divača – Redipuglia	9 – 10 h	117 MWh
	10 – 11 h	42 MWh
	11 – 12 h	167 MWh

Vodovi 220 kV

Divača – Padriciano	9 – 10 h	91 MWh
	10 – 11 h	107 MWh
	11 – 12 h	189 MWh



Slika 7. Snimljene vrijednosti tokova snaga i naponskih stanja na području SR Hrvatske dana 6. VII. 1988. u 10 sati



Slika 8. Snimljene vrijednosti tokova snaga i naponskih stanja na području SR Hrvatske dana 6. VII. 1988. u 10,30 sati

Podlog — Oberrsielach	9 — 10 h	9 MWh
	10 — 11 h	94 MWh
	11 — 12 h	218 MWh

Tokovi snaga i naponske prilike prikazani su na sl. 7. Zbog radova zatraženo je isklapanje DV 400 kV Krško — Maribor koje je, na osnovi provjerene energetske situacije (sl. 7), odobreno, pa je DV u 10:19 isključen. Nakon isključenja DV Krško — Maribor tokovi snaga se raspodjeljuju dijelom na južnu trasu prstena 400 kV a dijelom na mrežu 220 kV u BiH. Registrirane snage i naponi, prikazani na sl. 8, pokazuju da nije bilo indikacija o nenormalnim opterećenjima ili naponima koji bi upozoravali dežurno osoblje na opasnu situaciju.

### 3.3. Kronologija raspada i analiza rada relejne zaštite

Ograničit ćemo se na događaje na južnom potezu 400 kV jer su oni bitni za naša razmatranja i pritom ćemo koristiti raspoložive registrirane podatke dane u [7].

Za sam početak sloma napona nemamo čvrstih podataka, pa smo se odlučili da to bude najprije registrirano isključenje pošto je južna dionica preuzela opterećenje prema sl. 8. Na sl. 9. pokazan je dio KRD liste iz TS Bilice, gdje se vidi da je 10 min prije sloma napona (u 10:45) vršena manipulacija s kondenzatorskim baterijama.

U 10:49:39 zbog kvara ispada DV 220 kV Prijedor — Međurić, no, prema raspoloživoj registraciji, ni ta-

10:42:56.699	TS BIL	10 KB3	PREK	ISKLJUČEN
10:43:02.299	TS BIL	10 KB4	PREK	ISKLJUČEN
10:43:18.746	TS BIL	10 KB4	PREK	UKLJUČEN
10:43:22.910	TS BIL	10 KB4	PREK	ISKLJUČEN
10:43:22.924	TS BIL	10 KB4	PREK	KVAR SIGN
10:45:53.231	TS BIL	220 AT4	MJERNI NAPON 10	NESTANAK
10:46:04.583	TS BIL	220 AT4	PREK	ISKLJUČEN
10:46:07.283	TS BIL	110 AT4	PREK	ISKLJUČEN
10:47:39.506	TS BIL	220 AT4	PREK	MEDJUPOL
10:47:39.506	TS BIL		AUT 220V= 220	ISPAD

Slika 9. KRD lista u TS 220/110 kV Bilice

da nije bilo nikakvih upozorenja u pogledu nedozvoljenih tereta i napona.

U 10:53:06 došlo je do prorade distantne zaštite u TS 400/220 kV Konjsko na DV 400 kV Obrovac (releji L8a BBC), a skraćena KRD lista s relevantnim signalima prikazana je na sl. 10.

Oscilogram napona i struja u TS Konjsko na DV 400 kV Obrovac prikazani su na sl. 11.

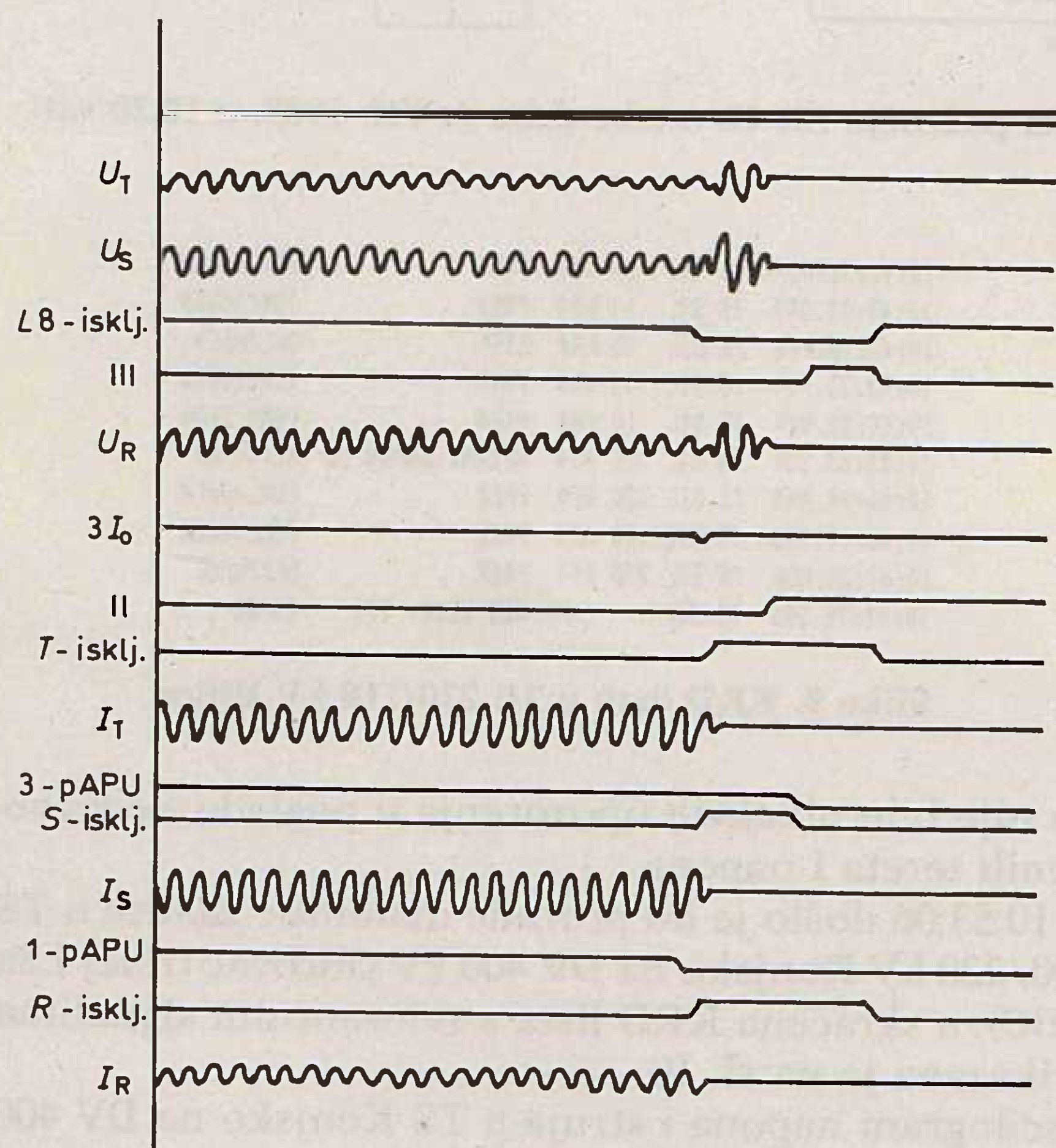
Nakon isključenja prekidača na DV 400 kV Obrovac napon na vodu sa strane RHE Obrovac je kratkotrajno porastao na približno nazivnu vrijednost s obzirom na to da je vod sa strane TS Konjsko otvoren. To stanje traje 2 periode, tj. do isključenja voda u RHE Obrovac, do kojega dolazi nakon prijema VF naloga za isključenje iz TS Konjsko.

Istovremeno u RHE Obrovac dolazi do isključenja prekidača na DV 400 kV Melina također preko VF naloga za isključenje iz TS Melina (sl. 12).

U TS 400/220/110 kV Meline KRD je bio u kvaru, zbog čega je izostala lista događaja, što je, dakako,

10.52.58	271.2	BIL02	NAPON	A.D-	197.5	<198.0>	kV
10.53.05	274	ZAK01	STRUJA	A.66+	736.6	<720.0>	A
10.53.05	274	ZAK01	NAPON	A.D-	183.5	<198.0>	kV
10.53.05	271.1	FIL01	NAPON	A.D-	183.2	<198.0>	kV
10.53.06	272.1	ORL01	NAPON	A.D-	180.6	<198.0>	kV
10.53.06	272.2	ORL02	NAPON	A.D-	155.5	<198.0>	kV
10.53.06	417	OBR	DIST.ZAS. STU. 2	PROR.			
10.53.07	419	OBR	1 POLNO APU	PROR.			
10.53.07	419	OBR	ZAS. PROT. NJIHA.	PROR.			
10.53.07	411	MOS	DIST.ZAS. STU. 2	PROR.			
10.53.08	419	OBR	UCIN. PREKIDAC	ISK.			
10.53.08	419	OBR	DIST.ZAS.	PROR.			
10.53.08	419	OBR	DIST.ZAS. FAZE 0	PROR.			
10.53.08	419	OBR	DIST.ZAS. FAZE 4	PROR.			
10.53.08	419	OBR	DIST.ZAS. STU. 3	PROR.			
10.53.08	419	OBR	DIST.ZAS. APU	PROR.			
10.53.08	419	OBR	OSCILOPERT.	PROR.			
10.53.06.220	419	OBR	DIST.ZAS. STU. 2	PROR.			
10.53.09	2/4	ZAK01	JALOVA SNAGA	A.6+	127.9	<112.5>	MVA <sub>r</sub>
10.53.11	419	OBR	NAPON	A.D-	.5	<342.0>	kV
10.53.14	274	ZAK01	STRUJA	N.6-	442.1	<659.9>	A
10.53.06.628 +	419	OBR	ZAS. PROT. NJIHA.	PROR.			
10.53.06.861 +	411	MOS	DIST.ZAS. STU. 2	PROR.			
10.53.06.906 +	419	OBR	1 POLNO APU	PROR.			
10.53.33	274	ZAK01	JALOVA SNAGA	N.6-	99.8	<112.5>	MVA <sub>r</sub>
10.53.06.922 +	419	OBR	DIST.ZAS.	PROR.			
10.53.06.926 +	419	OBR	DIST.ZAS. FAZE 0	PROR.			
10.53.06.926 +	419	OBR	DIST.ZAS. FAZE 4	PROR.			
10.53.06.963 +	419	OBR	UCIN. PPREKIDAC	ISK.			
10.53.06.978 +	419	OBR	OSCILOPERT.	PROR.			
10.53.07.019 +	419	OBR	DIST.ZAS. STU. 3	PROR.			

Slika 10. KRD lista u TS 400/220/110 kV Konjsko



Slika 11. Oscilogram napona i struja iz TS Konjsko na DV 400 kV Obrovac

otežalo analizu, no nedvojbeno je utvrđeno da su ispalili prekidači:

DV 400 kV Meline – Obrovac

DV 400 kV Meline – Divača.

Iako se raspoložuje relativno oskudnim podacima, možemo zaključiti da uzrok isklapanja južne trase nije kvar, što potvrđuju sljedeće činjenice:

— Registrirana je prorada protunjihajnih blokada na relejima RAZFE na dionici TS Konjsko – RHE

Obrovac – TS Meline (sl. 10). Već samo ta činjenica dovoljna je da potpuno isključi pretpostavku o kvaru kao uzroku razdvajanja EES-a.

— Djelovanje distantnih zaštita uz trofaznu pobudu (sl. 10. i 12). Kao što je poznato, trofazni kvarovi na vodovima 400 kV izvanredno su malobrojni, a osim toga uzrok kvara nije pronađen i vod je normalno stavljen pod napon.

— Kratkotrajna restauracija napona do isključenja na DV 400 kV Konjsko – RHE Obrovac sa strane RHE Obrovac (sl. 11), koja također eliminira svaku pretpostavku o kvaru na toj dionici.

— Na oscilogramu na sl. 11. vidi se da su naponi u sve tri faze jednaki, bitno niži od nazivnog, s tendencijom stalnog opadanja, što je, za razliku od kvara kada se napon odnosno impedancija »trenutno« smanjuju, karakteristika naponskog sloma.

— Pobude distantnih releja u mreži 220 kV na potezu TS 220 kV Mostar – HE Zakučac – TS Konjsko (KRD lista iz HE Zakučac), također i pobude distantnih releja u mreži 110 kV na području TS Biliće, TS Zadar i TS Obrovac. Ti podaci dani su u [7], a ovdje su ispušteni.

10:53:21	RP 400 KONJ.ELM.Z.DIST.STEPEN 2	AKTIVIR.
10:53:21	RP 400 KONJ.ELM.Z.POBUDA VF	AKTIVIR.
10:53:21	RP 400 KONJ.ELM.Z.APU PRORADA	AKTIVIR.
10:53:22	RP 110 TS OBR.DIST.START FAZA S	AKTIVIR.
10:53:22	RP 110 TS OBR.DIST.START FAZA T	AKTIVIR.
10:53:20.333	RP 110 TS OBR.DIST.START FAZA S	AKTIVIR.
10:53:20.433	RP 400 KONJ.STA.Z.ZEMNI SPD.POB	AKTIVIR.
10:53:20.440	RP 400 KONJ.ELM.Z.POBUDA VF	AKTIVIR.
10:53:20.503	RP 400 MEL.ELM.Z.DIST.STEPEN 2	NEAKTIVIR.
10:53:20.503	RP 400 KONJ.ELM.Z.APU PRORADA	NEAKTIVIR.
10:53:20.516	RP 110 TS OBR.DIST.START FAZA T	NEAKTIVIR.
10:53:20.516	RP 400 MELINE UČINSKI PREK. A3	ISKLJUČEN
10:53:20.516	RP 400 KONJSKO UČINSKI PREK. A3	ISKLJUČEN
10:53:20.522	RP 110 TS OBR.DIST.START FAZA S	NEAKTIVIR.
10:53:20.528	RP 110 TS OBR.DIST.START FAZA R	NEAKTIVIR.

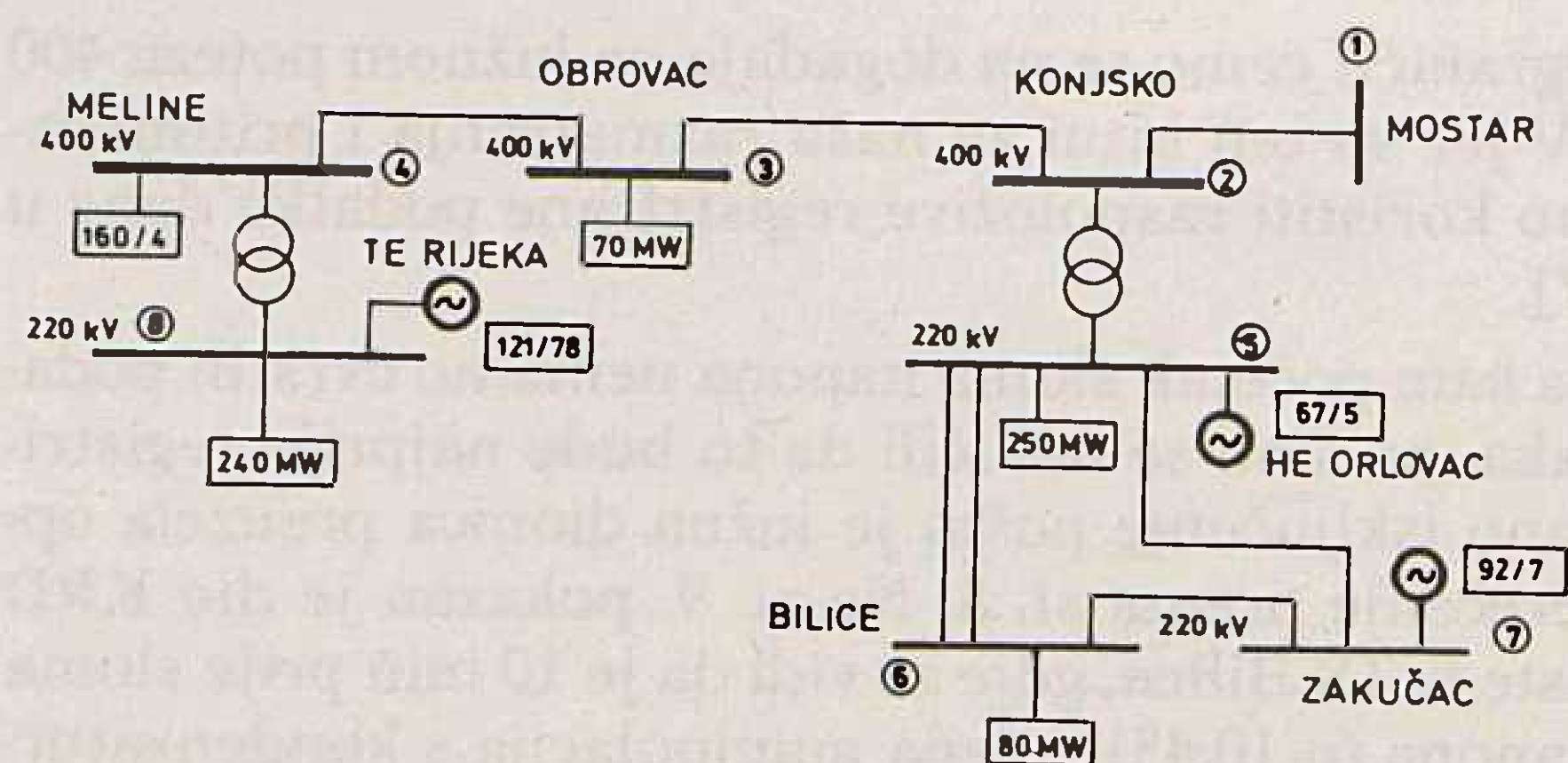
Slika 12. KRD lista u RHE Obrovac

Iz toga se može zaključiti da je relejna zaštita na južnom potezu 400 kV u cijelosti radila logično i da je uzrok razdvajanja EES-a naponski slom a ne kvar.

U prilog tome govore i proračuni koji su izvršeni, kojima se pokušao modelirati naponski slom.

U proračunima su napravljene sljedeće pretpostavke:

— Mreže 400 i 220 kV odabrane su kao na sl. 13, a za početna opterećenja odabrane su registrirane vrijednosti na sl. 8.

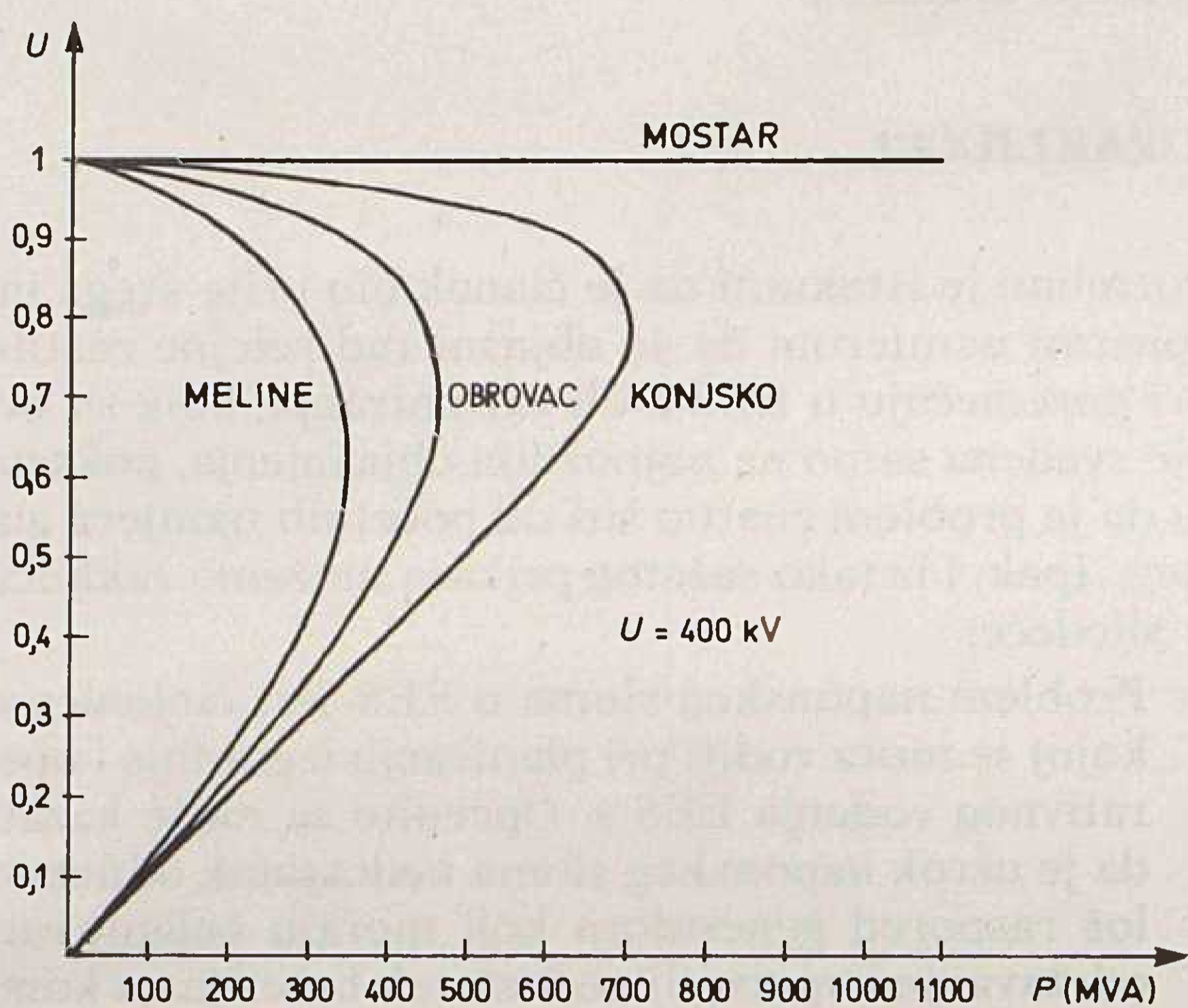
Slika 13. Mreža 400 i 220 kV s početnim veličinama proizvodnje i opterećenja P i Q uz  $\cos \varphi = 0,92$ . Veličine napona služe samo za oznaku naponskog nivoa sabirnica.

- Podaci koji nedostaju, posebno o reaktivnim opterećenjima, procijenjeni su iz dnevnih dijagrama.
- Pretpostavljen je linearan rast u svim čvorovima uz konstantan  $\cos \varphi = 0,92$ .
- Za čvrstu točku odabrane su sabirnice 400 kV u TS Mostar.

Izvršene su tri grupe proračuna:

- baterija 50 MVAR u TS Bilice uključena;
- baterija u TS Bilice isključena;
- napon u TS Mostar snižen na 380 kV.

Na sl. 14. prikazane su promjene napona u čvorovima 400 kV za drugu grupu proračuna (stvarno uklopno stanje), iz čega se vidi relativno brzi pad napona s porastom opterećenja, a slom napona, nemogućnost izvršavanja interakcijskog postupka zbog pada napona ispod 0,5 p. u. nastupa pri vrijednosti tereta  $1,25 \cdot (P_{\text{počet.}}, Q_{\text{počet.}})$ .



Slika 14. Naponske prilike u čvorovima 400 kV pri porastu opterećenja

U slučaju kada su baterije u TS Bilice uključene, naponski slom nastupa na  $1,32 \cdot (P_{\text{počet.}}, Q_{\text{počet.}})$ . Utjecaj baterija je, prema našem sudu, dosta značajan jer isklapanje baterija priključenih na tercijarni transformatora 220/110/10 kV, pogoršava naponske prilike u čvorovima 400 kV čak za otprilike 2%, što upućuje na to da je mreža oslabljena. Isto tako, napuštanje pretpostavke sabirnice 400 kV u TS Mostar nisu čvrsta točka dovodi do bržeg sloma na odnosu vrijednosti na sl. 14. Prva i treća grupa proračuna su ovdje, zbog ograničenog prostora, izostavljene.

Učinjene pretpostavke unose, naravno, određenu nesigurnost u proračune, pa ni zaključci ne mogu biti posve decidirani. posebno je problematična pretpostavka da 400 kV sabirnice u TS Mostar predstavljaju točku konstantnog napona. U stvarnosti to sigurno nije tako i točka konstantnog napona je vjerojatno »dublje« u mreži, što, dakako, još više pogoršava prilike na južnom potezu. No, čak da proračunu u cijelosti oduzmemo epitet egzaktnog modeliranja stvarnih prilika, kakve su bile kod raspada EES-a, i damo mu kvalitativni smisao, sličnost teorijskih dijagrama

na sl. 3. s dijagramima na sl. 14. i zaključci koji se iz toga moraju izvući su evidentni.

Preostaje još jedan presudan detalj: pronaći logično objašnjenje porasta opterećenja za približno 25% u relativno kratkom vremenu ako se znade da u EES-u nije registrirano uklapanje nekog velikog potrošača. Taj fenomen može se objasniti koincidencijom:

- uobičajenog porasta opterećenja, jer se naponski slom poklapa s početkom dnevne špice
- utjecajem karakteristika tereta, posebno asinhronih motora (sl. 5), koji se ponašaju kao potrošač konstantne snage (bez obzira na napon), što rezultira velikim povećanjem struje odnosno gubicima i padovima napona u svim elementima EES-a
- rada regulacijskih sklopki transformatora koje djeluju tako da se kompleksno opterećenje čvora ponaša kao teret konstantne snage.

Budući da su prva dva uzroka jasna, obrazložiti ćemo ukratko utjecaj rada regulacijskih sklopki na naponske prilike u EES-u. Pretpostavimo li regulacijski transformator prijenosnog omjera 1:n, ( $n < 1$ ) kao na sl. 15, tada vrijedi:

$$I_1 = n \cdot Y_t \cdot U_2. \quad (19)$$

Uzimajući u obzir osnovnu jednadžbu transformacije

$$U_2 = n \cdot U_1, \quad (20)$$

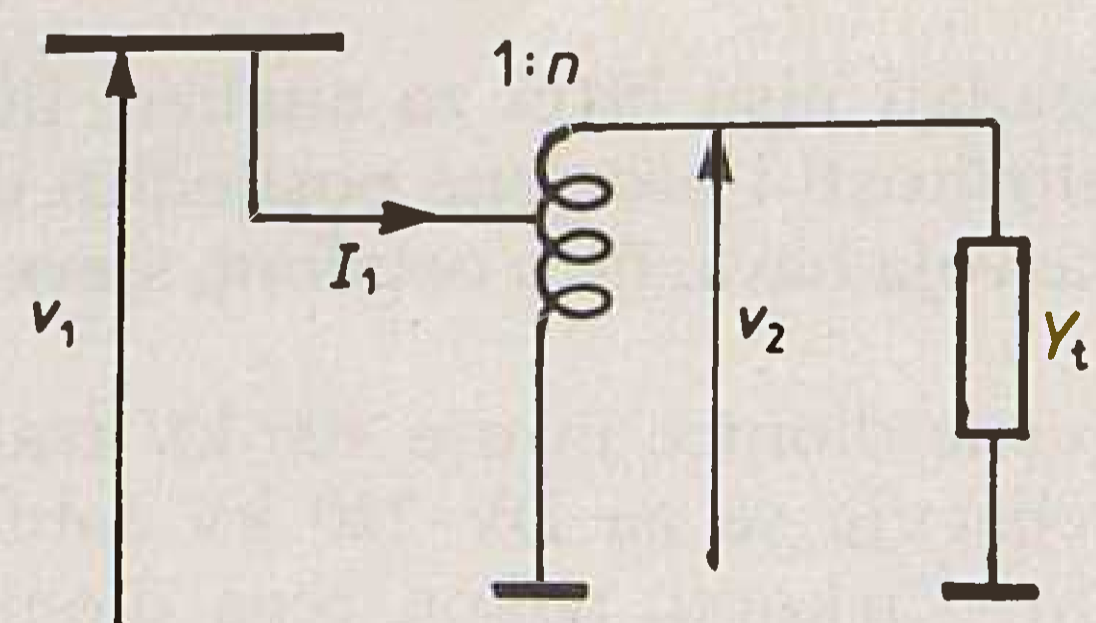
(19) prelazi u

$$I_1 = n^2 \cdot Y_t \cdot U_1, \quad (21)$$

odakle, dijeljenjem sa  $U_1$  konačno dobivamo:

$$Y_s = n^2 \cdot Y_t, \quad (22)$$

gdje je  $Y_s$  impedancija koju »vidi« sistem na primarnoj strani transformatora a  $Y_t$  impedancija tereta na sekundarnoj strani.



Slika 15. Model regulacijskog transformatora

Automatska regulacija djeluje tako da napon  $U_2$  nastoji dovesti na konstantnu zadnju vrijednost  $U_{2c}$ . Uz petpostavku kontinuirane promjene prijenosnog omjera  $n$  vrijedi:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{1}{T_r} (U_{2c} - U_2), \quad (23)$$

gdje je  $T_r$  regulacijska konstanta. Derivacijom (22) dobivamo:

$$\frac{dY_s}{dn} = 2n \frac{dn}{dt} \cdot Y_t \quad (24)$$

ili, uvažavajući (20), (22) i (23),

$$\frac{dY_s}{dt} = \frac{2U_1}{T_r} \left( \frac{U_{2c} \cdot U_2}{U_1^2} Y_t - Y_s \right). \quad (25)$$

Izraz (25) predpostavlja linearnu nehomogenu diferencijalnu jednadžbu čije rješenje je:

$$Y_s = C \cdot e^{-t} + \frac{U_{2c}^2}{U_1^2} Y_t. \quad (26)$$

Promjenjivi član u (26) teži prema nuli, pa (25) prelazi u:

$$Y_s \underset{t \rightarrow \infty}{=} \frac{U_{2c}^2}{U_1^2} Y_t. \quad (27)$$

što je, uvažavajući (20), identično s jednadžbom (22). Postavlja se pitanje koji je stvarni smisao jednadžbe (22) i (25), dakako s obzirom na problem koji se ovdje razmatra.

Kao što je poznato, (22) predstavlja jednu od osnovnih jednadžbi transformatora, no ovdje nas ona upućuje na činjenicu da zbog promjene prijenosnog omjera (regulacija!) EES konstantnu admitanciju tereta »vidi« kao promjenjivu veličinu. S druge strane, jednadžba (25), kojom je definiran proces regulacije transformatora, pokazuje da regulacija djeluje tako da veličinu admitancije  $Y_s$  regulira na vrijednost definiranu u (27). To ustvari znači da regulacija podržava konstantnu snagu tereta bez obzira na amplitudu  $U_1$  primarnog napona transformatora, odnosno napona EES-a, i time — zbog širokog raspona regulacije od  $\pm 15\%$  — znatno utječe na porast struja, gubitaka i padova napona.

Time je potvrđena konstatacija, izrečena u 1.1, da automatska regulacija transformatora, nastojeći održati konstantan napon, može — u određenim prilikama — dovesti do pogoršanja naponske stabilnosti u EES-u.

#### 4. RAZVOJ HAVARIJE U OSTALOM DIJELU EES-a

Iako ti događaji nisu bitni za analizu, interesantno je, radi cjelovitosti i procjene posljedica dati skraćeni prikaz razvoja havarije u ostalom, sjevernom, dijelu EES-a.

Ispadom južne dionice mreže 400 kV tranzit prema zapadu prebacuje se na DV 220 kV Jablanica–Jajce–Mraclin–Cirkovci, nakon čega dionica DV 220 kV Jablanica–Jajce odmah ispada (u 10:54) zbog preopterećenja. Neposredno nakon toga ispadaju vodovi 110 kV između područja sjeverozapadne Hrvatske i ostalih dijelova, a EES se podijelio u tri dijela:

- Dio sistema Zagreba i Rijeke ostao je, preko Slovenije, vezan na UCPT (TS 220/110 kV Međurić, Mraclin i Sisak).
- Dio sistema Zagreba napajan iz TS 400/110 kV Tumbri, područje »Elektroslavonije« i dio Dalmacije ostaju vezani na EES Jugoslavije.
- TS Nedeljanec i TS Čakovec u otočnom režimu sa HE Varaždin i HE Čakovec koji se održavao otprilike 1 min.

Na području Zagreba, koji je ostao vezan sa Slovenijom preko DV 220 kV Mraclin–Cirkovci, nastaje manjak radne i reaktivne snage koji dovodi do pada na-

pona na 186 kV i opterećenja DV 220 kV Mraclin–Cirkovci od oko 250 MVA s tendencijom daljnjeg porasta. Zbog poteškoća s uključivanjem DV 220 kV Međurić–Prijevor i Mraclin–Jajce, DV 220 kV –Cirkovci se preopterećuje i ispada iz pogona, a TS 220/110 kV Mraclin, Međurić i Sisak ostaju bez napona.

U EES-u JUGEL-a dolazi do porasta frekvencije na 50,9 Hz (otprilike 10 min) i u 10:57, zbog viška snage i djelovanja primarne regulacije, ispadaju vodovi prema Grčkoj DV 400 kV Dubrovo–Solun i DV 150 kV Bitola–Ptolomias.

Razdvojeni sistemi spojeni su paralelno nakon uključivanja DV 400 kV Maribor-Krško u 11:44, u 12:47 povezan je južni prsten u RHE Obrovac preko spojnog polja 400 kV, a sve TS 110 kV dobile su napon do 12:15. Neisporučena energija procijenjena je na 500 MWh EES-u ZEOH-a i 300 MWh elektroenergetskom sistemu Grčke.

#### 5. ZAKLJUČCI

Potrebno je istaknuti da je članak bio prije svega inspiriran namjerom da se objasni rad relejne zaštite pri poremećaju u EES-u ali razmatranja, koja su ovdje svedena samo na najnužnija objašnjenja, pokazuju da je problem znatno širi od početnih namjera autora. Ipak, i iz tako sažetog prikaza možemo zaključiti sljedeće:

- Problem naponskog sloma u EES jest činjenica o kojoj se mora voditi pri planiranju izgradnje i operativnog vođenja EES-a. Općenito se može kazati da je uzrok naponskog sloma nedostatak odnosno loš raspored generatora koji moraju osiguravati održavanje napona ili nedostatak baterija za kompenzaciju reaktivnih snaga. U oba slučaja dolazi do drastičnog reduciranja mogućnosti prijenosa snage.

Na važnost systemske kompenzacije u održavanju napona u EES-u ZEOH-a je i u (L. 8).

- Loše naponske prilike praćene su pojavama koje pospješuju naponski slom; npr. rad regulacijskih transformatora, ograničenja u regulaciji napona generatora, ispadi generatora, ispadi vodova zbog preopterećenja i sl.
- Raspad sistema uzrokovan slomom napona, analiziran u ovom članku upućuje na to da je slom napona realna opasnost za EES koja se drastično povećava iskapčanjem južne ili sjeverne dionice 400 kV. Kako se ta stanja ne mogu izbjeći, bilo da se radi o planiranim iskapčanjima bilo ispadima zbog kvarova, u tim situacijama nužan je maksimalni oprez operativnog osoblja. Ista primjedba vrijedi i kod preuzimanja obaveza ZEOH-a u tranzitiranju snaga prema zapadu, jer to ujedno znači preuzimanje obaveze osiguranja odgovarajućeg »naponskog profila« duž trase, za što objektivno ne postoje velike mogućnosti.

Da ovaj oprez nije suvišan, potvrđuje i činjenica da je naponski slom nastupio pri prijenosu snage 600 MVA, što je bitno niže od maksimalno dozvo-

ljene termičke snage, a da prije sloma nije bilo nikakvih indikacija o nedozvoljenim naponima ni opterećenjima. To istovremeno ukazuje na nužnost relativiziranja pojma »termičke snage prijenosa« kojom se u praksi često neoprezno računa. Analize provedene u [8] i [9] potvrđuju da se ne radi o slučajnom incidentu, već o trajnoj prijetnji koja ozbiljno ugrožava EES ZEOH-a.

— Slom napona je u principu ireverzibilan proces, što znači da mjere koje se poduzimaju radi njegova sprečavanja moraju biti drastične i brze (reduciranje potrošnje, ukapčanje generatora, uklapanje kondenzatorskih baterija).

— Podfrekventna zaštita, koja u našem EES-u predstavlja jedinu »sistemsku« zaštitu, nemože reducirati potrošnju i tako spriječiti slom napona jer pri tom poremećaju ne dolazi do sniženja frekvencije. To, dakako, implicira problem studiranja i iznalaženja efikasne zaštite, a rješenje vjerojatno treba tražiti u domeni tzv. centralnih zaštita, koje bi koristile opremu postojećih sistema daljinskog vođenja i podatke koji se prikupljaju u DC i CDU. Na taj način »zaštita« se u stvari reducira na software koji, apliciran u realnom vremenu, može — računajući maksimalne snage i kritične kutove — ukazati na opasnosti od nastanka naponskog sloma.

— Rad relejne zaštite na vodovima 400 kV u konkretnom slučaju bio je ispravan:

- Releji RAZFE (ASEA) nisu dali nalog za isklapanje zbog blokade zaštite od njihanja
- Releji L8a (BBC) nemaju te blokade, i oni su proradili zbog niskih pogonskih napona i pada pogonske impedancije u proradnu karakteristiku
- Podfrekventna zaštita nije proradila jer nije došlo do pada frekvencije.

Posljedice su bile, kako je opisano u točki 4, razdvajanje EES-a najprije u dva, a kasnije u tri podsystema, daljnji ispadi unutar tih podsystema zbog preopterećenja do konačne stabilizacije, nakon čega je započeta restauracija EES-a. No, bez obzira na to, kvalifikacija o korektnom radu zaštite na južnoj trasi ostaje.

— Rješenje, dakle, treba tražiti ponajprije u promjenama:

- kriterija planiranja EES-a posebno u domeni systemske kompenzacije
- kriterija operativnog planiranja EES-a
- organizacije vođenja i nadzora EES-a
- informatičke opreme u DC, CDU i TS i (ili) podataka koji se prikupljaju

što sve zahtijeva kompleksne analize koje znatno prelaze početne ambicije ovog članka.

Vezano za informatičku opremu, posebno želimo navesti konstataciju danu u [7] o neophodnosti optimiranja postojećih informatičkih resursa u DC, CDU i TS koji registriraju događaje u EES-u, naročito s obzirom na kriterij njihove raspoloživosti. Važnost takvih analognih i digitalnih uređaja, u koje su uložena velika sredstva, svakim danom je sve veća, jer jedino ti podaci — što je u članku i pokazano — omogućuju egzaktnu analizu velikih poremećaja u EES-u.

## LITERATURA

- [1] VENIKOV, V. A.: »Perehodnie elektromehaničeskie processi v električeskih sistemah«, Moskva, 1970.
- [2] CHRISTENSEN, I. F. i dr.: »Planification pour eviter un ecrnement de tension«, ELECTRA, No 111.
- [3] BARBIER, C, BARRET, J. P.: »An analysis of phenomena of voltage collapse on a transmission system«, RGE, T. 89. No 10.
- [4] WINKOUR, M., CORY, B. J.: »Voltage collapse prevention in isolated power system«, PSCC, Lisabon, 1987.
- [5] KOLEGA, B., TONKOVIĆ, Z., HANGI, V., PULJIĆ, N.: »Izveštaj o poremećaju dijela EES-a Hrvatske 6. srpnja 1988.«, Inter. publ. ZEOH-a, Zagreb, 1988.
- [6] TONKOVIĆ, Z.: »Razdvajanje sistema UCPTe na zagrebačkom području«, »Energija« 4/89
- [7] FILIPOVIĆ, B., PERIŠIĆ, S.: »Analiza poremećaja u EES-u ZEOH-a od 6. 7. 1988. i rad relejne zaštite«, Inter. publ. ZEOH-a, Zagreb, 1989.
- [8] TONKOVIĆ, Z., CVETKOVIĆ, Z., KOLEGA, B.: »Sistemski značaj kompenzacije jalove snage s posebnim osvrtom na područje sjeverozapadne Hrvatske«, Savjetovanje o kval. el. energije u EES-u, Dubrovnik, 1989.
- [9] CVETKOVIĆ, Z.: »Neke dileme vezane za raspad sistema 1. kolovoza 1986. god.«, »Energija« 2/87
- [10] TONKOVIĆ, Z.: »Raspad zapadnog dijela EES-a Jugoslavije 1. VII 1986.«, »Energija« 2/87

## VOLTAGE BREAKDOWN IN ELECTRIC POWER SYSTEM — CAUSES AND CONSEQUENCES

In the article is discussed a problem of voltage breakdown and voltage unstabilities in HV nets. In the first part presented are some base theoretical explanations, analysed is the case of voltage breakdown in electric power system of »ZEOH« as well as operation of relay protection in that disturbance.

## SPANNUNGSZUSAMMENBRUCH IM EES — URSACHEN UND FOLGEN

Im Artikel behandelt man die Problematik der Unbeständigkeit im Spannungsbereich, den Spannungszusammenbruch in Hochspannungsnetzen. Zuerst bespricht man die wichtigsten theoretischen Erklärungen des Problems und das Ereignis des Spannungszusammenbruchs im EES ZEOH und die Tätigkeit des Relaischutzes bei dieser Störung.

## КРАХ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЭС — ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ

В статье рассматривается проблематика неустойчивости напряжения, краха напряжения в высоковольтных сетях. Сперва приводятся основные теоретические объяснения проблемы, анализируется случай краха напряжения в ЭЭС Объединения энергетических организаций Хорватии и работа релейной защиты при таком нарушении.

Naslov pisaca:

**Mr. Božidar Filipović-Grčić, dipl. inž.**

**Dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.**

**Institut za elektroprivredu**

**Zagreb, 41000 Zagreb,**

**Proleterskih brigada 37,**

**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:

1989-08-30

Telefon: (041) 235-666

\*

Telegram: TEPEKA — Zagreb

\*

Telex: 21-319 YU TPK ZG

Telefaks: (041) 222-062

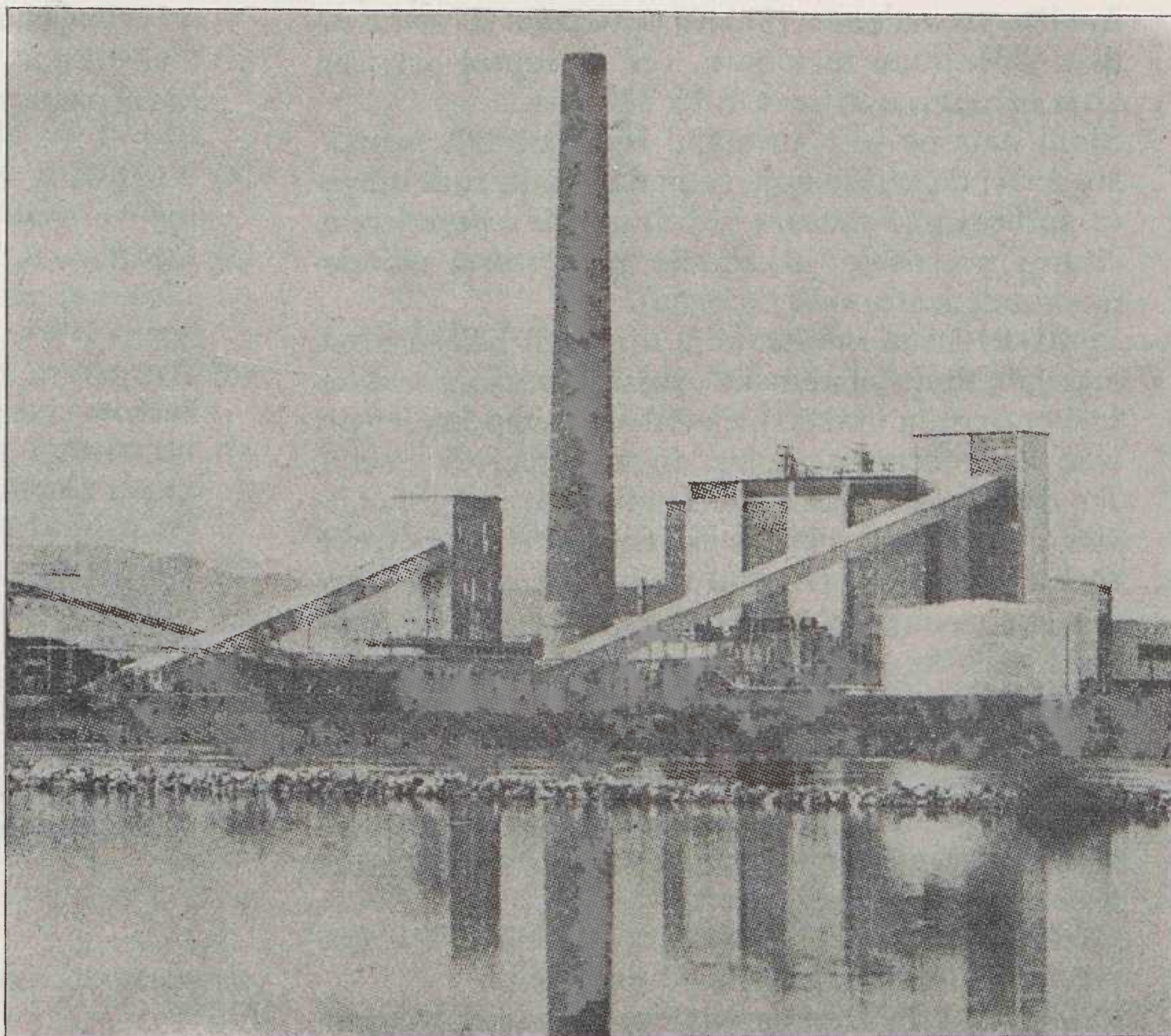
## Projektira

## 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 • kondenzne 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 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



# SREDNJOROČNO PLANIRANJE EKSPLOATACIJE EES-a

Mr. Branka Jelavić, Zagreb

UDK 621.311.1  
PREGLEDNI RAD

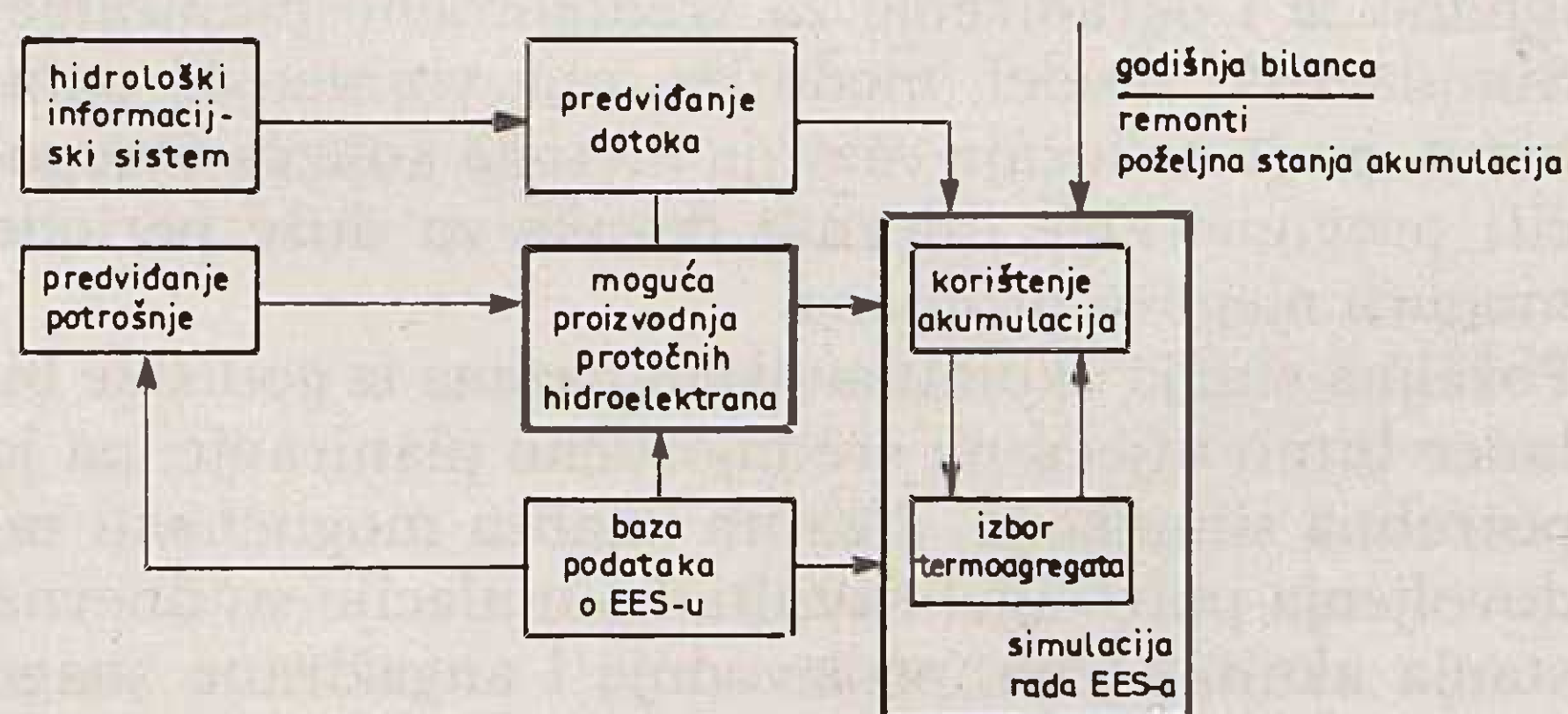
Opisane su osnovne postavke modela za tjedno ili mjesečno planiranje potrošnje i dotoka odnosno stimulacija prilika u EES-u po danima. Primjena ove metode trebala bi omogućiti kvalitetnije višetjedno planiranje rada EES-a.

**Ključne riječi:** srednjoročno planiranje, sektorska potrošnja, dotoci po slivovima, satna krivulja dnevnog opterećenja.

## UVOD

Srednjoročno planiranje eksploatacije elektroenergetskog sistema zajedno s dugoročnim i kratkoročnim planiranjem eksploatacije čini jedinstvenu cjelinu, koja je nužna za vođenje, upravljanje i analizu rada elektroenergetskog sistema, te je samim time i osnovna pretpostavka dobrog gospodarenja u elektroprivredi. Bez kvalitetnog planiranja nema ni dobrog gospodarenja u elektroprivredi, za što je u konačnom obliku nužno razviti efikasne sisteme planiranja i unaprijediti ih primjenom suvremene (kvalitetne) računarske tehnike koja omogućava da se cjelokupno planiranje izvodi uz pomoć programskih paketa razvijenih u te svrhe.

Srednjoročno planiranje je, prema vremenskoj dimenziji, planiranje koje obuhvaća nekoliko tjedana unaprijed i predstavlja vezu između godišnjeg planiranja i planiranja za dan unaprijed. Po sadržaju ono uključuje predviđanje potrošnje električne energije, predviđanje dotoka, moguću proizvodnju hidroelektrana, te korištenje akumulacijskih bazena i raspodjelu opterećenja među elektranama s proračunom troškova (sl. 1).



Slika 1. Shema srednjoročnog planiranja rada EES-a

Skup funkcija srednjoročnog planiranja isti je, dakle, kao i kod godišnjeg planiranja, ali zbog razlike u trajanju vremenskog perioda srednjoročno planiranje je više 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 sagledati ostvarenje godišnjeg plana, te po potrebi učiniti korekcije za preostali dio godine.

## 1. PREDVIĐANJE POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Predviđanje potrošnje električne energije osnova je planiranja eksploatacije i razvoja elektroenergetskog sistema (EES-a). Predviđena potrošnja ovisi o predviđenom porastu potrošnje električne energije, koji je posljedica priključaka novih potrošača i povećanja potrošnje već postojećih potrošača. Buduća potrošnja također ovisi o tjednim, dnevnim i satnim karakteristikama ponašanja samih potrošača, pri čemu je posebno zanimljiva ovisnost o strukturi potrošnje električne energije.

Za srednjoročno predviđanje potrošnje koristi se tzv. model sektorskog predviđanja. Model sektorskog predviđanja podrazumijeva određivanje udjela raznih sektora u ukupnoj potrošnji, pripadnih krivulja opterećenja i ukupne krivulje opterećenja za promatrano razdoblje (2-3 tjedna unaprijed po danima).

Podjela ukupne potrošnje na sektore potrošnje uvjetovana je činjenicom da je moguće lakše otkriti i opisati zakonitosti ponašanja sektora nego ukupne potrošnje, to više što se zakonitosti po sektorima vrlo razlikuju. Odabir sektora je rezultat poznavanja podataka o potrošnji električne energije i krivulja opterećenja u posljednjih nekoliko godina, mogućnosti predviđanja buduće potrošnje i krivulja opterećenja, razvoja upotrebe električne energije kod pojedinih potrošača, utjecaja ekonomskih mjera na ponašanje potrošača itd.

Podjela ukupne potrošnje može se izvršiti prema tipu korisnika (domaćinstva, industrija, direktni i specijalni potrošači itd.) ili prema tipu upotrebe (grija-

nje prostorija, osvjetljenje, priprema tople vode itd.). Bitan faktor izbora sektora je i dostupnost podataka. Budući da se podaci skupljaju po korisnicima, odabran je takav tip podjele.

Model se sastoji od više faza:

- predviđanja općeg nivoa potrošnje za promatrano razdoblje
- određivanja krivulje opterećenja sektora i ukupne krivulje za promatrano razdoblje
- optimizacije faktora izgladivanja srednje vrijednosti, sezonske komponente i tjednog trenda
- određivanja utjecaja temperaturnog faktora.

Rast potrošnje iz godine u godinu izražava se godišnjom stopom rasta uz pretpostavku ravnomjernog rasporeda u toku godine. Budući da se porast potrošnje električne energije odvija po eksponencijalnom zakonu, takva zakonitost se pretpostavlja i u toku godine. Osnova za određivanje trenda rasta potrošnje električne energije jest srednja tjedna vrijednost potrošnje sektora u promatranom razdoblju, te godišnji trend potrošnje sektora.

Ukupna godišnja potrošnja električne energije dijeli se pomoću koeficijenata na potrošnju po tjednima, danima i satima. Koeficijentima se opisuje:

- rast potrošnje u toku godine
- planirani ulasci u pogon
- sezonske promjene potrošnje
- dnevne promjene potrošnje
- satne promjene potrošnje
- temperaturni utjecaj.

Određivanje komponenti predviđanja — srednje vrijednosti, trenda i sezonskog faktora — ovisno je o izboru faktora izgladivanja. Problem se svodi na optimiranje faktora izgladivanja minimiziranjem pogreške odstupanja. Kriterij optimiranja je minimiziranje sume kvadrata odstupanja prognozirane od ostvarene vrijednosti.

Temperaturni utjecaj je posebno istaknut zato što svako odstupanje od prosječne temperature izaziva promjene potrošnje električne energije, naročito u zimskom razdoblju. Taj utjecaj obuhvaćen je koeficijentom temperaturne elastičnosti, a njegovo značenje je to veće što se prognoza provodi za kraći period.

## 2. PREDVIĐANJE DOTOKA

Uz predviđanje potrošnje električne energije predviđanje dotoka u hidroelektrane ima bitan utjecaj na planiranje eksploatacije i razvoja EES-a. Značenje predviđanja dotoka prelazi »granice« elektroprivrede: poznavanje dotoka ima veliku važnost u poljoprivredi, opskrbi vodom, obrani od poplava i sl.

U EES-u SR Hrvatske, u kome je prema podacima za 1987. godinu 54,68% proizvodnih kapaciteta u hidroelektranama (za sistem Jugoslavije taj udio iznosi 40,63%), prognoziranje dotoka je jedan od osnovnih problema pri planiranju rada sistema.

Za predviđanje dotoka usvojen je na nivou Zajednice jugoslavenske elektroprivrede SSARR-model koji

pripada među tzv. konceptualne modele. Konceptualni modeli baziraju na jednostavnoj kombinaciji relativno malog broja komponenata, pri čemu svaka komponenta predstavlja jednostavan prikaz jednog elementa procesa koji se modelira.

Najznačajniji razlozi izbora SSARR-modela bili su: široka mogućnost primjene, umjerena informacijska osnova i dugogodišnja praktična primjena u svijetu i u nas.

Model SSARR ima mogućnost simulacije toka u prirodnim riječnim koritima, jezerima i akumulacijama, te hidroloških uvjeta u porječjima, uzimajući u obzir meteorološke uvjete, dotoke, zahvate vode, utjecaj nizvodnih objekata na tečenje i na kotu donje, vode uzvodnih akumulacija. U modelu se određuju ukupne padaline u porječju, uzima u obzir zadržavanje vode u zemlji zbog infiltracije, gubitak vode zbog evapotranspiracije, a zatim se višak vode dijeli na površinsku, potpovršinsku i dubinsku komponentu. Model simulira tok tih komponenti kroz zemljište i vrši njihovo slaganje u sumarni utjecaj.

SSARR-model, odnosno neke njegove verzije kalibrirane su za nekoliko naših porječja, no model treba kalibrirati za sva hidroenergetski značajnija porječja. Važan preduvjet je formiranje izvještajnih hidrometeoroloških mreža u pojedinim porječjima i širim područjima, te suradnja elektroprivrednih organizacija s ostalim potencijalnim korisnicima, kao što su hidrometeorološki zavodi, vodoprivredne organizacije, službe općenarodne obrane i sl.

## 3. SIMULACIJA PRILIKA U EES-u

Simulacija prilika u EES-u završna je faza srednjoročnog planiranja eksploatacije. Za simulaciju potrebno je predvidjeti potrošnju električne energije i dotoke, a dio ulaznih podataka je rezultat dugoročnog planiranja odnosno godišnje elektroenergetske bilance.

Predviđanje potrošnje električne energije za nekoliko tjedana unaprijed po danima realizirano je sektorskim predviđanjem, dok je predviđanje dotoka modelom SSARR (odnosno SAR) moguće za 7-10 dana unaprijed. To ograničenje pri prognozi dotoka ujedno je i ograničenje za srednjoročno planiranje. Simulacijski model, međutim, nije vremenski ograničen, pa je u slučaju razvoja metoda koje će omogućiti prognoziranje dnevnih dotoka za duže periode moguća njegova primjena.

Poželjna stanja akumulacijskih bazena iz godišnje bilance bitno utječu na srednjoročno planiranje, pa je potrebna simulacija, a zatim analiza mogućnosti zadovoljenja potrošnje. Rezultati simulacije su dnevna stanja akumulacija, proizvodnje i angažirane snage svake elektrane, regulirani protoci akumulacijskih hidroelektrana, potrebe goriva za termoelektrane i eventualno potrebna nabava snage i energije. Zahtjevi na simulacijski model očito su veliki i zasada ne postoji neki opće priznati i testirani model koji bi u potpunosti odgovorio svim zahtjevima. Rješenje se traži za određeni elektroenergetski sustav u ovisnos-

ti o njegovoj veličini, udjelu hidroproizvodnje odnosno termoproizvodnje u zadovoljenju potrošnje, koncepciji planiranja eksploatacije, postojećim tehničkim resursima (oprema, mjerenja, osoblje, organizacija) i sl.

Za sisteme s velikim udjelom termoelektrana srednjoročno planiranje svodi se na izbor termoagregata koji će sudjelovati u zadovoljenju potrošnje, dok se za sisteme s velikim udjelom hidroproizvodnje srednjoročno planiranje svodi na optimiranje korištenja akumulacijskih hidroelektrana.

Budući da je naš EES mješovit, sa značajnim udjelom hidroproizvodnje, poštivanje tzv. liste prioriteta, (pri čemu je cijena kWh pojedinog agregata mjerdavna za izbor) uz simulaciju određenih prilika u termoelektranama (remont, kvar) zadovoljava sadašnje potrebe sistema SR Hrvatske.

Problem godišnjeg korištenja akumulacija riješen je u sklopu godišnje elektroenergetske bilance. Ovisno o pretpostavljenoj hidrologiji, dobiva se pojas poželjnih stanja za pojedine akumulacije, koji je ulazni podatak za srednjoročno planiranje.

U srednjoročnom planiranju treba odrediti dnevnu potrošnju vode po akumulacijama, uz uvjet da se zadovolji potrošnja i minimum troškova za gorivo u termoelektranama. Matematički gledano radi se o pronalaženju minimuma funkcije cilja, za što je potrebno primijeniti neku od tehnika optimiranja. Ovdje je odabrano linearno programiranje, jer ono omogućava bilanciranje snage i energije, te detaljan prikaz hidrosistema, a nema ograničenja u pogledu dimenzija problema.

Osnovna zamjerka linearnom programu je neizbježno lineariziranje svih funkcija i relativno dugačko vrijeme izvođenja. Za tjedno planiranje linearni prikaz funkcija je dovoljno točan, a vrijeme izvođenja nije presudno s obzirom na to da se radi o duljem vremenskom horizontu planiranja.

### 3.1. Matematički model

Funkcija cilja koja se minimizira linearnim programom jesu troškovi za gorivo u termoelektranama i troškovi nabave energije iz drugih sistema, uz zadovoljenje niza ograničenja koja su posljedica fizikalne stvarnosti EES-a.

Osnovno ograničenje je nužna jednakost proizvodnje elektrana i eventualne nabave s potrošnjom i zahtjev za preradom određene količine vode u akumulacijskim hidroelektranama u skladu s godišnjom elektroenergetskom bilancom. Također se uvažavaju ograničenja na snagu elektrana i volumen akumulacije, a prikazana je i međupovezanost akumulacijskih hidroelektrana u porječjima.

Potrošnja koja se pokriva linearnim programom jest predviđena potrošnja električne energije u pojedinom danu umanjena za isporuke termoelektrana izgrađenih za potrebe Hrvatske u drugim republikama, fiksnu razmjenu, proizvodnju termoelektrana — toplana i proizvodnju protočnih hidroelektrana. Proizvodnja termoelektrana-toplana definirana je dijelom potrebama toplinskog konzuma, a proizvodnja

protočnih hidroelektrana računa se metodom prioriteta na bazi predviđenih dnevnih dotoka.

Metodom prioriteta sati proizvodnja protočnih hidroelektrana pokušava se prvenstveno smjestiti u sate velikih opterećenja, imajući na umu ograničenja bazena, snage i protoka.

Budući da se radi o satnom dijagramu opterećenja, njega je za potrebe srednjoročnog planiranja, a i radi brzine proračuna moguće aproksimirati s nekoliko stupaca (npr. 3 ili 5).

Sigurnost napajanja potrošača osigurava se produženjem trajanja maksimalnih opterećenja, te tzv. dopunskom elektranom. Dopunska elektrana predstavlja proizvodnju koju nije moguće pokriti vlastitim izvorima uz određenu politiku korištenja tih izvora, a koja proizlazi iz godišnje bilance i pogonskih uvjeta. Potrebna proizvodnja dopunske elektrane može se ostvariti intenziviranjem korištenja akumulacija, dodatnom nabavom u krajnjem slučaju redukcijama.

### 4. ZAKLJUČAK

Ova metodološka razrada funkcija srednjoročnog planiranja treba poslužiti kao baza za izradu pripadne programske podrške, čime bi se uz kratkoročno i dugoročno planiranje rada EES-a, koje je već u praktičnoj primjeni, omogućilo kompleksno i kvalitetno planiranje svih funkcija rada EES-a.

Problem prikupljanja i obrade, odnosno pohranjivanja podataka za potrebe planiranja rada i dalje je prisutan, no u toku je niz aktivnosti koje bi trebale dovesti do sustavnog i jedinstvenog rješenja problema. Velik doprinos je, svakako, instalacija relacijske baze podataka ORACLE, no potrebno je intenzivirati radove oko njezina korištenja.

### LITERATURA

- [1] JELAVIĆ, KLEPO, TOMAŠIĆ, ZELJKO: »Srednjoročno planiranje eksploatacije EES-a«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1989.

## SHORT TERM PLANNING FOR EXPLOITATION OF ELECTRIC POWER SYSTEM

In the article are described base model characteristics for weekly and monthly planning of loads and generations or simulation of daily conditions in electric power system. Usage of that method could result in better quality of several weeks planning operation of electric power system.

## СРЕДНЕСРОЧНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЭС

Описаны основные исходные положения моделей недельного или месячного планирования потребления и притока или представления положения в ЭЭС по дням. Применение такого метода волило бы более качественное многодневное планирование работы ЭЭС.

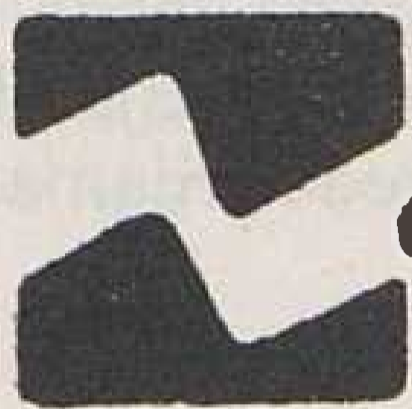
## MITTELFRISTIGES PLANEN DER NUTZUNG DES EES

Hier werden die Grundvoraussetzungen der Modelle zur wöchentlichen oder monatlichen Planung des Verbrauchs und des Zulaufs bzw. der Simulation der Verhältnisse im EES nach Tagen beschrieben. Die Anwendung dieser Methode sollte eine bessere mehrwöchige Planung der Arbeit des EES ermöglichen.

Naslov pisca:

**Mr. Branka Jelavić, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu**  
**Zagreb,**  
**41000 Zagreb, Proleterskih**  
**brigada 37, Jugoslavija**

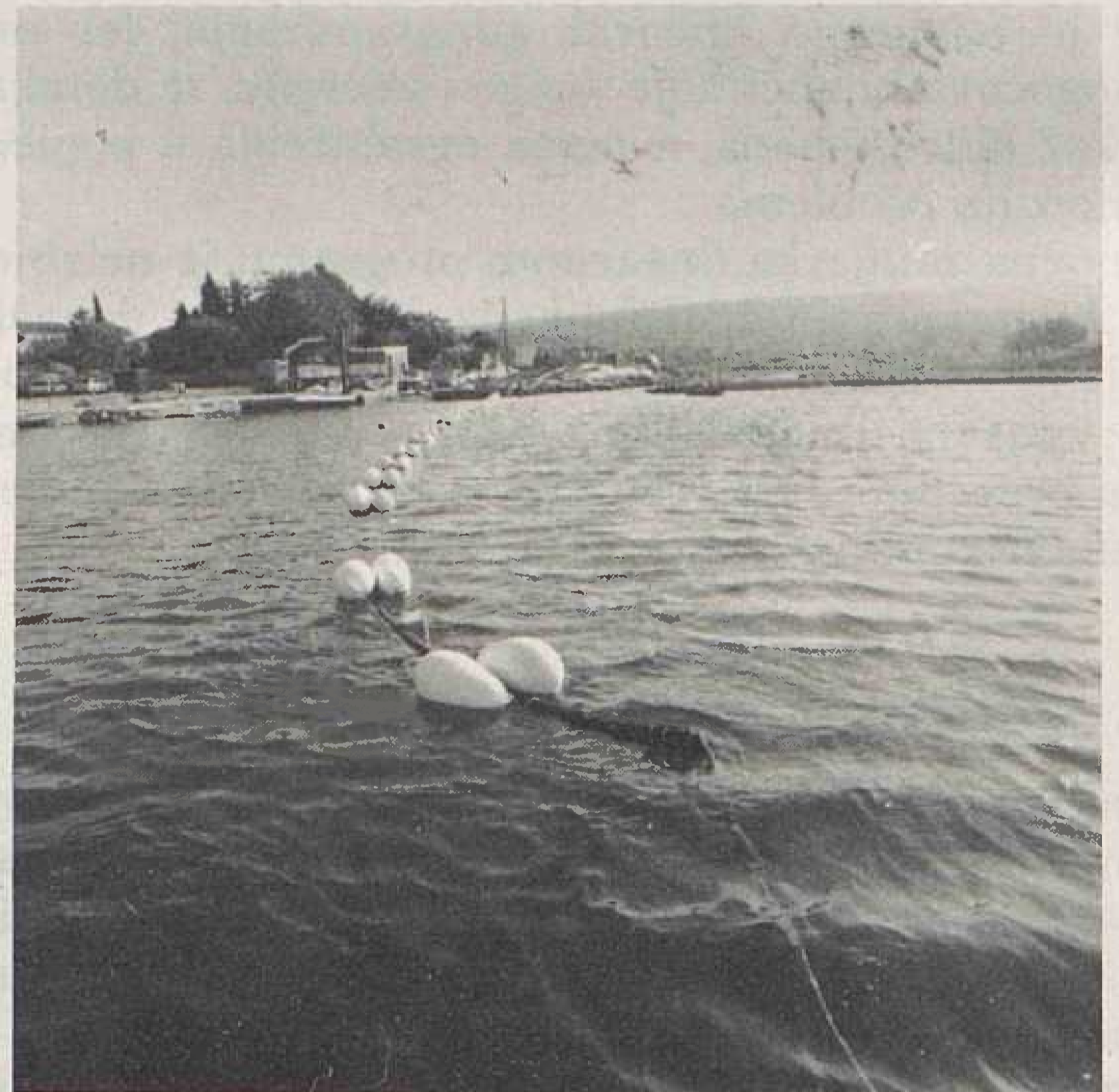
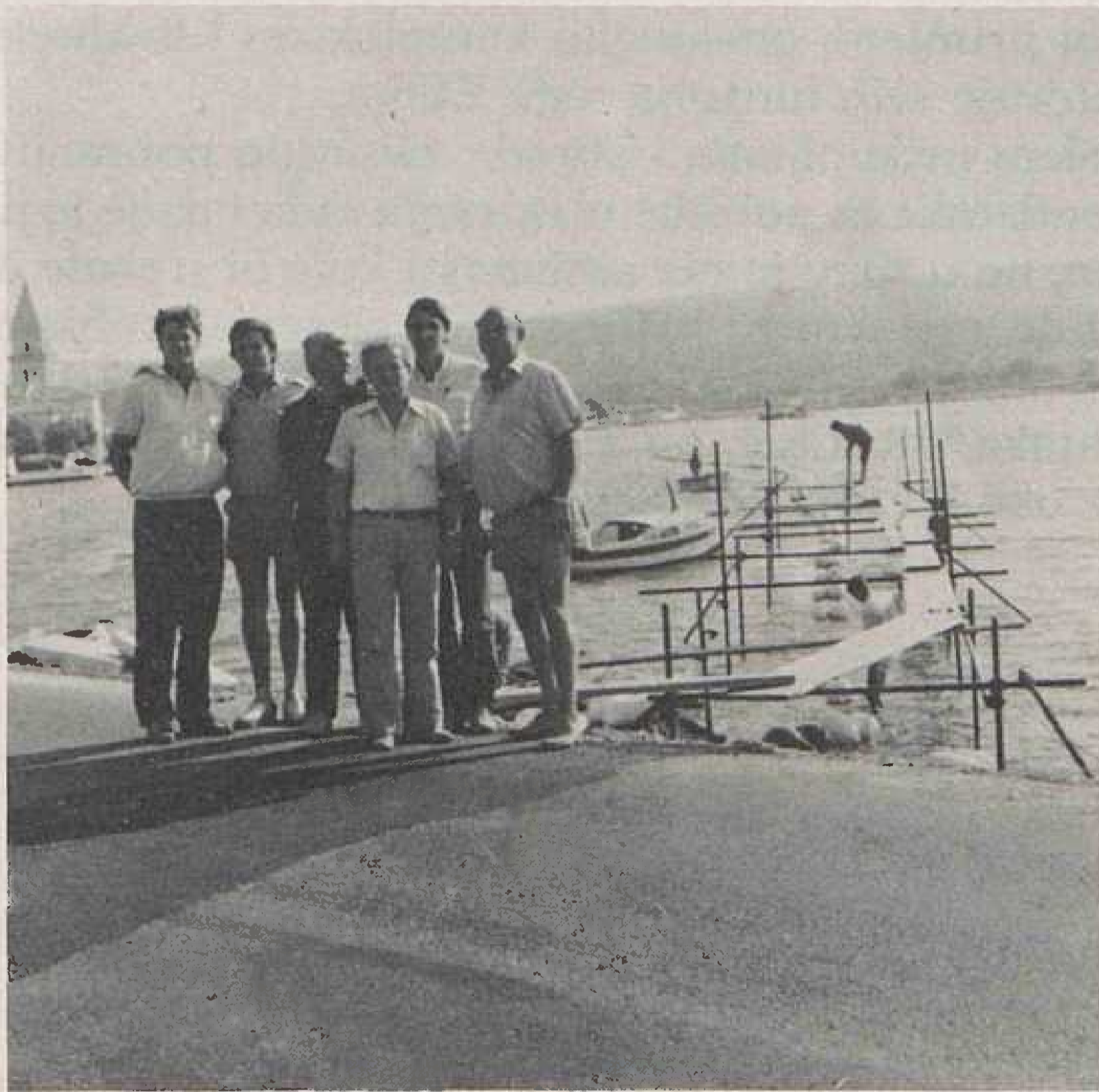
Uredništvo primilo rukopis:  
 1989-6-01



**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**

# ODRAZ REVIZIJE »SOURCE TERMA« NA NEKE SIGURNOSNE ASPEKTE RADA NUKLEARNE ELEKTRANE KRŠKO

Mr. Vladimir Jelavić, Zagreb

UDK 621.039.5

PREGLEDNI RAD

Raspravlja se o historijskom razvoju saznanja vezanih sa »Source Term« te komentira regulatorni aspekt ovog problema u svijetu. Na osnovi pregleda literature ukazuje se općenito na područja u kojima revizija »Source Terma« može imati značajan utjecaj. Za Nuklearnu elektranu Krško, sagledava se utjecaj poboljšane tehničke osnove »Source Terma« na planiranje akcija u nuždi i modifikacije sigurnosnih funkcija.

**Ključne riječi:** inventar, radionuklidi, source term, akcije u nuždi, rasprostiranje radionuklida.

## 1. UVOD

U ovom članku daje se kratak historijat i prikaz postojećih saznanja o akcidentalnom inventaru radioaktivnog ispusta nuklearnih elektrana te ostalim pripadnim parametrima koji ga karakteriziraju (Source Term). Kao izvor potencijalnog ispuštanja promatra se radioaktivnost sadržana u reaktoru nuklearne elektrane. Težište se daje na »Source Term« teških nezgoda koje mogu rezultirati značajnim posljedicama u okolini.

Promatranje je općenito ograničeno na samu problematiku »Source Terma« i posljedica hipotetskih nezgoda, a ne diskutira se o vjerojatnostima njihove pojave. Naravno, u praktičnoj primjeni istraživanja »Source Terma« potrebno je uzeti u obzir vjerojatnost njegova pojavljivanja.

Osnovni cilj članka je da ukaže na područja u kojima današnje razumijevanje akcidentalnog »Source Terma« ima na preispitivanje i reviziju mnogobrojnih praktičnih sigurnosnih aspekata nuklearne elektrane. Specifična područja utjecanja su sljedeća:

- a) korištenje novih raspoloživih saznanja u ovladavanju teškim nezgodama,
- b) utjecaj istraživanja »Source Terma« na planove akcija u nuždi,
- c) sagledavanje mogućnosti koje egzistiraju u postojećim projektima reaktora za sprečavanje ili smanjenje posljedica teških nezgoda i kako to može biti efikasno iskorišteno za utvrđivanje potreba modifikacija te poboljšanja novih rješenja,
- d) poboljšanje kvantifikacije radioloških posljedica hipotetskih teških nezgoda za probabilističke sigurnosne analize i u informiranju javnosti o realnom riziku vezanom za nuklearne elektrane.

Posebna pažnja obratit će se aspektima pod b) i c). Ti će se aspekti komentirati i obzirom na postojeće stanje u Nuklearnoj elektrani Krško. Upozorit će se na putove mogućih i prioritarnih implikacija.

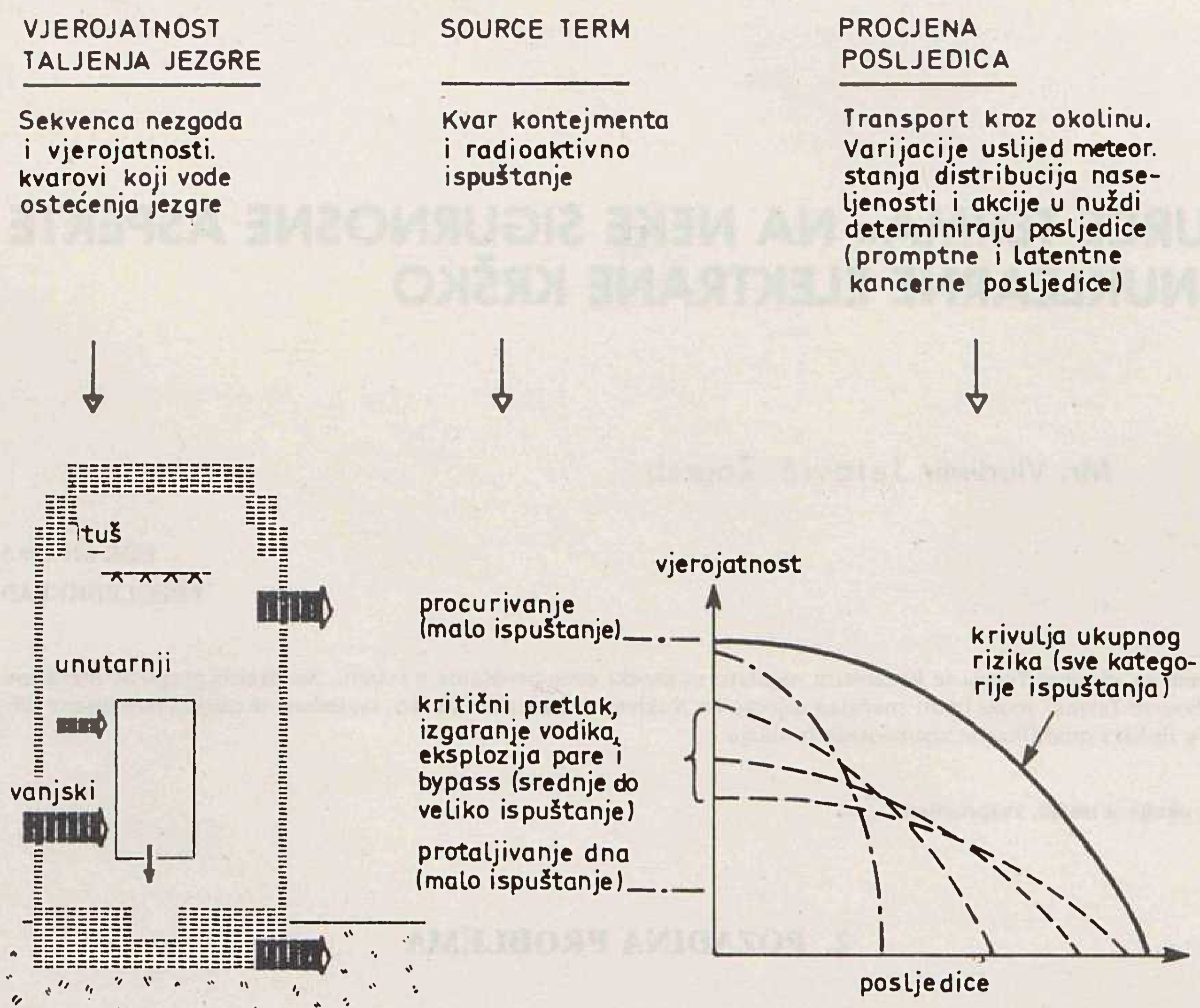
## 2. POZADINA PROBLEMA

U ovom članku »Source Terma« se definira kao količina, vremenski period i karakteristike fizikalne i kemijske kompozicije radioaktivnog materijala koji može biti oslobođen u okolinu u toku reaktorske nezgode. Promatrani raspon nezgoda uključuje one postulirane kao projektne nezgode (DBA i SDBA) i one postulirane kao izvanprojektne ili teške (Severe Accidents), koje mogu dovesti do potencijalnog gubitka funkcije kontejmenta.

Pojednostavljeni shematski prikaz implikacije »Source Terma« u sklopu analiza akcidentalnih stanja dan je na slici 1. Premda uz malu vjerojatnost, pojedine sekvence nezgoda mogu dovesti do oštećenja jezgre reaktora. Oštećenje jezgre s izostankom djelotvornog hlađenja te eventualnim otkazom ostalih sigurnosnih funkcija dovest će do progresije nezgode i ispuštanja radionuklida, ponajprije u reaktorsku posudu i primarni krug, a zatim u prostor kontejmenta. U ovisnosti o težini oštećenja i uspješnosti sigurnosnih funkcija, »Source Term« kontejmenta bit će ispušten u okolinu u rasponu od procurivanja do zaobilazanja (bypasa) ili ispuštanja ukupnog inventara zbog gubitka izolacijske funkcije kontejmenta. Na slici 1. kvalitativno su prikazane krivulje posljedica za spomenuti mogući raspon težine ispuštanja. Kritični put opasnosti je zrak i atmosfera. Kod teških nezgoda u slučaju protaljivanja betona doći će do ispuštanja u tlo i podzemne vode ali će općenito rezultirajuće posljedice ovog ispuštanja biti manje.

## 3. HISTORIJSKI RAZVOJ SAZNANJA O SOURCE TERMU

Radi boljeg razumijevanja pozadine današnjih dilema, korisno je ukratko prikazati historijski razvoj saznanja o »Source Termu«. Razvoj koji se bazira na



Slika 1. Shematski prikaz posljedica akcidenta reaktora

eksperimentalnoj osnovi, iskustvima nezgoda i teorijskim istraživanjima daje se u nastavku po pojedinim bitnim događajima.

#### WASH — 740 (1957. god.)

Od dana razvoja reaktora nuklearnih elektrana pokušala se definirati vjerojatnost akcidenta, »Source Term« i posljedice vezane za potencijalne akcidente. U 1957. godini Brookhaven National Laboratory objavio je studiju WASH-740 »Theoretical Possibilities and Consequences of Major Accidents in Large Nuclear Power Plants«. Studija obrađuje tri akcidentna scenarija kao tipična slučaja. Prvi scenarij rezultira samo direktnim ozračenjem, drugi scenarij tretira ispuštanje hlapivih sastojaka (plemeniti plinovi i halogenidi), a trećim slučajem se pretpostavlja da je 50% fizijskih produkata iz goriva oslobođeno iz kontejmenta. Vjerojatnost tipičnim akcidentima nije pridruživana.

Na osnovi saznanja iz WASH-740 u 1961. godini razvijeni su u SAD regulatorni akti za izbor lokacija definirani u dokumentu 10CFR PART 100. Vezano za PART 100 razvijen je koncept maksimalno moguće nezgode kao mehanizma za valorizaciju prihvatljivosti potencijalnih lokacija i zahtijevanih sigurnosnih funkcija kontejmenta. Koncept maksimalno moguće nezgode razvijen je da bi se postavila granica pri lokacijskim analizama i projektiranju kontejmenta.

#### TID-1484 (1962. god.)

U 1962. maksimalna moguća nezgoda ozakonjena je dokumentom TID-14844 »Calculation of Distance Factors for Power and Test Reactor Sites« [1].

TID Source Term pretpostavlja nezgodu gubitka hladioaca (LOCA) zbog pucanja glavne cijevi hladnog kraja primarnog kruga, a nastavlja se taljenjem goriva i parcijanom oslobađanjem fizijskih produkata u kontejment. Pretpostavljeno je da se iz goriva oslobađa 100% plemenitih plinova, 50% jodovih izotopa i 1% ostalih partikulata. Nadalje je pretpostavljeno da kontejment propušta 1% na dan, što znači da se podrazumijeva njegova puna projektna efikasnost.

Kako je Part 100 omogućio usklađenje projekta nepovoljnim karakteristikama lokacije uz pomoć inženjerskih sigurnosnih funkcija, navedena ispuštanja počela su se koristiti kao projektna osnova za sigurnosne sisteme u kontejmentu. Kako je ta praksa uznapredovala, uočeno je da je pretpostavljeno ispuštanje jodida u atmosferu kontejmenta vrlo konzervativno, ali to je tolerirano da bi se kompenzirale nesigurnosti i vjerojatni nekonzervativizam sadržan u pretpostavci 1% ispuštanja partikulata.

#### USNRC R. G. 1. 4. (1965. god.)

Svjesno vrlo konzervativne pretpostavke vezane za oslobađanje jodida u 1965. godini ugrađene su u poznati R. G. 1. 4. [2]. Ti regulatorni dokumenti uključili su redukciju »Source Terma« jodida za faktor dva, zbog njegova taloženja na stijenkama primarnog sistema i unutarnjim površinama kontejmenta. Dodatno, ozakonjenje su ekspertne ocjene vezane za oslobođenu količinu organske i partikularne forme jodida. O tome će još biti govora s obzirom na to da se analizira najteže projektne nezgode NEK-a zasniva na ovom dokumentu.

### Odluka o studiji utjecaja na okolinu (1971. god.)

U 1971. godini komisija za atomsku energiju SAD objavljuje set pretpostavki za »realističnu« procjenu utjecaja na okolinu nuklearnih elektrana u toku akcidenta. Te pretpostavke, definirane kao aneks dokumentu 10 CFR 50, sadržavale su sistem za klasifikaciju akcidenta u skladu s njihovom težinom i vjerojatnosti pojave. Uspostavljeno je devet klasa akcidenata, od najblažih bez posljedica (klasa 1) do najteže, (klasa 9) s ozbiljnim posljedicama, ali s tako malom vjerojatnosti da se nije propisivala za analizu utjecaja.

Za razliku od namjerno konzervativnog tretiranja akcidenta u sigurnosnim ocjenama NRC-a, procjene utjecaja na okolinu imala je intenciju da bude realistična. Za ilustraciju daju se u tablici 1. za pretpostavke po NRC preporukama, preporukama Zakona o utjecaju na okolinu te vrijednosti koje je bilo moguće ustanoviti nakon nezgode na Otoku tri milje.

### WASH — 1400 (1975. god.)

U 1975. godini objavljena je studija sigurnosti reaktora (WASH — 1400) [3]. Studija je zaključila da

je rizik od akcidenata reaktora mali i da akcidenti mnogo teži od »maksimalno realno zamislivog« (poznat kao klasa 9) imaju dominantni doprinos u riziku. Ti akcidenti ne uključuju samo taljenje jezgre već i gubitak funkcija kontejnenta da zadrži ispuštanje u okolinu. Značajno je da ova studija prvi put uvodi kvantitativne tehnike za ocjenu vjerojatnosti, »Source Terma« i posljedica vezanih za potencijalne nezgode. Prvi put se uvode tehnike stabla kvara i događaja za određivanje vjerojatnosti pojedinih sekvenci koje mogu dovesti do taljenja jezgre reaktora. Dodatno, razvijeni su modeli za fizičko modeliranje procesa pojedinih akcidentalnih sekvenci i s tim u vezi utvrđene veličine, vremena ispuštanja, transporta, depozicije radioaktivnog materijala kroz jezgru i primarni sistem, kontejment i atmosferu okoline.

Dva specifična projekta reaktora analizirana su studijom WASH-1400. PWR reaktor s tri petlje (Surry) i BWR s Mark I projektom (Peach Bottom). Spektrom akcidenata, »Source Term« raznih kategorija s pridruženim vjerojatnostima, određen je za svaki reaktor. U tablici 2. daje se prikaz »Source Terma« za devet različitih kategorija. Oni se mogu raspodijeliti u

Tablica 1. Usporedba ispuštanja nezgode na Otoku tri milje s regulatornim pretpostavkama važećim u to vrijeme

Parametar	Regulatorne pretpostavke		
	Mala LOCA EIS <sup>a</sup>	Velika LOCA SER <sup>b</sup>	TMI-2 <sup>c</sup>
Ispuštanje plemenitih plinova	1%	100%	50 – 70%
Ispuštanje jodida iz goriva	0,5%	50%	40%
Ispuštanje partikulata iz goriva	0%	1%	2 – 3%
Plemeniti plinovi u atmosferi kontejnenta	1%	100%	40 – 60%
Jodidi u atmosferi kontejnenta prije startanja spreja	—	25%	nepoznato
Jodidi u atmosferi kontejnenta nakon spreja	0,25%	1,25%	001%
Partikulati u atmosferi kontejnenta nakon spreja	0%	0%	zanemarivo
Plemeniti plinovi oslobođeni u atmosferu	0,003%	3%	10%
Jodidi oslobođeni u atmosferu	0,00001%	0,04%	00002%
Partikulati oslobođeni u atm.	0%	0%	zanemarivo
Maksimalne doze pojedinaca	< ,005	2,1	< 0,1
Čitavo tijelo (30 dana), rem			
štitnjača (30 dana), rem	< ,005	108	< 0,004
Populacijska doza (80 km), čovjek-rem	< 0,1	—	2000 – 3500

Napomena: Udjeli se odnose na inventar sadržan u jezgri

<sup>a</sup> Final Environmental Statement, Dec. 1976.

<sup>b</sup> Safety Evaluation Report, USNRC, Sept. 1976.

<sup>c</sup> Special Inquiry Group, NRC, Three Mile Island, 1979.

Tablica 2. Kategorije ispuštanja po studiji rizika WASH — 1400 (Surry)

Tip nezgode	Vjerojatnost po reakt. god.	Vrijeme <sup>a</sup> h	Trajanje <sup>b</sup> h	Udio inventar jezgre oslobođen u atmosferu						
				Kr-Xe	I	Cs-Rb	Te-Sb	Ba-Sr	Ru	La
PWR1	9E-7	2,5	0,5	0,9	0,7	0,4	0,4	0,05	0,4	3E-3
PWR2	8E-6	2,5	0,5	0,9	0,7	0,5	0,3	0,06	0,02	4E-3
PWR3	4E-6	5,0	1,5	0,8	0,2	0,2	0,3	0,02	0,01	3E-3
PWR4	4E-7	2,0	3,0	0,6	0,09	0,04	0,01	5E-1	3E-2	4E-4
PWR5	7E-7	2,0	4,0	0,3	0,03	9E-1	5E-2	1E-1	6E-4	7E-5
PWR6	6E-6	12,0	10,0	0,3	8E-4	8E-4	1E-3	9E-3	7E-5	1E-6
PWR7	4E-5	10,0	10,0	6E-1	2E-5	1E-5	2E-5	1E-5	2E-6	2E-7
PWR8	4E-5	0,5	0,5	2E-2	1E-4	5E-4	1E-6	1E-6	0	0
PWR9	4E-4	0,5	0,5	3E-3	1E-7	6E-7	1E-9	1E-11	0	0

<sup>a</sup> Vrijeme od početka nezgode do ispuštanja radioaktivnosti u atmosferu

<sup>b</sup> Vrijeme trajanja ispuštanja

tri grupe akcidenata koji se bitno razlikuju po »Source Termu«.

- taljenje jezgre s izostankom svih sigurnosnih funkcija i brze greške na kontejmentu; direktno oslobađanje u atmosferu (najteža nezgoda, WASH-1400, PWR-1, PWR-2)
- taljenje jezgre uz djelovanje nekih sigurnosnih funkcija s kasnijom greškom kontejmenta; direktno ispuštanje u atmosferu (kao WASH — 1400, PWR-4 i PWR-5)
- taljenje jezgre gdje dolazi do protaljivanja dna reaktora i taljenja betona; ispuštanje se filtrira kroz zemlju (manje ozbiljno, WASH-1400 PWR-7).

Studija WASH-1400 izazvala je široke znanstvene i javne polemike. Uskoro nakon njezina objavljivanja pokrenuti su mnogi znanstveni radovi radi provjere rezultata i utvrđivanja nesigurnosti procjene. Također se prišlo izradi više PRA studija jer je uočeno da WASH-1400 ne pokriva sve varijacije i specifičnosti projekata u praksi. Između ostalog, na osnovama studije WASH-1400 pristupa se izradi njemačke studije rizika i sigurnosnim vjerojatnosnim analizama u drugim evropskim zemljama.

#### Nezgodna na Otoku tri milje (1979. god.)

Bitna točka u razvoju bio je akcident na Otoku tri milje (ožujak 1979). Iskustva stečena na ovom akcidentu bila su vrlo značajna. U tablici 1. dan je prikaz »Source Terma« ove nezgode.

#### Tehnička osnova za reviziju »Source Terma« (1982. god.)

U 1982. godini izdaje se dokument o Tehničkim osnovama za procjenu »Source Terma« [4] u kome se između ostalog komentiraju implikacije novih saznanja na regulatornu praksu u SAD. Osnovna saznanja u to vrijeme mogu se sažeti u sljedećih nekoliko konstatacija (izvadak iz izvještaja o rezultatima istraživanja američkom predsjedniku):

»Istraživači iz laboratorija Los Alamos i Oak Ridge Nat. Lab. utvrdili su neočekivano nizak sadržaj ispuštenih radionuklida I-131 u zraku za vrijeme nezgode u Otoku tri milje i analizirali fenomen ove problematike u dosadašnjim akcidentima u SAD i inozemstvu.

Istraživanja pokazuju da je kod lakovodnih reaktora moguće da se jodid kao fizijski produkt oslobodi u obliku plina, kako se prije pretpostavljalo u Studiji rizika WASH-1400 i ostalim radovima. U reduktivnoj atmosferi, koja će najvjerojatnije biti prisutna nakon akcidenta analize pokazuju da će radioaktivni jodid biti kombiniran sa cezijom otopljeni zajedno u vodi.

Ako se navedeni nalazi u daljnjim fazama potvrde, to će znatno utjecati na promjene regulatornih akata vezanih za lociranje elektrana, planiranje akcija u nuždi, jer će potencijalne ekspozicija okolnog stanovništva u slučaju većih nezgoda biti manja nego što se prije pretpostavljalo.«

Ponovno se ukazuje na tablicu 1, gdje je dan prikaz vrijednosti izračunatih u studijama prije nezgode

TMI i stvarno izmjerenim podacima na TMI. Usporedba je orijentacijska jer je akcident TMI imao nekih specifičnosti koje onemogućavaju relevantnu kvantitativnu usporedbu s akcidentima analiziranim u teorijskim radovima.

#### Generički lokacijski »Source Term« (1982. god.)

Nakon nezgode na TMI i PRA studija za nekoliko elektrana u SAD prišlo se definiranju generičkog »Source Terma«. Svrha je bila da se dotadašnja saznanja eksperimentalnih radova, iskustva akcidenata i korištenja kompjutorskih programa (CORAL I MARCH) iskoriste za moguće promjene kriterije za izbor lokacije. Definiran je set od 5 grupa nezgoda od kojih svaka reprezentira spektar nezgoda sličnog tipa. U literaturi je ovaj »Source Term« poznat pod nazivom »Lokacijski Source Term« (SST1 — SST5). Kratak opis svake kategorije tako definiranog »Source Terma« daje se u nastavku.

- SST5 — Ograničeno oštećenje jezgre. Rad sistema u okviru projektnih limita.
- SST4 — Ograničeno do srednje oštećenje jezgre. Rad sistema sa smanjenom efikasnosti.
- SST3 — Ozbiljno oštećenje jezgre. Protaljivanje dna, sig. sistemi rade
- SST2 — Ozbiljno oštećenje jezgre. Kontejment ne izolira, sig. sistemi rade.
- SST1 — Ozbiljno oštećenje jezgre. Gubitak svih sigurnosnih funkcija.

Udjeli oslobođenih fizijskih produkata koji su pridruženi pojedinoj nezgodi prikazani su u tablici 2.

Premda je veoma mnogo nesigurnosti vezano za razvoj generičkog »Source Terma«, u to vrijeme on je predstavljao najbolju moguću procjenu. Autori su naglašavali da nije jasno da li se ovako uspostavljeni »Source Term« može koristiti za sve namjene. Može se prihvatiti da je ovako definiran dobar za lokacijske aspekte i planiranje akcija u nuždi, a da se pri definiranju sigurnosnih zahtjeva na sisteme treba više osloniti na specifičnosti elektrane.

#### 4. POSLJEDNJA SAZNANJA O »SOURCE TERMU«

Nakon nezgode na TMI-2 povećana pažnja posvećena je detaljima nezgoda. Zbog široke moguće skale i složenosti relevantnih postuliranih događaja, nisu moguća direktna eksperimentalna istraživanja za njihovu karakterizaciju. Umjesto toga složene sekvence događaja modeliraju se sa setom jednostavnijih fenomena komponenti. Provode se eksperimentalni programi da bi se okarakterizirali događaji u mogućim različitim kombinacijama tih fenomena u postuliranim događajima. Bolje razumijevanje pojedinih fenomena omogućeno je njihovim opisivanjem uz pomoć kompjutorskih programa koji su omogućili i njihovo sintetiziranje u lance koji predstavljaju sekvence stvarnih akcidenata.

Kod mnogih organizacija u toku su značajni istraživački programi na razvoju analitičkih modela, za osiguranje tehničkih podataka za modeliranje.



U SAD glavni naponi se ulažu u laboratorijima Bettel Columbus Lab., Sandia Nat. Lab., Oak Ridge Lab., i Brookhoven Nat. Lab., pod sponzorstvom NRC-a, i industrijskog programa za istraživanje degradacije jezgre. U tim naporima analizirane su mnogobrojne slične akcidentalne sekvence za više odabranih američkih projektnih rješenja elektrana. Značajan rezultat je programski paket Source Term Code Package (STCP) koji NRC u posljednje vrijeme preporučava za definiranje inventara ispusta specifičnih za elektranu.

U Evropi analize se provode za samo neke sekvence nezgoda. Naprimjer, u SR Njemačkoj provodi se analiza za sekvence nezgoda koje imaju dominantnu kontribuciju riziku. U nekim od takvih primjera, posebno za slučajeve kasnije greške kontejmenta, izračunata ispuštanja radionuklida vrlo su mala i teško usporediva s rezultatima američkih istraživanja zbog toga što se projekt kontejmenta znatno razlikuju za iste projektne tipove elektrane. U Velikoj Britaniji provode se značajna istraživanja i analitički proračuni za postuliranje nezgode PWR-elektrane Sizewell. Francuske studije analiziraju svoje PWR-elektrane, Švedske BWR-elektrane.

Osim navedenog mnoge druge zemlje provode istraživanja i sudjeluju na makroprijektima internacionalnih organizacija radi bolje karakterizacije svih mogućih sekvenci akcidenata.

Posljednja četiri izvještaja vezana za status o »Source Terma« objavljena su u SAD.

1. Revizija tehničke osnove za procjenu »Source Terma« [6],
2. Izvještaj američkog društva fizičara [7],
3. Izvještaj programa industrije za degradaciju jezgre [8],
4. Izvještaj američkog nuklearnog društva [9].

Pregledom navedenih izvještaja mogu se konstatirati mnogobrojna generalna podudaranja koja se sumarno iznose u nastavku, s naznakom problema koji ostaju otvoreni.

1. Znanan napredak napravljen je od 1975. u razvoju znanstvene osnove i proračunskih mogućnosti za procjenu »Source Terma«. Bez obzira na to, još ima neizvjesnosti vezanih za informacije o »Source Terma«. Detaljna istraživanja potrebna su za objašnjenje faktora kao što su prirodna cirkulacija u reaktorskoj posudi, progresija taljenja jezgre, nastajanje vodika, moguće oslobađanje nehlapivih radionuklida pri interakciji rastaljene jezgre i betona, taloženje i ponovno isparavanje fizijskih produkata u sistemu hlađenja reaktora, distribucija veličine aerosola, efikasnost ispiranja tuševa i mehanizmi greške na kontejmentu (tlačna opterećenja i oblici grešaka).
2. Rizik za stanovništvo od glavnine teških nezgoda, posebno rizik zbog jodida, bit će ispod onog određenog u prijašnjim studijama.
3. Za mnoge akcidentalne sekvence »Source Term« fizijskih produkata vjerojatno će biti niži od onog izračunatog u prethodnim studijama. To se smanjenje može pridružiti sljedećim osnovnim faktorima:

- a) saznanju da je kontejment reaktora jači nego što je pretpostavljeno ranije i da će zbog toga, ako uopće dođe do njegove greške, ona nastupiti kasnije,
- b) uključivanju u modeliranje prije zanemarivih fizičkih i kemijskih fenomena koji bi mogli dovesti do taloženja i izdvajanja fizijskih produkata,
- c) uključivanju dodatnih područja (pomoćna zgrada, prostora za sniženje tlaka, hladnjaka itd.) koji će izdvojiti radionuklide mnogo efikasnije nego što se prije pretpostavljalo.

4. Za jod se sada smatra da će biti u formi cezij-jodida umjesto elementarnog joda. Prisutnost CsI mnogo je vjerojatnija zahvaljujući termodinamičkim procesima i činjenici da je cezijum kao fizijski produkt prisutan u gorivu u deset puta većoj količini od joda. Elementaran jod, međutim, može i dalje biti prisutan u određenim uvjetima atmosfere kontejmenta.

5. Telirij je drugi važan fisioni produkt čije je ispuštanje u strogoj ovisnosti o kemijskom sastavu okoline. Zadržavanje telirija gorivom za vrijeme ispuštanja i oksidacije košuljica goriva u pojedinim sekvencama može dovesti njegova oslobađanja u količinama većim od cezija i jodida.

6. Sekvence i detalji elektrane bitni su za procjenu specifičnog, »Source Terma« elektrane. Rezultati dobiveni analizama različitih sekvenci na mnogobrojnim različitim elektranama pokazali su da je veoma teško karakterizirati »Source Term« PWR-elektrana uz pomoć jedne tablice numeričkih vrijednosti ili pridruživati rezultate s jedne elektrane na drugu bez pažljivog ispitivanja specifičnih detalja projektnih sistema elektrane, projekta komponenti, strukturalnih detalja te efikasnosti i pouzdanosti sistema.

Analize provedene u posljednjim studijama ne tretiraju sve tipove reaktora ili sve tipove kontejmenta s jednakom detaljizacijom. Potrebno je stoga nastaviti sa studijama različitih tipova elektrana i akcidentalnih sekvenci.

7. Područje velike nesigurnosti je interakcija taljenog materijala jezgre s betonskim temeljom nakon protaljivanja reaktorske posude. Nastavak eksperimenata kao i naponi za modeliranje očekuju se da će reducirati značajni nivo nesigurnosti vezanih uz današnje procjene.

Kako je već spomenuto, nova saznanja »Source Terma« imaju odraz na više područja: ovladavanju akcidentom, planiranju akcija u nuždi, modifikaciji projektnih rješenja i procjeni rizika itd. U nastavku daje se osvrt na područje planiranja akcija u nuždi.

## 5. UTJECAJ NA PLANIRANJE AKCIJA U NUŽDI

U projektu elektrane i pogonskim procedurama uložen je realno mogući napor da se izbjegniju mogući akcidenti i da se ograniče posljedice od bilo koje nezgode koja se može dogoditi. Međutim, bez obzira na sve ugrađene funkcije i mjere, zbog opreza prihvaće-

na je izrada planova u nuždi za samu lokaciju i izvan nje, i to za svaki akcident koji se može dogoditi u elektrani. Takvi planovi u nuždi razlikuju se od zemlje do zemlje, ali obično sadrže detaljne planove specifičnih mjera (zaklanjanje, evakuacija, kontrola kontaminiranih namirnica itd) na određenim udaljenostima, s manje detaljnim planovima za veće udaljenosti.

U pripremi planova u nuždi operateri i ovlaštene organi obično imaju na umu ograničeni broj »referentnih akcidenata«. Plan je izrađen obično na taj način da odgovara ispuštanjima uz takve referentne accidente.

Premda se to malokad iskazuje, evidentno je da se pri izboru akcidenata vodi briga o vjerojatnosti akcidenata i vjerojatnostima posljedica. Po nekim nagovještajima može se očekivati da će nastavak istraživanja na teškim nezgodama osigurati adekvatnu osnovu za donošenje odluke da je vjerojatnost najtežih nezgoda (eksplozija pare i pucanje kontejmenta) tako mala da ih nema smisla uključivati u planove u nuždi. Takva pozicija već je usvojena u nekim zemljama. Međutim negdje, kao što je u Francuskoj i Njemačkoj, uvode se modifikacije, odnosno dopune projekta za smanjenje vjerojatnosti takve greške. Ugrađuju se filtri visoke efikasnosti za jodne izotope i partikulate koji su priključeni na sigurnosne tlačne ventile kontejmenta, čime se u potpunosti izbjegava mogućnost pucanja kontejmenta zbog prevelikog pritiska.

Veća je vjerojatnost da će se pojaviti neki tipovi akcidenata, iziskuju potrebu da oni budu uključeni u planove u nuždi. Uzroci tih akcidenata su:

- a) povećano procurivanje kontejmenta,
- b) greška u izolaciji kontejmenta,
- c) zaobilazanje (bypass) kontejmenta,
- d) kasnije greške kontejmz zbog prevelikog pritiska.

Nova saznanja raspoloživa o »Source Termu« imaju važne implikacije na sve ove akcidentalne sekvence.

### Produljenje vremenskog perioda do greške kontejmenta

Istraživanja pokazuju da detaljno planiranje u nuždi nije potrebno u slučaju kasnije greške kontejmenta zbog prevelikog tlaka (za neke tipove reaktora). Ako je kontejment inicijalno netaknut, procurivanje kontejmenta odlazi u okolinu predviđenim ispusnim sistemom kroz filtre i ventilacijski otvor.

Jedan opće prihvaćeni zaključak koji proizlazi iz različitih »Source Term« studija je taj da je za većinu akcidentalnih sekvenci najveći jedinstveni utjecajni faktor ponašanje kontejmenta. Porast pritiska je sporiji i kontejment je jači nego što se prije pretpostavljalo, i zbog toga će doći do njegova kvara, ako uopće dođe, kasnije no što se prije pretpostavljalo. To produženo vrijeme do mogućeg kvara ima kao posljedicu tri bitne implikacije:

- a) Daje se operaterima elektrane više vremena u kojem će pokušati povratiti normalan tok i spriječiti eventualni kvar kontejmentima.

- b) Ima mnogo više vremena za prirodne i pasivne procese koji umanjuju djelovanje. Nekoliko mehanizama dovodit će taloženja radionuklida na površini u primarnom sistemu i kontejmentu, a količina oslobođene radioaktivnosti u okolinu bit će zbog toga manja nego što se prije očekivalo.
- c) Predviđeno vrijeme za pojavu moguće greške daje više vremena za akcije planova u nuždi, na lokaciji i izvan nje.

### Zaobilazanje kontejmenta

Drugi važan rezultat istraživanja »Source Terma« jest taj da predviđanje »Source Terma« kad kontejment nije izoliran ili kad je zaobiden, u velike ovisi o detaljima kvara. Zaobilazak kontejmenta specifičan je za svako projektno rješenje reaktora i posebno je da se utvrdi za svaku elektranu. Kada je sekvenca utvrđena, njezina vjerojatnost i posljedice mogu obično biti umanjene s nekoliko jednostavnih koraka. Međutim, čini se nemogućim da se vjerojatnost zaobilazanja kontejmenta može smanjiti na zanemarivi nivo, pa je zbog toga potrebno da posljedice za taj događaj budu sagledavane u sklopu planova akcija u nuždi. Bez obzira na to, općenito je prihvaćeno da će radiološke posljedice zbog zaobilaska kontejmenta biti manje nego što se predviđalo, a to se argumetnira slijedećim:

- a) Zaobilazak kontejmenta će se u nekim slučajevima desiti kroz vodni ili parni put, tako će se smanjiti količina nehlapivih fizijskih produkata.
- b) Fisijski produkti najvjerojatnije će biti zastupljeni u većoj mjeri no što se ranije mislilo u različitim dijelovima puta ispuštanja.

### Različiti tipovi ispuštenih radionuklida

Treći zaključak iz istraživanja »Source Terma«, koji je bitan za planiranje akcije u nuždi, jest da uključivanje prije zanemarivanih fizičkih i kemijskih fenomena može često dovesti do značajnog smanjenja fizijskih produkata u primarnom sistemu, kontejmentu, i da će nivo oslobađanja radionuklida zbog toga biti različit od onog što se ranije pretpostavljalo. Smatra se da potencijalno ispuštanje plemenitih plinova kriptona i ksenona nije bitno različito od onog pretpostavljenog u studiji WASH-1400, s tim što će radioaktivni raspad umanjiti »Source Term« zbog produženog vijeka kontejmenta. Studija Američkog društva za fiziku pokazala je da je redukciju s faktorom 5 za ispuštanja između 2 i 24 sata.

Kemijska forma fizijskih produkata više favorizira taloženje nego ispuštanje.

Kako je već rečeno, očekuje se da će cezijev jodid (CsI) biti dominantna forma oslobođenog jodida i sada se smatra da će jod biti u formi cezijevog jodida više nego u formi elementarnog joda.

Zbog termodinamičkih faktora i činjenica da ga je u gorivu deset puta više od joda, vjerojatnije je da će u kontejmentu egzistirati CsI (ima mali parcijalni tlak i veliku topivost u vodi). Smatra se da će cezij koji neće reagirati s jodom, reagirati s parom i tako formirati cezijev hidroksid (CsOH). Elementarni jod

može također biti prisutan u nekim stanjima atmosfere kontejmenta.

Elementaran jod je zamijećen eksperimentalno kao posljedica izgaranja vodika u prisutnosti aerosola koji sadrže CsI.

Jodova sklonost da reagira s organskim materijalima u formiranju ishlapivih organskih spojeva vjerojatno će definirati granicu ispuštanja joda zbog toga što proces ispiranja koji bi smanjili koncentraciju u zraku cezijeva jodida i drugih aerosola nisu efektivni za organsku formu joda. Proces formiranja organskog jodida i raspon oslobađanja ostaje nesiguran. Telurij je drugi važan fizijski produkt koji je veoma ovisan o kemijskoj okolini. On je ekstremno radioaktivan materijal koji formira spojeve s neoksidiranim cirkalijem i ostaje u rastalini jezgre tako dugo dok se većina košuljica ostaje neoksidirana. Za vrijeme oksidacijskog procesa izvan posude reaktora može se računati da će za neke akcidentalne sekvence telurijevo ispuštanje biti veće od jodovog.

Zbog navedenog postoje jake indikacije na temelju posljednjih istraživanja da će »Source Term« za nekoliko najvažnijih izotopa (I, Cs i Te) u mnogim važnim sekvencama biti manji nego što se iskazalo u WASH-1400. Također, istraživanja, odnosno neki proračuni upućuju na mogućnost da neki fizijski (oslobađanje nehlapivih sastojaka za vrijeme interakcije jezgre i betona) mogu povećati »Source Term« nekih radionuklida iznad prije poznatih vrijednosti.

Usprkos nesigurnostima postoji osnova da se odgovorni za reviziju pozabave stavovima o radionuklidima joda u planovima u nuždi. U nekim dijelovima to bi moglo imati važne implikacije na aktivacijske nivoe koji se koriste kod planova u nuždi, na tipove uređaja za monitoring, na preporuke vezane za korištenje potazijeva jodida i drugih preventivnih lijekova. Treba imati na umu da je pouzdani monitorig na lokaciji u slučaju velikog procurivanja kontejmenta i za ispuštanje kroz pomoćnu zgradu obično neodrživ. Čini se također potrebnim da se revidiraju zaštitne mjere u nuždi, uključujući zaklanjanje, evakuaciju ili zaštitu od udisanja, i da se revidiraju udaljenosti gdje se te mjere primjenjuju. Sredstva i procedure za ograničenje ekspozicije operatera i timova na lokaciji u toku nezgode trebalo bi također u tom smislu podvrći reviziji.

Iz dosadašnjih istraživanja »Source Terma« neki istraživači zaključuju da se drugi aspekt planiranja koji bi mogao biti podvrgnut promjeni odnosi na kriterije pretpostavljene za kontroliranje namirnica. U mnogim sekvencama ne bi trebalo biti više adekvatno da se smanjenje doza temelji na kontroli kontaminiranog mlijeka ako se očekuje da radiojodidi neće biti oslobođeni u znatnim količinama. Možda bi trebalo razmotriti da li je transfer fizijskih produkata kroz putove u okolini i kroz biološke sisteme potrebno revidirati u svjetlu poboljšanog razumijevanja kemijskih i fizikalnih formi oslobođenih radionuklida. Drugi stručnjaci odbijaju tako dalekosežno zaključivanje. Usprkos tim razlikama čini se da je primjerenost revidirati planiranje u nuždi posebno za accidente za koje je početak ispuštanja pomaknut u odnosu na prethodne spoznaje. To zahtijeva fleksibilan od-

govor u mjerama u nuždi, u skladu s aktualnim prevladavajućim okolnostima.

Drugi relativno dobro ustoličeni nalazak istraživanja »Source Terma« jest da će gotovo sve sekvence s ispuštanjima iz kontejmenta biti produžene za značajni vremenski period, što će utjecati na pripremu i primjenu planova u nuždi.

Kao zaključak treba reći da se ne očekuje da će nalazi istraživanja voditi promjeni zahtjeva za potrebom planova u nuždi, koji su u temeljeni na potrebi da se osiguraju da svi mogući koraci budu poduzeti radi smanjenja posljedica za bilo koju nezgodu koja se može dogoditi.

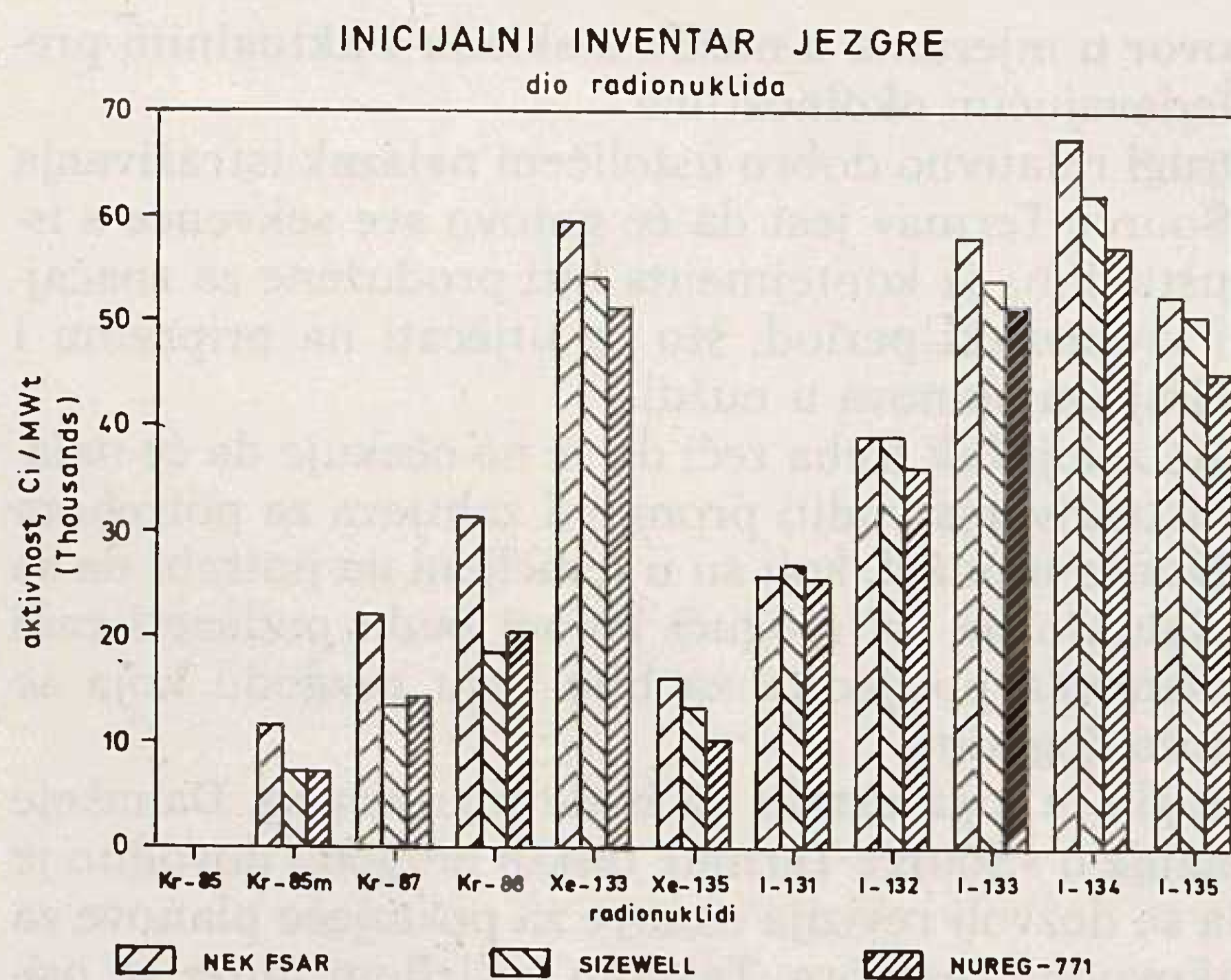
Moglo je toga ostalo da bude razriješeno. Današnje znanje o »Source Termu« teških nezgoda dovoljno je da se dozvoli revizija osnove za postojeće planove za lakovodne reaktore. Takvom revizijom može se osigurati da planovi u nuždi ne reflektiraju samo postojeća saznanja o mogućim mješavinama oslobođenih fizijskih produkata u većim nezgodama, njihovoj fizikalnoj i kemijskoj formi, nego također i očekivanje da će greška kontejmenta, ako se ona dogodi, biti odužena za neko vrijeme. Za neke tipove reaktora mjere u nuždi nisu apsolutno potrebne ako kontejment ne izgubi svoj integritet i ako je izbjegnuto značajno procurivanje. Više pažnje trebalo bi pridati implikacijama mogućeg bypasa kontejmenta, prijevremenog otvaranja i greške izolacije u planiranju akcija u nuždi.

## 6. IMPLIKACIJE NA NUKLEARNU ELEKTRANU KRŠKO

### 6. 1. Analiza stanja

Definiranje Source Terma težih nezgoda započinje s proračunom inventara fizijskih elemenata sadržanih u jezgri reaktora. Na osnovi inventara jezgre određuje se inventar unutar reaktorske posude i inventar ispušten u prostor kontejmenta. Ovisno o vrsti akcidentalne sekvence doći će do ispuštanja dijela inventara jezgre ili dijela inventara međuprostora goriva i košuljica. Uobičajan potencijalan put radionuklida do ispuštanja u okolinu jest iscurivanje u primarni hladilac, iscurivanje u kontejment i prozivanje u sekundarni kontejment. Sekvencama nezgoda gdje dolazi do interakcije protaljene jezgre i betona doći će do direktnog puta radionuklida u atmosferu kontejmenta ili do vanjske atmosfere.

Inventar jezgre reaktora nuklearne elektrane Krško dan u FSAR-u procjenjen je na osnovu preporuka danih u dokumentu TID-14844. Kako je već u poglavlju diskutirano, ovaj dokument prihvatio je 1962. godine NRC kao važeći za lokacijske aspekte i procjene utjecaja u uvjetima velike LOCA-nezgode. Na slici 2. daje se prikaz inventara jezgre NEK-a iz FSAR-a izražen po jedinici toplinske moći reaktora. Za orijentaciju prikazane su razlike za neke dugotrajnije nuklide u odnosu na najnovija tehnička rješenja Westinghouse elektrane (Sizewell) i u odnosu na tipičan inventar dan u dokumentu NUREG-771 koji tretira reviziju i koji se preporučuje za utvrđivanje »Source Ter-



Slika 2. Inicijalni inventar jezgre

ma« spektra SST-nezgoda. Prikazani inventar Sizewella predstavlja srednju vrijednost trećine goriva različitih starosti u ciklusu izmjene i tretira 57 radionuklida u odnosu na 17 u FSAR-u. Iz tablice se može uočiti da su vrijednosti za NEK uglavnom više od Sizewella, da se značajne razlike pojavljuju jedino za plemeniti plin Kr i Xe. Opći zaključak bio bi da razlike nisu tako bitne da bi im trebalo dati veću važnost. Nova saznanja, komentirana u prethodnim poglavljima, odnose se na zbivanja nakon što je nastupila nezgoda, i to uglavnom izvan jezgre u primarnom hladioču i atmosferi kontejmenta.

Najteža projektna nezgoda gubitka primarnog hladioča iz FSAR-a Krškog zasniva se na pretpostavkama o »Source Terma« iz R. G. 1. 4., koji je proizašao iz spomenutog TID-1488 dokumenta. Osnove pretpostavke vezane sa »Source Term« jesu:

1. 25% inventara joda sadržanog u jezgri bit će ispušteno u atmosferu kontejmenta.
2. od 25% ispuštenog joda 91% bit će u obliku elementarnog joda
  - 4% u organskoj formi,
  - 5% u obliku partikula
3. 100% plemenitih plinova bit će raspoloživo za iscurivanje kroz kontejment.

Revizija »Source Terma« imat će potencijalni utjecaj na ukupnu količinu forme jodida pretpostavljenog da iscuruje iz kontejmenta. Inventar plemenitih plinova neće biti zahvaćen promjenom. Preciznije, po-

trebna je promjena odnosa između elementarnog, organskog i jodida u obliku partikulata. Kako je već rečeno, osnovna promjena je smanjenje elementarnog jodida i povećanje udjela partikulata (aerosola). Doći će do promjene organskih oblika jodida, ali u manjem opsegu.

U tablici 2. prikazani su odnosi udjela ispuštenog inventara jezgre u atmosferu okoline za različite postulirane lokacijske sekvence nezgoda. Bilo bi korisno za nuklearnu elektranu Krško provjeriti odnose tih ispuštanja po pojedinim radionuklidima s ispuštanjima izračunatim programom AXIDENT koji je primijenjen za pojednostavljenu simulaciju ispuštanja radionuklida u toku najteže projektne nezgode NEK-a. Također analizom osjetljivosti treba odrediti raspon u posljedicama u ovisnosti o promjenama parametara s još uvijek prisutnim neizvjesnostima.

U dokumentu NUREG-771, koji govori o mogućim implikacijama navedene revizije, napominje se da se povećanje udjela CsI u formi aerosola može odraziti na povećanje kratkotrajne doze na granici same lokacije, odnosno nešto veće udaljenosti zahvata ekskluzivne zone od one određene za NEK. Isti materijal ukazuje na velik utjecaj promjene polaznih pretpostavki. Tako, naprimjer, za SST spektrove nezgoda cezija ima kontribuciju u rasponu od 10 do 90%.

## 6.2. Planiranje akcija u nuždi NEK-a

O mogućim implikacijama revizije Source Terma na planiranje akcija u nuždi općenito je raspravljalo u 5. poglavlju. Za sada je realno postaviti zadatak da planovi akcija u nuždi budu temeljeni na generičkom spektru nezgoda. Najpogodnija polazna osnova jest spektar tzv. lokacijskih nezgoda (SST1 do SST5). Ovaj generički spektar trebalo bi dopuniti u smislu obuhvata što je moguće više specifičnosti NEK-a i uvažavajući što je moguće više potvrđena saznanja stečena u posljednjim istraživanjima.

Treba istaći da u SAD regulativa više ne preporučava korištenje generičkog »Source Terma«, već primjenu u tu svrhu razvijenog programskog paketa (Source Term Code Package — STCP pretpostavlja više kompjutorskih programa za praćenje fizičko-kemijskih pojava pri različitim sekvencama nezgoda. Programi STCP-a koriste ekstenzivne banke podataka rezultate eksperimentalnih istraživanja. Njihova je osnovna svrha procjena »Source Terma« specifičnog za promatranu elektranu jer je općeprihvaćeno mišljenje

Tablica 3. Procentualni udio ispuštanja inventara sadržanog u jezgri za različite spektre postuliranih nezgoda

Spektar	Kr-Xe	I	Cs-Rb	Te-Sb	Ba-Sr	Ru	La
SST1	100	30-70	30-70	30-70	1-10	1-40	,1-5
SST2	90	,1-1	,1-1	,1-1	,01-1	,01-1	,001-01
SST3	,1-10	,01-1	,01-1	,01-1	0,01-1	0,001-1	,0001-0001
SST4	3E-4	1E-5	5E-5	1E-7	1E-9	0	0
SST5	3E-5	1E-6	5E-6	1E-8	1E-10	0	0

### NUREG-771

SST5 — Ograničeno oštećenje jezgre. Rad sistema u okviru projektnih limita.

SST4 — Ograničeno do srednje oštećenje jezgre. Rad sistema sa smanjenom efikasnosti.

SST3 — Ozbiljno oštećenje jezgre. Protaljšivanje dna, sig. sistemi rade

SST2 — Ozbiljno oštećenje jezgre. Gubitak svih sigurnosnih funkcija.

da generički »Source Term« nije adekvatan, bez obzira na to bio on i konzervativan. S obzirom na složenost ovog programskog paketa, koji je dijelom verificiran, ali još uvijek u intenzivnom razvoju i činjenicu da traži znatni stručni potencijal, njegova praktična primjena u skorašnje vrijeme nije moguća za NEK. Trebalo bi, međutim, početi s edukacijom na ovom programskom paketu kako bi se on mogao primijeniti u idućih godinu-dvije. Za to će vrijeme zasada prisutne neizvjesnosti u pojedinim područjima biti riješene. Također će u tom razdoblju biti vjerojatno dovršene PRA-analize prvog stupnja NEK-a. STCP koristio bi se za definiranje »Source Terma« sekvenci nezgoda obuhvaćenih vjerojatnosnom sigurnosnom analizom sistema NEK-a, čime bi se dobile realne krivulje rizika i mogle definirati optimalne mjere u planovima akcija u nuždi.

### 6.3. Modifikacije sigurnosnih sistema

Generalno prihvaćeno mišljenje koje proizlazi iz rezultata istraživanja »Source Terma« jest da današnji sigurnosni sistemi ugrađeni u PWR-elektrane projektnih obilježja. Posebnu ulogu u prevenciji od najtežih posljedica pritome ima izolacijska sposobnost kontejmenta. Pojedine modifikacije i promjene moguće su i poželjne, ali one nemaju znatnog odraza. Naprimjer, zbog smanjenog elementarnog jodida postavlja se pitanje potrebe NaOH otopine u tuš-sistemu koja može biti nepoželjna sa stajališta opreme u kontejmentu.

U nekim zemljama (Švedska, Francuska i SR Njemačka) započelo se s ugradnjom filtra za rasterećenje tlaka kontejmenta, čime se praktično sprečavaju najveće moguće nezgode pucanja kontejmenta. Tehnički je cilj ovakvih sistema svesti ispuštanja jodida na 0,1 % inventara pri najtežim nezgodama. Treba istaći da je izvođenje ovih modifikacija u suprotnosti sa novih saznanjima o mogućnosti kontejmenta da dulje izdrži najveća opterećenja. Modifikacije su više posljedica pritiska javnosti, koja je obično usmjerena na nezgode potencijalno najvećih posljedica, a zanemaruje vjerojatnost njihove pojave. Na taj način uz prihvatljivo visoka ulaganja praktično se eliminiraju najteže moguće nezgode.

## 7. ZAKLJUČAK

Posljednja saznanja o akcidentalnom »Source Termu« nuklearnih elektrana pokazuju neke bitne razlike u odnosu na prethodne spoznaje. Prekretnica i poticaj istraživanja bio je akcident na Otoku tri milje, otkada se više pažnje posvećuje specifičnostima projekta i realističnim simulacijama sekvenci nezgoda, koristeći se rezultatima eksperimenata i složenih proračuna. Opći zaključci mogu se svesti u nekoliko stavaka:

— Dominantna forma joda nije elementarni jod već cezijev jodid (CsI).

- Mogućnost kontejmenta da održi pritisak u najtežim nezgodama veća je nego što se prije predviđalo.
- Uključivanje u razmatranje realnih fizičkih i kemijskih pojava u znatnoj mjeri je reduciralo »Source Term« raspoloživ za ispuštanje.
- Generički »Source Term« nije adekvatan; potrebno ga je razviti specifično za elektranu.
- Općenito, utjecaj postuliranih nezgoda manji je nego se prije pretpostavljalo.
- Potrebna su mnogobrojna teorijska i eksperimentalna istraživanja s internacionalnom suradnjom radi ovladavanja problemom »Source Terma«.

Navedeno ima odraza na sigurnosne aspekte rada nuklearne elektrane kao što su operatorske procedure u toku nezgode, priprema planova evakuacije, uvođenje dodatnih sigurnosnih funkcija, modifikacije postojećih rješenja itd. Promatrajući NEK, saznanja istraživanja »Source Terma« trebala bi se prioritetno odraziti na planove akcija u nuždi, koji su upravo u fazi revizije. Od sigurnosnih sistema posebnu pažnju treba usmjeriti na izolacijske sposobnosti kontejmenta. Usporedo, trebalo bi krenuti s edukacijom rada sa suvremenim kompjutorskim programima za procjene »Source Terma« specifičnog za NEK koji će biti potreban u svim narednim analizama posljedica, rizika i provjere sigurnosnih sistema elektrane.

## LITERATURA

- [1] TID-14844, »Calculation of Distance Factors for Power and Test Reactor Sites«, USNEC, March 1962.
- [2] Regulatory Guides 1.4: Assumptions Used for Evaluating the Potential Radiological Consequences of Loss of Coolant Accidents for PWR, 1965
- [3] Reactor Safety Study, An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants, Wash-1400, Oct. 1975.
- [4] U.S. NRC NUREG-0772: Technical Bases for Estimating Fission Product Behavior During LWR Accidents, Washington 1981
- [5] U.S. NRC NUREG-0771: Regulatory Impact of Nuclear Reactor Accident Source Term Assumptions, Washington 1981
- [6] USNRC: Reassessment of the Technical Bases for Estimating Source Terms, NUREG-956, Washington 1986.
- [7] Report to the American Physical Society of the Group on Radionuclide Release from Severe Accidents at Nuclear Power Plants, Mod. Phys., 1985.
- [8] The Report of the Industry Degradet Core Rulemaking Program (IDCOR), Nuclear Power Plant Response to Severe Accidents, 1984
- [9] American Nuclear Society, The Report of the Special Committee on Source Term, ANS New York, 1985
- [10] IAEA-TECDOC-451: Some Practical Implications of Source Term Reassessment, Viena 1988.

**A REFLECTION OF »SOURCE TERM« REVISION ON SOME OPERATIONAL SAFETY ASPECTS OF NPP KRŠKO**

In the article is discussed about historical development of knowlage related to »Source Term« and it is commented a regulatory aspect of that problem in the world. On the review of relevant literature there are pointed out most interesting areas in revision »Source Term«. For NPP Krško is considered influence of improved technical base »Source Term« on the planing of emergency actions and safety system function modification.

**ОТРАЖЕНИЕ ПЕРЕСМОТРА »SOURCE TERMA« НА НЕКОТОРЫХ ДОСТОВЕРНЫХ АСПЕКТАХ РАБОТЫ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ »КРШКО«**

Рассуждается об историческом развитии пониманий, связанных с »Source Терма« и объясняется регуляторный аспект этой проблемы в мире. На основании рассмотрения фундаментальной литературы обращается внимание в общих чертах на области, в которых пересмотр »Source Терма« может оказать значительное влияние. Для атомной электростанции »Кршко« отмечается влияние улучшейся технической основы »Source Терма« на планирование действий в случае надобности и модификации функций надежности.

**FOLGEN DER REVISION »SOURCE TERM« AUF EINIGE SICHERHEITSASPEKTE DER TÄTIGKEIT DES KERNKRAFTWERKES KRŠKO**

Man behandelt die geschichtliche Entwicklung der Erfahrungen für »Source Term« und bespricht den regulatoren Aspekt dieses weltweiten Problems. Aufgrund des Studiums der relevanten Literatur wird im allgemeinen auf die Gebiete hingewiesen auf denen die Revision »Source Term« einen bedeutenden Einfluß haben konnte. Für das Kernkraftwerk Krško betrachtet man den Einfluß der verbesserten technischen Grundlage »Source Term« auf die Planung der Aktionen im Notfall und die Modifikation der Sicherheitsfunktionen.

Naslov pisca:

**Mr. Vladimir Jelavić, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb, Proleterskih b. 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1989-06-27

Universite de Liège  
 Institut d'Électricité  
 Montefiore

Technical University of Łódź  
 Institute of Electric Power  
 Engineering

kindly announces that

4th International Symposium on  
**Short-circuit currents in power systems**

organized by the *Association des Ingenieurs Electriciens Sortis de l'Institut Montefiore (A. I. M.)*  
 will take place in Liège, Belgium on 3–4 September 1990.

**Scope and topics of the Symposium:**

- 1 — measurement and evaluation of short-circuit currents values with emphasis on probabilistic aspects (measuring devices: modelling; digital simulation; standardization of computations of short-circuit currents parameters).
- 2 — load influence on short-circuit current (synchronous and asynchronous motors; converters; power capacitors; modelling; parameters; standardization of computations; digital programs).
- 3 — effects of short-circuit currents (mechanical, thermal, electromagnetical effects of: phase currents, arc, ground currents).
- 4 — limitation of short-circuit current values (power electronic switching devices; electric fuses; natural and artificial methods; effects of).

**Language:** English**Key Deadlines:**

- |                    |  |
|--------------------|--|
| 15th October 1989  | Receipt of Abstracts (max. 500 words). |
| 31st December 1989 | Acceptance to Authors.                 |
| 1st April 1990     | Final programme.                       |
| 1st April 1990     | Receipt of final papers.               |

Prospective contributors are invited to submit two copies of an abstract by 15th October 1989 to:

**Universite de Liège, Institut d'Électricité Montefiore,**  
**Sart Tilman B 28, B – 4000 Liège, BELGIUM**  
**Telephone 32/41/56 26 32...30      Telex 41397 UNIV LG**

or **Technical University of Łódź, Institute of Electric Power**  
**Engineering, 18/22 Stefanowskiego Str., 90-924 Łódź, POLAND**  
**Telephone 48/4236 11 93      Telex 886136**

On behalf of Scientific  
 Direction Committee

*Prof. J.-L. Lilien*

*Prof. Z. Kowalski*

# OPTIMALIZACIJA RADA ENERGANEA PRI PROIZVODNJI ELEKTRIČNE I TOPLINSKE ENERGIJE (Program OPTINEN)

Mr. Vladimir Potočnik — Tomislav Jančijev, Zagreb

UDK 697.34  
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Program OPTINEN (optimalna industrijska energetika) omogućuje brzi proračun optimalne proizvodnje električne energije i u industrijskoj ili gradskoj termoelektrani-toplani.

**Ključne riječi:** energane, optimizacija, proizvodnja, električna energija, toplinska energija.

## 1. UVOD

Spojna proizvodnja električne i toplinske energije ili suproizvodnja (kogeneracija) u industrijskim energanama i gradskim termoelektranama-toplanama u načelu predstavlja racionalniji oblik proizvodnje energije od odvojene proizvodnje električne energije u termoelektranama i toplinske energije u kotlovnica-ma. Zbog boljeg stupnja termičkog djelovanja kogeneracija štedi znatne količine primarne energije i manje zagađuje okoliš u odnosu na odvojenu proizvodnju energije [1, 2, 3, 4].

Kod nas je kogeneracija zaostala u odnosu na razvijene zemlje i stvarne mogućnosti. Kao ilustraciju toga navedimo podatak da kod nas kogeneracija sudjeluje u proizvodnji električne energije sa svega 3-4%, a npr. u SR Njemačkoj čak sa 15–16%, odnosno 4–5 puta više.

Razlozi su tom zaostajanju u premalim kapacitetima kogeneracije i u nedovoljnom korištenju postojećih kapaciteta.

Naime, kogeneracija je pretežno bazirana na kondenzacijsko-oduzimnim parnim turbinama, kod kojih se dio električne energije proizvodi u protutlačnom režimu rada, a dio u kondenzacijskom. Prošireno je mišljenje da kondenzacijska proizvodnja električne energije u kogeneraciji nije ekonomična, pa se stoga potiskuje, što vodi nedovoljnom korištenju postojećih kapaciteta.

Razvoj opće i energetske situacije kod nas, sazrijevanje shvaćanja da smo izrazito siromašni primarnim energentima [5] i ubrzani rast cijena električne energije od kraja 1987. godine aktualizirali su problem racionalnog korištenja energije [6], a u sklopu toga i veće korištenje potencijala kogeneracije.

Program OPTINEN, razvijen za korištenje na osobnom i centralnom računalu, omogućuje određivanje optimalne proizvodnje električne energije u indus-

trijskim energanama i gradskim termoelektranama-toplanama za niz promjenjivih tehničkih i ekonomskih parametara, kao što su opterećenja, cijene energenata itd.

## 2. KONCEPCIJA OPTIMALIZACIJE

Program OPTINEN izraden je za konkretnu industrijsku energanu s dvije kondenzacijsko-oduzimne parne turbine [7]. Uz manje adaptacije može se prilagoditi za druge industrijske energane i gradske termoelektrane-toplane.

Usvojeni su sljedeći **kriteriji optimalizacije:**

- a) Osnovni: cijena ukupne energije (električna i toplinska) treba biti minimalna

$$C = C_{\min} \quad | \text{ dinara/kW} | \quad (1)$$

- b) Pomoćni: cijena proizvedene električne energije je manja ili jednaka cijeni električne energije u mreži

$$C_{es} \leq C_{em} \quad (2)$$

uz uvjet da vrijedi i osnovni kriterij.

U modelu optimalizacije sudjeluje oko 80 parametara, i to oko 50 tehničkih i 30 ekonomskih parametara, od kojih su dva parametra odabrana za varijable optimalizacije. Budući da se dobar dio parametara mijenja u toku godine, mjeseca, tjedana, pa čak i dana, optimalizacija se provodi na satnoj bazi. Na taj način se energije mogu zamijeniti snagama ( $E_1 = N$ ) koje pretpostavljamo konstantnim u toku jednog sata.

Ulazni i izlazni tokovi energije prikazani su na slici 1.

U energanu se dovodi energija goriva  $N_g$ , a iz energane se odvodi potrošačima električna energija  $N_e$  i toplinska energija  $N_t$ . Mrežna električna energija  $N_{em}$  se ili dovodi iz mreže ili odvodi u nju. Od elek-





pri čemu su konstante  $A$  i  $B$  funkcije stanja pare, odnosno vode i stupnjeva djelovanja.

Stupanj djelovanja kotla ovisi o opterećenju i može se izraziti u obliku kvadratne jednadžbe

$$\eta_K = a \cdot D_K^2 + b \cdot D_K + C. \quad (13)$$

Koeficijenti  $a$ ,  $b$  i  $c$  se dobiju iz realnih pogonskih podataka za opterećenja 50%, 75% i 100%.

Razvojem, uvrštavanjem i sređivanjem navedenih izraza dobijemo cijenu ukupne energije  $C_h$  odnosno troškove  $T_h$  kao funkciju trenutne električne snage energane  $N_{es}$  i niza drugih tehničkih i ekonomskih parametara. Minimum te funkcije daje optimalnu električnu snagu energane.

U optimalizaciju su uključena **ograničenja** koja proizlaze iz tehničkih karakteristika energane (rasponi snaga kotlova i turbina i t.d.), uvjeta dobave goriva i ostalih faktora.

**Podjela troškova** na električnu i toplinsku energiju može se obaviti jednom od brojnih metoda [1, 2, 4]. Kao najprikladnija izabrana je tzv. kreditna metoda, kod koje se prema tržišnim uvjetima unaprijed odredi cijena jednog od proizvoda (električne ili toplinske energije), a odatle iz ukupnih troškova proizlazi cijena drugog proizvoda.

To se može svesti i na omjer cijena električne i toplinske energije  $f_c$ :

$$f_c = \frac{C_{es}}{C_t}, \quad (14)$$

pri čemu je:

$C_{es}$  | dinara/kWh | — cijena električne energije proizvedene u energani

$C_t$  | dinara/kWh | — cijena toplinske energije proizvedene u energani.

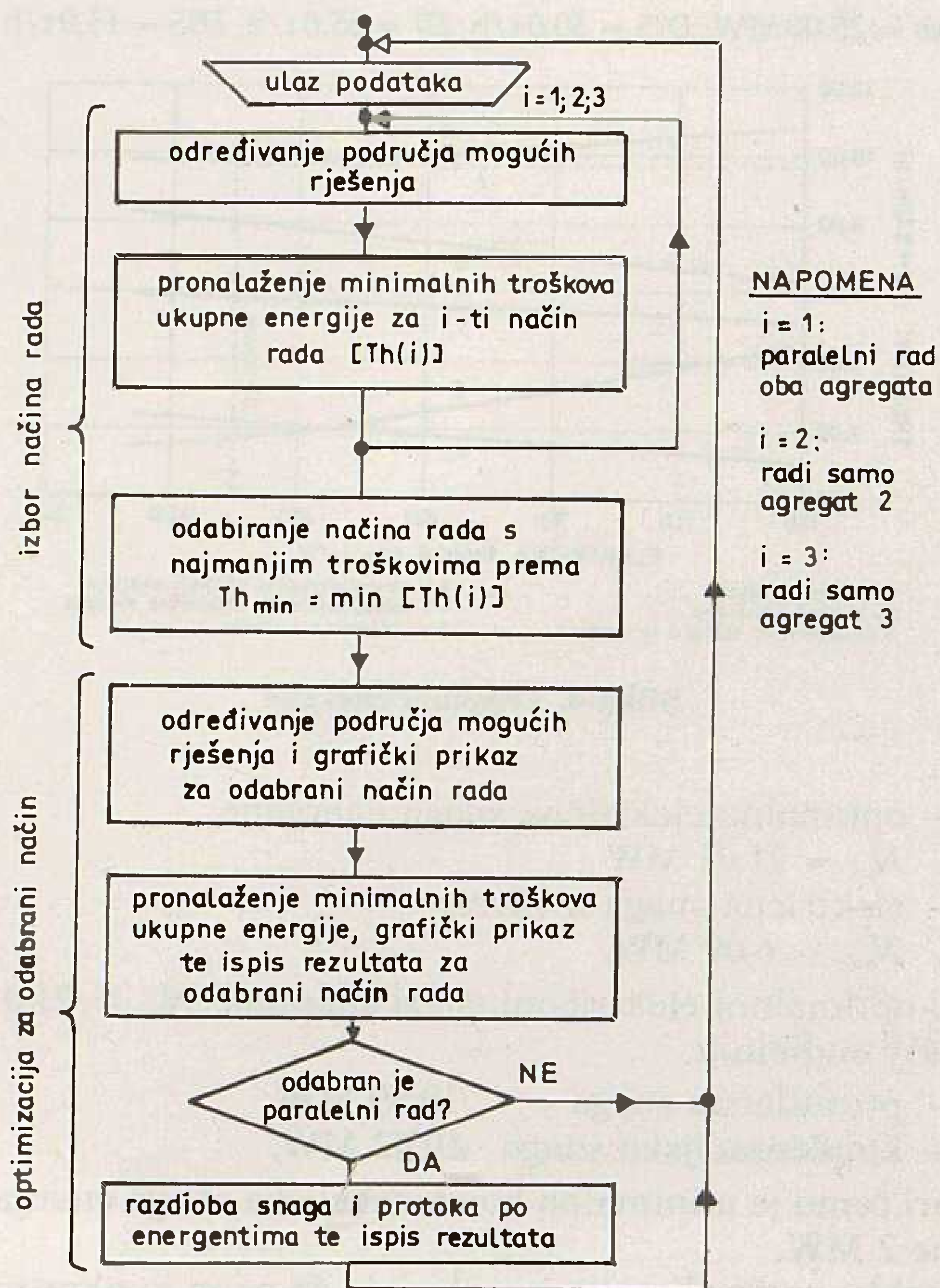
Podjela opterećenja na blokove energane obavlja se u skladu s karakteristikama blokova — snagama, stupnjevima djelovanja itd.

### 3. OPIS PROGRAMA

Prethodno opisani termodinamički i ekonomski model rada energane omogućuje formuliranje optimizacijskog modela za jednokriterijalno optimiranje sa sljedećim karakteristikama:

- funkcija cilja su ukupni troškovi rada energane  $T_h$ , što je analogno trenutnoj cijeni ukupne energije u toku jednog sata  $C_h$
- varijable optimalizacije su električna snaga energane  $N_{es}$  i potrošak goriva  $B_g$  i
- ograničenja problema su zadana kao granice za vrijednost snage  $N_{es}$ .

Dijagram toka, prikazan na slici 3, pokazuje način funkcioniranja programa OPTINEN. Najprije se za ulazne podatke određuju moguća rješenja i minimalni troškovi, među kojima se bira optimalni način rada. U slučaju energane s dva bloka mogu se pojaviti do tri načina rada energane. Traženu električnu snagu i toplinu mogu dati svaki agregat zasebno ili oba zajedno. Zbog toga se u prvom koraku proračuna pronalazi koji su načini rada tehnički mogući, te se



Slika 3. Dijagram toka programa OPTINEN

među njima odabire onaj za koji su ukupni troškovi minimalni. Ako je potrebno da rade svi blokovi energane zajedno, u drugom se koraku pronalazi optimalni režim za svaki od njih.

Program OPTINEN ima sljedeće osnovne karakteristike:

- potpuno interaktivni rad,
- rezultati proračuna pomažu korisniku u odlučivanju o režimu rada energane tokom dana
- ulazni podaci za trenutnu analizu (tražene električne  $N_e$  i toplinska  $N_t$  snaga) odvojeni su u posebnu grupu i količina im je minimalna
- ulazni podaci značajni za dulji period rada energane arhivirani su u posebnu datoteku i mijenjaju se prema želji korisnika
- rezultati proračuna prikazuju se u numeričkom i grafičkom obliku na ekranu.

### 4. IZVEDENI PRIMJER

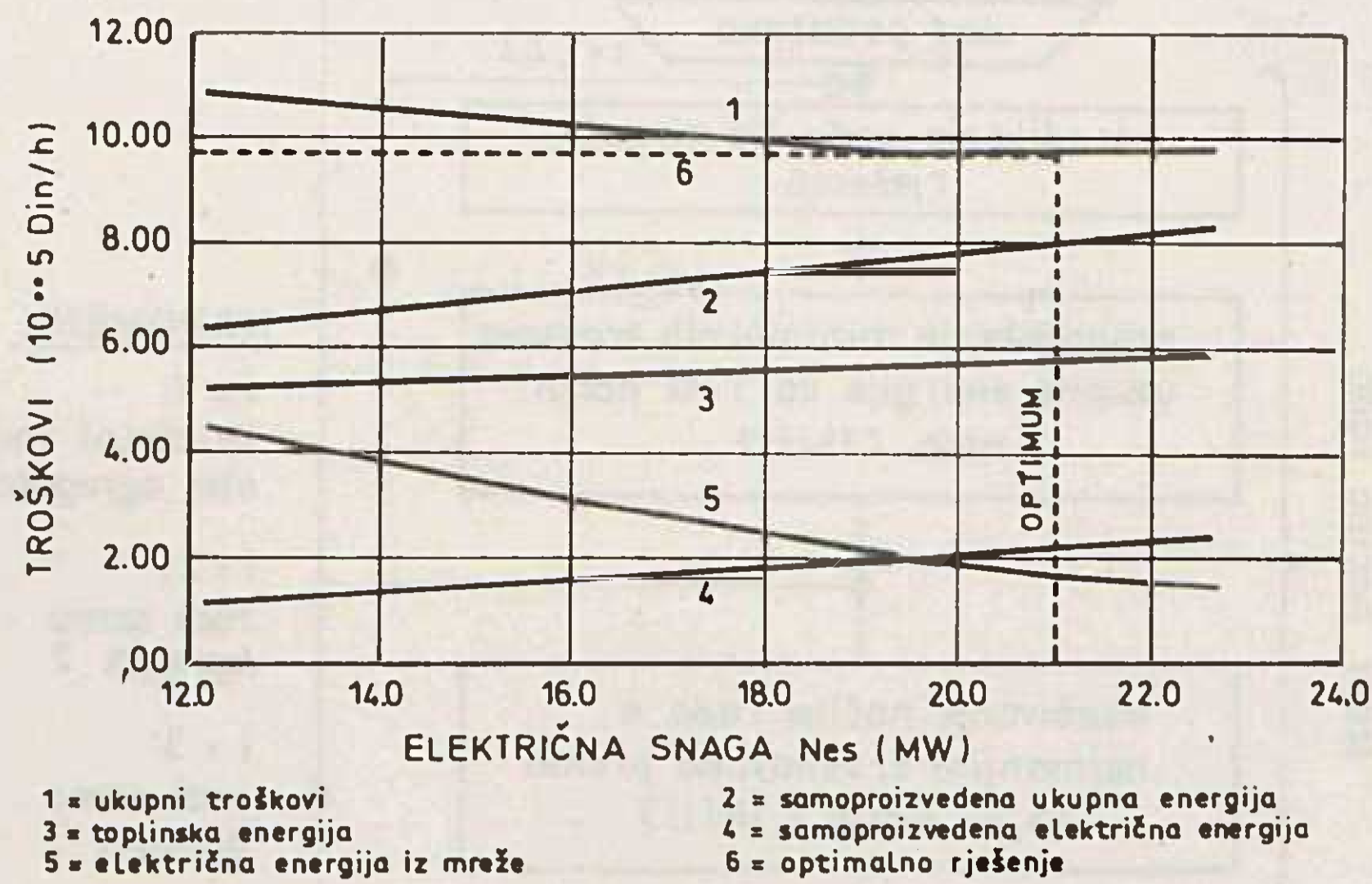
Primjer rezultata optimalizacije programom OPTINEN prikazan je na slici 4. za konkretnu energanu [7].

Uz ekonomske parametre koji su vrijedili krajem 1988. godine odabrani su trenutni ulazni parametri, odnosno tražene snage potrošača:

- električna  $N_e = 25$  MW
- toplinska  $N_t = 78,13$  MW.

Optimalizacija je dala sljedeći rezultat:

$N_e = 25.00 \text{ MW}$ ,  $D_{15} = 30.0 \text{ t/h}$ ,  $D_7 = 65.0 \text{ t/h}$ ,  $D_{55} = 15.0 \text{ t/h}$



Slika 4. Troškovi energije

— optimalna električna snaga energane

$$N_{es} = 21,01 \text{ MW}$$

— električna snaga iz mreže

$$N_{em} = 6,09 \text{ MW.}$$

U optimalnoj električnoj snazi energane  $N_{es} = 21,01 \text{ MW}$  sudjeluju:

— protutlačna snaga 10,59 MW

— kondenzacijska snaga 10,42 MW,

pri čemu je minimalna kondenzacijska snaga energane 2 MW.

Dakle, optimalizacija je pokazala da se za konkretnu energanu i dane parametre isplati znatno povećati proizvodnju kondenzacijske električne energije u odnosu na uobičajeni režim rada s minimalnom kondenzacijom.

U konkretnom primjeru smanjenje ukupnih troškova energije iznosi oko 3,5%, što predstavlja smanjenje troškova električne energije od oko 10%.

## 5. ZAKLJUČAK

Primjenom programa OPTINEN moguće je odrediti optimalnu proizvodnju električne energije u industrijskoj energani ili gradskoj termoelektrani-toplani s kondenzacijsko-oduzimnim parnim turbinama. Uzimajući u obzir oko 80 vremenski promjenjivih tehničkih i ekonomskih parametara, može se na osobnom ili centralnom računaru brzo izračunati optimalnu električnu snagu energane.

Program OPTINEN može pridonijeti razvoju spojne proizvodnje električne i toplinske energije u industriji i toplifikaciji gradova.

## LITERATURA

- [1] J. MIHAJLOV, »Termoelektrane«, Tehnička knjiga, Zagreb, 1965.
- [2] J. J. SOKOLOV, »Toplifikacija i toplotne mreže« (prijevod s ruskog), Građevinska knjiga, Beograd, 1985.
- [3] T. BELTING, »Analyse der Bewertungsmethoden in Industrie — und Heizkraftwerken auf Strom und Heizedampf« BWK 11/1987.
- [4] G. ALEFELD, »Zur Bewertung von Heizkraftwerken« BWK 6/1988.
- [5] V. POTOČNIK, »Bilansa dopunskih izvora energije SR Hrvatske,« Energija 38 (1989) br. 1
- [6] Program racionalnog korištenja energije, RKEIRZ, Zagreb 02. 1989.
- [7] V. POTOČNIK, T. JANČIJEV, »Belišće-Bel, Optimalizacija rada energane pri proizvodnji toplinske i električne energije«, Elektroprojekt Zagreb, 02. 1989.
- [8] Tarifni sistem za prodaju električne energije, Narodne novine SR Hrvatske br. 10/1985.

### OPTIMISATION IN GENERATION OF HEAT AND ELECTRIC POWER (PROGRAM OPTINEN)

Program OPTINEN (optimal industry energy) provides rapid calculation of optimal generation of heat and electric power in urban TPPS.

### OPTIMIERUNG DER ARBEIT DES KERNKRAFTWERKES BEI DER ERZEUGUNG DER ELEKTRISCHEN UND THERMISCHEN ENERGIE (Programm OPTINEN)

Das Programm OPTINEN (optimale Industrieenergetik) ermöglicht eine schnelle Berechnung der optimalen Erzeugung der elektrischen Energie im industriellen oder städtischen Wärmekraftwerk.

### ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ВЫРАБОТКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ (ПРОГРАММА ОПТИМЕН)

Программа ОПТИМЕН (оптимальная промышленная энергетика) делает возможным быстрый расчет оптимальной выработки электроэнергии на промышленной или городской ТЭЦ.

Naslov pisaca:

Mr. Vladimir Potočnik, dipl. inž.  
Tomislav Jančijev, dipl. inž.  
Elektroprojekt, 41 000 Zagreb,  
Proleterskih brigada 37,  
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis  
1989-06-05

# TURBINA 70 MW U EL-TO ZAGREB — PRIMJER MOGUĆNOSTI PROTUTLAČNOG I KONDENZACIJSKOG POGONA

Miroslav Šander — Stanko Plevnik, Karlovac

UDK 621.165:621.311.22  
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Opisuje se originalno rješenje primjene sinhronne zupčaste spojke na jedinici spojnog procesa. Spojka se primjenjuje za isključivanje / uključivanje niskotlačnog dijela turbine s kondenzatorom s čisto protutlačnom turbinom. Cilj rješenja je bitno povećanje fleksibilnosti pogona u toplinskom i elektroenergetskom sistemu.

**Ključne riječi:** turbina, elektroenergetski sistem, toplinski sistem.

## 1. UVOD

Prema ekspanziji pare i svrsi pogona dosadašnja praksa razlikuje dva tipa turbina: kondenzacijske i protutlačne. Kondenzacijske turbine grade se za potrebe elektroenergetskih sistema pa je osnovni cilj da im snaga na stezaljkama generatora bude što viša (radi smanjenja jediničnih investicija) i da je što viši stupanj korisnog djelovanja (poradi smanjenja troškova goriva). Zbog toga teži se što većem padu entalpije između stanja pare na ulazu i stanja na izlazu iz turbine, što je s jedne strane određeno tlakom i temperaturom svježeg pare, a s druge temperaturom rashladne vode.

Glavni cilj protutlačnih turbina je proizvodnja ogrijevne topline ili pare za potrebe procesne industrije. Tlak pare na izlazu iz turbine je zbog toga bitno viši nego pri kondenzacijskim turbinama. Električna energija je najčešće nusprodukt i izravno je ovisna o potrebama toplinskog konzuma. Takav rad ograničava primjenu protutlačnih turbina na uvjete velikih industrijskih kompleksa gdje su potrebe u procesnoj toplini ravnomjerne u toku čitave godine. Usprkos visokom stupnju iskorištenja energije goriva (gotovo 90%) u drugim uvjetima je ekonomičnost čisto protutlačnih turbina znatno niža. Naime, sa stajališta elektroenergetskog sistema, osim proizvodnje električne energije, bitan element ekonomičnosti jest i snaga jedinice. Ovisnost snage na stezaljkama generatora električne struje o potrebama toplinskog konzuma pri protutlačnim jedinicama (dakle nemogućnost da se u svakom momentu postigne nominalna električna snaga) nepovoljno utječe na sigurnost u sistemu pa traži izgradnju dodatne snage (i novu investiciju).

Očito da bi izgradnja turbine koja može raditi kao protutlačna, ali i kao kondenzacijska kad to zahtijevaju prilike u elektroenergetskom (i toplinskom) sistemu povećala ekonomičnost iznad danas najboljih vrijednosti. No vezu između kondenzacijskih i pro-

tutlačnih turbina veoma je teško uspostaviti. Do danas je najbolje ostvarena kod turbina s kliznim protutlakom. Uz tehnološki razvoj proizvodnje specijalnih spojki i uz domišljato projektiranje turbinskog postrojenja moguće je, međutim, realizirati turbinu koja može raditi u kondenzacijskom ili protutlačnom režimu ovisno o zahtjevima potrošača. Osnovna ideja je da turbina ima niskotlačni dio koji se može iskopčati i ukopčati u pogon s ostalim dijelovima turbine bez zaustavljanja pogona turbine. Ako se zahtijeva rad turbine u kondenzacijskom režimu, sinhrona spojka na radnom broju okretaja spoji NT dio turbine i para ekspandira do kondenzatorskog tlaka i ostvaruje se veća proizvodnje električne energije. Ako se opet želi rad u protutlačnom režimu, NT dio se rasterećuje i odvaja od ostatka kompozicije pomoću iste spojke bez zaustavljanja pogona. Pritome se smanjuje proizvodnja električne energije u prilog povećanoj proizvodnji pare za toplinske ili procesne potrebe.

U članku je predstavljen takav model turbine razvijen u »Jugoturbini« za potrebe zagrebačke Elektrane-Toplane.

## 2. ZAHTJEVI NA RAD TURBINE 70 MW EL-TO ZAGREB

Investitor (Elektrana-toplana Zagreb) je postavio specifične zahtjeve na rad turbine. Riječ je o jedinici s međupregrijanjem pare i generatorom pare na ugljen s izgaranjem u fluidizirajućem sloju (parametri svježeg pare 140 bar, 535/535 °C). Zahtjevi na rad turbine definirani su sa šest osnovnih režima rada (tablica 1).

Turbina je koncipirana u dvije varijante: sa standardnim površinskim kondenzatorom i kondenzatorom s miješanjem. Kondenzator s miješanjem je prioritetna varijanta jer je površinski kondenzator (zbog velikih količina rashladne vode) gotovo nemoguće izvesti u dijelu grada gdje se elektrana nalazi.

Tablica 1. Pogonski režimi

Pogon	Bazni ljetni	Zimski A	Protutlačni A	Zimski B	Protutlačni B	Kondenzacijski
Značajke						
Količina regul. oduzimanja za ind. paru (kg/s)	14	0	0	28	28	0
Tlak oduzimanja (bar)	17	—	17	17	—	
Temperatura oduzimanja (°C)	250	—	—	250	250	—
Količina svježe pare na ulazu (kg/s)	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2	prema potrebi
Temperatura mrežne vode (°C)	45/65	70/110	70/110	70/110	70/110	—
Poželjna topl. snaga (MWt)	20	koliko može	134	koliko može	koliko može	0
Konačna temp. napojne vode (°C)	250	250	250	250	250	250
Poželjna električna snaga (MW)	69	65	koliko može	49	koliko može	70

*Za površinski kondenzator*

Temperatura rashl. vode na ulazu (°C)	18	8.5	—	8.5	—	18
Količina rashl. vode (kg/s)	2 000	1 500	—	1 500	—	2 000

*Za kondenzator s miješanjem*

Temperatura rashl. vode na ulazu (°C)	32	20	—	20	—	32
Količina rashl. vode (kg/s)	2 000	1 500	—	1 500	—	2 000

Nominalni režim prema kojem se turbinsko postrojenje optimalno projektira jest »bazni ljetni pogon«. Osnovne značajke su mu:

- da osigura 14 kg/s pare za procesnu industriju reguliranog tlaka 17 bar i temperature 250°C
- maseni protok svježe pare (kao i za sve ostale režime) treba biti 72,2 kg/s, parametara 140 bar, 535/535°C
- da se u zagrijačima mreže vode (za daljinsko grijanje) osigura 20 MJ/s, uz temperaturu mreže vode 45°C na ulazu i 65°C na izlazu
- da konačna temperatura napojne vode bude 250°C
- korištenje zatvorenog, zrakom hlađenog rashladnog sistema s temperaturom rashladne vode na ulazu u kondenzator 32°C.

U nominalnom režimu rada turbina radi najveći dio vremena i pritome ima najveći stupanj djelovanja. U ostalim režimima rada od turbine se očekuje također visok stupanj djelovanja i povoljna specifična potrošnja topline i pare. Značajke ostalih režima rada mogu se očitati u tablici 1.

### 3. OPIS POSTROJENJA

Na osnovi zahtjeva navedenih u tablici 1. koncipirano je turbinsko postrojenje kao na sl. 1. Svježa pare parametara 140 bar i 535°C ulazi u VT dio turbine

(točka A) i ekspandira do stanja 14. Hladnim vodom međupregrijanja odlazi ponovo u pregijač generatora pare gdje se pregrijava na 535°C. Tzv. vrućim vodom međupregrijanja vraća se u ST dio turbine (točka 15). Na ST kućištu nalazi se većina oduzimanja, od kojih je jedno regulirano (6) za potrebe tehnološke pare od koje se zahtijeva konstantan tlak 17 bar i temperatura 250°C. Budući da temperatura pare na tom oduzimanju može varirati u različitim režimima rada, na cjevovodu oduzimanja ugrađena je regulacija temperature pomoću vrelog kondenzata iz napojne pumpe. Na ST-kućištu nalaze se i oduzimanja H1 i H2 za zagrijače mrežne vode daljinskog grijanja.

Iz ST-dijela turbine para kroz prestrujni cjevovod (na kojem se nalazi regulacijska zaklopka) odlazi u dvostrujni NT dio turbine gdje ekspandira do kondenzatorskog tlaka. U kondenzatoru se para miješa s raspršenom rashladnom vodom iz zatvorenog rashladnog sustava. Kondenzatne pumpe šalju kondenzat iz kondenzatora u dvije grane: jedna grana ide u rashladni toranj i u povratku služi kao rashladna voda kondenzatora, a druga grana kondenzata ide kroz sustav predgrijavanja u generator pare.

Između VT i NT dijela turbine nalazi se specijalna sinhrona zupčasta spojka. Pri normalnom radu, kada je potreban kondenzacijski pogon, spojka je uključena i para protječe kroz NT dio turbine u kondenzator. Tablica 1 pod tim podrazumijeva bazni ljetni, zimski A, zimski B i čisti kondenzacijski pogon.



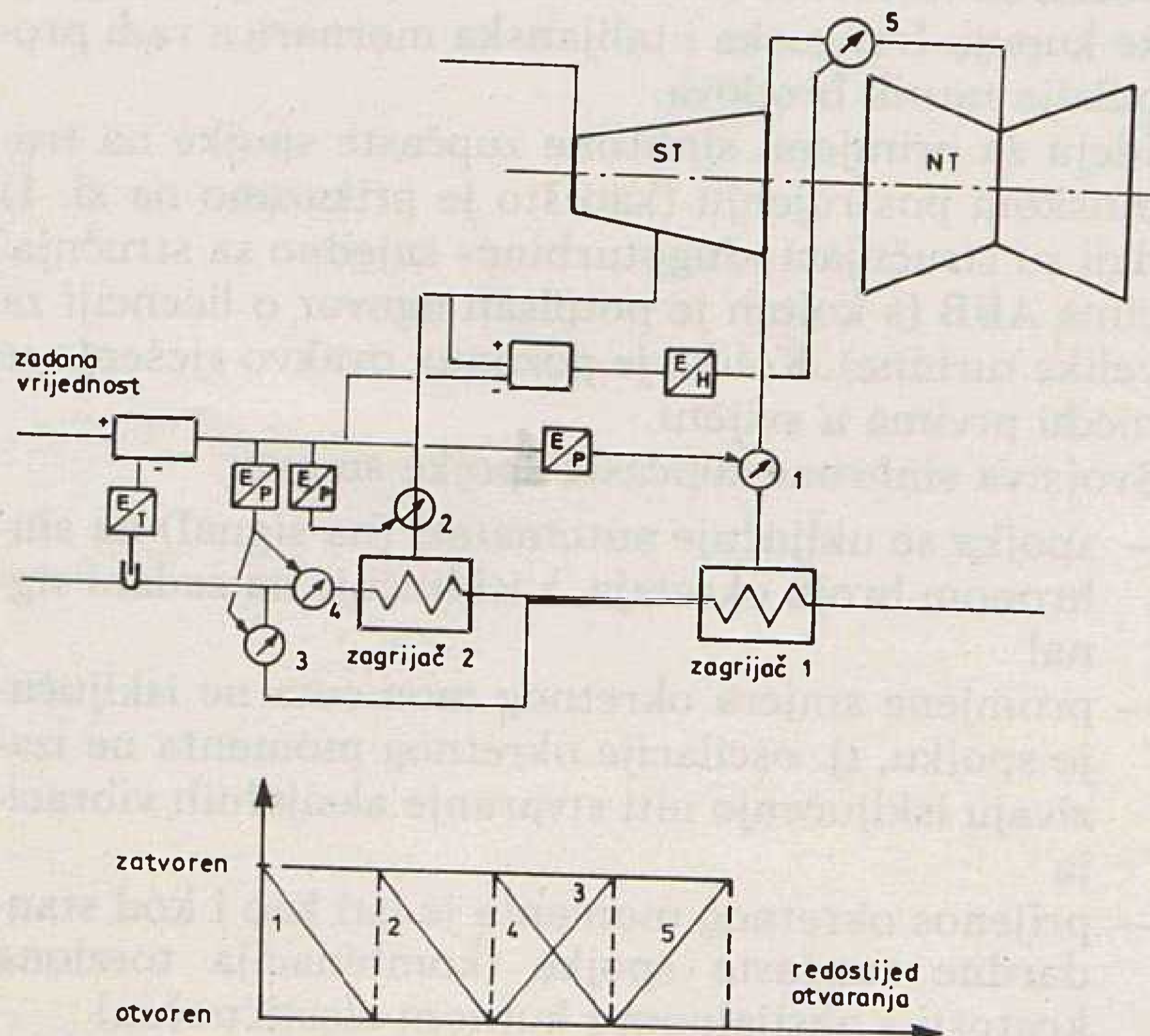
Tablica 2. Parametri voda — para turbinskog ciklusa 70 MW EL-TO Zagreb (za kondenzator s miješanjem)

	Bazni ljetni				Zimski A				Protutlačni A				Zimski B				Protutlačni B				Kondenzacioni			
	P bar	t °C	H kJ/kg	m kg/s	P bar	t °C	H kJ/kg	m kg/s	P bar	t °C	H kJ/kg	m kg/s	P bar	t °C	H kJ/kg	m kg/s	P bar	t °C	H kJ/kg	m kg/s	P bar	t °C	H kJ/kg	m kg/s
A	140	535	3 419	72.2	140	535	3 419	72.2	140	535	3 419	72.2	140	535	3 419	72.2	140	535	3 419	72.2	140	535	3 419	61.33
12	—	251.2	1 091.9	72.2	—	251.1	1 091.7	72.2	—	251.1	1 091.7	72.2	—	251.1	1 091.6	72.2	—	251.1	1 091.7	72.2	—	244.7	1 061.2	61.33
13	0.08	41.5	2 402	29.45	0.037	27.6	2 330	18.92	—	—	—	0.0	0.031	24.6	2 432	10.86	—	—	—	0.0	0.101	46.0	2 431	43.36
14	42.72	361.4	3 117	63.53	42.68	361.3	3 117.3	63.46	42.69	361.3	3 117	63.48	42.68	361.3	3 117	63.45	42.68	361.3	3 117	63.46	38.23	355.6	3 112.8	54.84
15	38.41	535	3 526	63.53	38.38	535	3 526	63.46	38.38	535	3 526	63.48	38.37	535	3 526	63.45	38.37	535	3 526	63.46	34.4	535	3 530	54.84
16	10.0	45.0	189.2	237	10.0	70.0	293.8	504.04	10.0	70.0	293.8	778.3	10.0	70.0	293.8	226.38	10.0	70.0	293.8	388.75	—	—	—	0.0
17	—	65.0	272.8	237	—	110.0	462	504.04	—	110.0	462	778.3	—	10.0	462	226.38	—	110.0	462	388.75	—	—	—	0.0
E	17.0	250	2 915	14	—	—	—	0.0	—	—	—	0.0	17.0	250.0	2 915	28.0	17.0	250.0	2 915	28.0	—	—	—	0.0
E1	—	20.0	85.0	14	—	—	—	0.0	—	—	—	0.0	—	20.0	85.0	28.0	—	20.0	85	28.0	—	—	—	0.0
Pg = 68 824 kW				Pg = 67 113 kW				Pg = 60 393 kW				Pg = 51 473 kW				Pg = 46 854 kW				Pg = 70 004 kW				
Pth = 19 815 kWt				Pth = 86 786 kWt				Pth = 130 924 kWt				Pth = 38 071 kWt				Pth = 65 377 kWt				Pth = 0				
q = 7 039 kJ/kWh				q = 5 857 kJ/kWh				q = 3 760 kJ/kWh				q = 5 363 kJ/kWh				q = 3 793 kJ/kWh				q = 8 613 kJ/kWh				

## 5. REGULACIJA TOPLINSKE SNAGE ZA DALJINSKO GRIJANJE

Jedan od zadataka ove turbine je i proizvodnja toplinske energije. Mora zagrijati povratnu mrežnu vodu za daljinsko grijanje na određenu temperaturu (prema tablici 1), tj. mora ostvariti određenu toplinsku snagu. Zbog toga regulacija temperature mrežne vode, tj. toplinske snage postaje sastavni dio projektnog zadatka.

Regulacijski sustav zagrijača mrežne vode i oduzimanja na turbini prikazan je na sl. 2. Razlika izmjerene temperature mrežne vode na izlazu iz zagrijača H2 i zadane vrijednosti aktivira zasun mimovoda 3, zasun toplovoda 3, zasun parovoda 1 i 2, te zakretnu zaklopku 5.



Slika 2. Regulacijski sustav zagrijača mrežne vode

Ako toplinsko opterećenje raste, zbog razlike između zadane i izmjerene vrijednosti izlazne temperature mrežne vode, uz pretpostavku potpuno otvorenih zasluna parovoda 1 i 2, najprije će se zatvarati zasun mimovoda 3. Istovremeno se otvara zasun toplovoda 4. Pri daljem povećanju toplinskog opterećenja pritvara se zakretna zaklopka 5. Redosljed otvaranja izvršnih članova definiran je dijagramom na slici 4.

## 6. ZAKLJUČAK

Ekonomičnost primjene protutlačnih turbina bitno je ograničena ovisnošću električne snage o trenutnim potrebama toplinskog konzuma. Turbine s kliznim protutlakom također su u tom pogledu nedovoljne fleksibilnosti.

Primjena suvremenih rješenja sinhronih zupčastih spojki omogućava da se na čisto protutlačnu turbinu po potrebi uključuje pogon dodatnog niskotlačnog dijela turbine s kondenzatorom. Na taj način moguće je u svakom trenutku, neovisno o zahtjevima toplinskih korisnika, koristiti se nominalnom snagom generatora pare.

Ponuda za isporuku turbine sličnih zahtjeva u zagrebačku Elektranu-toplanu navela je stručnjake »Jugoturbine« da u suradnji sa svojim licencijskim partnerima kreiraju originalno rješenje karakteristike kojeg su opisane u članku.

## LITERATURA

- [1] ELČIĆ Z.: »Parne turbine«, VTŠ, Karlovac, 1983.
- [2] B. STANIŠA: »Razvoj toplinskih turbina u svijetu i Jugoslaviji« Tehničke informacije Jugoturbina i TPK 18(1984) 2, 67-109.

- [3] B. STANIŠA: »Dosadašnji razvoj i daljnje mogućnosti proizvodnje parnih turbina za potrebe industrijskih energana i javnih toplana«, jugoslavensko savjetovanje Izvori energije i tehničko-tehnološki razvoj opreme za energetiku, knjiga 3, 238-255, Beograd 1983.
- [4] M. BUTKOVIĆ, B. STANIŠA: »Razvoj domaće proizvodnje parnih turbina«, Strojstvo 29 (1987) 2, 107-118.
- [5] B. STANIŠA: »Proizvodnja parnih turbina u »Jugoturbini«, Strojstvo 30(1988) 3/4, 177-190.
- [6] Interna i prospektna dokumentacija Jugoturbina-Karlovac, ABB-Baden, MAAG-Zürich

#### ТУРБИНА 70 МВт НА ТЭЦ ЗАГРЕБ — ПРИМЕР ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ И КОНДЕНСАЦИИ

Описано оригинальное решение применения синхронной кулачковой муфты по единице соединительного среднего. Муфта применяется для выключения (включения) части низкого давления турбины с конденсатором на турбине с противодавлением. Целью решения является существенное повышение приспособляемости эксплуатации тепловой и электроэнергетической системы.

#### 70 MW TURBINE IN »EL-TO« ZAGREB — AN EXAMPLE OF POSSIBLE COUNTER-PRESSURE AND CONDENSER OPERATION

In the article is presented a original solution for synchronous teathed coupling on combined unit. The coupling is used for switching on/off of LP turbine part with condenser to the simple counterpresser turbine. That solution yields in essentially increase of operational flexibility of heat and electric power system.

#### TURBINE 70 MW IM ELKRAFTWERK ZAGREB — BEISPIEL FÜR DIE MÖGLICHKEIT DES GEGENDRUCK UND KONDENSATIONSANTRIEBS

Hier wird die originelle Lösung der Anwendung des synchronen zackigen Schalters an der Einheit des Anschlußprozesses beschrieben. Der Schalter wird zum Aus / Einschalten des Niederdruck Teiles der Turbine mit dem Kondensator mit einer ausschließlichen Gegendruck Kabine verwendet.

Naslov pisaca:

**Miroslav Šander, dipl. inž.**  
**Stanko Plevnik, dipl. inž.**  
 »Jugoturbina«, Tvornica parnih  
 turbina, 47000 Karlovac  
 Mala Švarča 155  
 Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis  
 1989-06-05



## „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

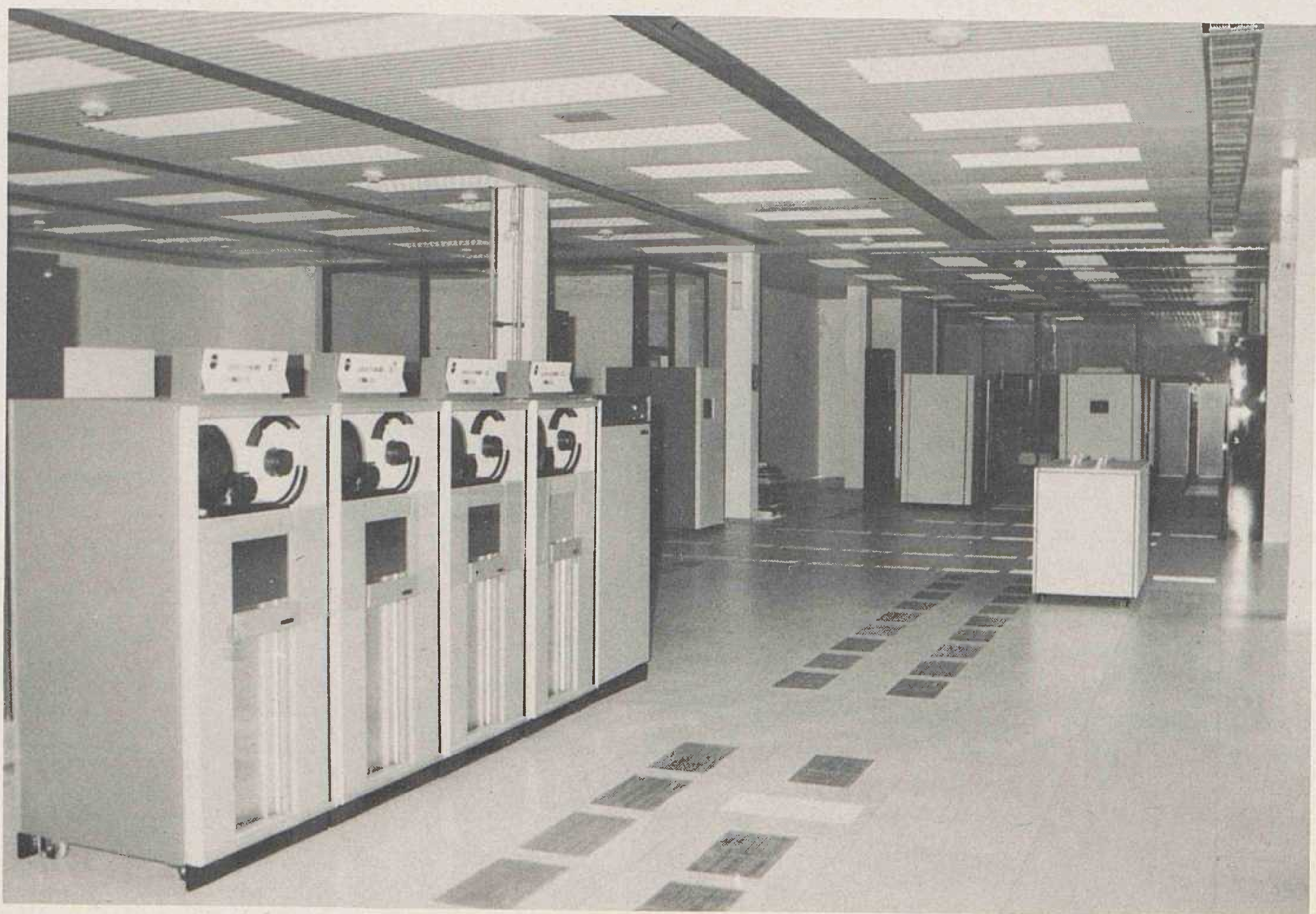
SPONZOR-SUORGANIZATOR  
**UNIVERZIJADE'87**

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



# BRZA I SPORA KOLEBANJA NAPONA I POSLJEDICE ZA DIMENZIONIRANJE NISKONAPONSKE MREŽE I APARATA

Mr. Ernest Mihalek, Zagreb

UDK 621.316.1

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Prikazuju se standardi IEC-555-3 i posljedice koje nastaju za dimenzioniranje parametara niskonaponske mreže. Odredene su i dopuštene snage uređaja koji se na mrežu mogu priključiti, ovisno o najčešćim vrstama i intenzitetu smetnji.

**Ključne riječi:** kolebanje napona, smetnje, flikeri, niskonaponska mreža, trošila u kućanstvu, kvaliteta električne energije.

## 1. OPĆENITO

U mrežama za razdiobu električne energije niskog napona moguća je pojava smetnji iz dva osnovna izvora: iz više mreže ili iznutra. To uglavnom mogu biti sljedeće smetnje:

- odstupanje i njihanje napona
- nesimetrija faznih struja i napona
- nesinusoidni oblik krivulje — viši harmonici napona i struje.

Navedene smetnje u mreži imaju velik utjecaj na druga električna postrojenja, ometanje normalnog rada automatskih i mjernih uređaja, pogoršanje rada televizijskih aparata, treperenje žarulja itd. Utjecaj kolebanja napona na električnu rasvjetu često je istraživana pa je dokazano da je maksimalna osjetljivost ljudskog oka između 2 i 10 Hz.

Za proučavanje smetnji u niskonaponskim mrežama od interesa su smetnje koje uzrokuju kućanski aparati i slična električna oprema. Određivanje (procjenu) amplitude naponskih fluktuacija može se izvesti prema IEC, (publikacija 555-3) odgovarajućim proračunima ili mjerenjem.

## 2. PRIKAZ ODREDBI STANDARDA IEC, PUBL. 555-3

Trošila koja se priključuju na mrežu i izazivaju naponske fluktuacije jesu trofazna ili jednofazna. Ako se smetnje (perturbacije) mjere, onda period promatranja mora biti između 5 i 15 minuta. Za uređaje koji se uključuju u rad u vremenu kraćem od 5 minuta promatra se minimalno barem 10 fluktuacija napona.

IEC predviđa više različitih tipova fluktuacije napona za koje se onda koriste različite metode procjene smetnji. Fluktuacije napona klasificirane su prema obliku vala smetnje, i to (vidi sl. 1 do 3):

- tip a): periodičke pravokutne promjene napona jednakih amplituda (npr. uključivanje pojedinačnih rezistantnih opterećenja)
- tip b): niz skokovitih, vremenski nepravilnih promjena napona; njihove amplitude mogu biti jednake ili nejednake kao i razlikovati se po smjeru (— ili +), (npr. kod uključivanja višestrukih opterećenja)
- tip c): jasno razdvojene promjene napona od kojih nisu sve skokovite (npr. uključivanje nerezistantnih opterećenja)
- tip d): niz slučajnih ili kontinuiranih fluktuacija napona (npr. opterećenje koje se ciklički ili slučajno mijenja).

Ako su dvije izmjene ili više izmjena u istom smjeru, a totalni im period nije veći od 30 ms, uzima se da je to jedna promjena. Ispitivanje opreme obavlja se na njezinu nazivnom naponu, a ako ih je više (napona), onda onom koji proizvodi najnepovoljnije promjene napona.

Ovisno o načinu napajanja propisane su i tzv. referentne impedancije koje služe za proračun ili mjerenje smetnji koje uzrokuju uređaji. Za trofazno, četverožično napajanje 230/400 V to je

$$R_A = 0,24 \Omega \quad (\text{otpor na faznom vodiču})$$
$$jX_A = j\omega L_A = 0.15 \Omega \text{ na } 50 \text{ Hz.}$$

$$R_N = 0.16 \Omega \quad (\text{otpor na nul-vodiču})$$
$$jX_N = jL_{\omega N} = 0.1 \Omega \text{ na } 50 \text{ Hz.}$$

Ako je napajanje jednofazno, 230 V to je

$$(R_A + R_N) + j(X_A + X_N) = 0.4 \Omega + 0.25 \Omega \text{ na } 50 \text{ Hz.}$$

Svi tipovi naponskih fluktuacija mogu se procijeniti (odrediti) pomoću flikermetra. Međutim, ako se one određuju analitički, onda je značajno kako se uzima u obzir svaki pojedini tip fluktuacije.

Za **tip a** vrijedi: ako je distorzija struje koju uzima uređaj, zanemariva (manje od 5%), onda se struja može odrediti računski ili mjerenjem.

Ako je distorzija struje značajna (totalna harmonijska distorzija veća od 5%), onda je za približnu procjenu potrebno izmjeriti kako osnovne tako i više komponente valnog oblika struje u odnosu na napon napajanja ili djelatnu i jalovu snagu.

Ako naizmjenične poluperiode nemaju jednaku amplitudu, struja se određuje na temelju izraza

$$\sqrt{\frac{1}{2} (I_1^2 + I_2^2)},$$

gdje su  $I_1$  i  $I_2$  efektivne vrijednosti struje različitih poluperioda.

Tolerancije za uređaje koji proizvode fluktuacije verificiraju se direktnom upotrebom granične krivulje prikazane na sl. 6.

Sl. 7. prikazuje »vrijeme pamćenja«  $t$  (s) koje nastaje zbog dane relativne promjene napona (skoka)  $\Delta U/U$ . Amplituda promjene napona ne smije prekoračiti graničnu vrijednost danu krivuljom za odgovarajući broj promjena napona u minuti.

Amplituda svake promjene napona kod naponske fluktuacije tipa b određuje se na isti način kao i za tip a. Kad se provjeravaju karakteristike uređaja koji proizvodi ovaj tip naponskih fluktuacija, može se koristiti i analitička metoda. Pritom se određuje amplituda svake naponske promjene i svaka promjena izražava kao procentualna naponska promjena  $\Delta U/U$  (%). »Vrijeme pamćenja« za svaku promjenu dano je na dijagramu (i tablično u lit. 1).

Zahtijeva se da zbroj »vremena pamćenja« za sve promjene zabilježene u toku perioda opažanja ne prevrše trajanje ovog perioda. Ta se metoda koristi samo ako je broj promjena napona manji od 1 000 u minuti (približno 17 u sekundi).

Kod naponskih fluktuacija tipa c preferira se direktno mjerenje flikera, a analitička metoda koristi za približnu procjenu.

Kod analitičke metode svaka se neskokovita naponska promjena prezentira kao ekvivalentna skokovita. Ova ima istu amplitudu kao stvarna. Ekvivalentna skokovita promjena izabire se tako da je površina pod krivuljom napona jednaka onoj kod stvarne promjene. Ovako izvršena procjena naponskih promjena teži pesimističkim rezultatima. Ako se analitički ustanovi da uređaj ne zadovoljava ovaj standard, onda se karakteristike uređaja mogu ustanoviti direktnim mjerenjem flikera. Za naponske fluktuacije tipa d standard predviđa samo direktno mjerenje flikera.

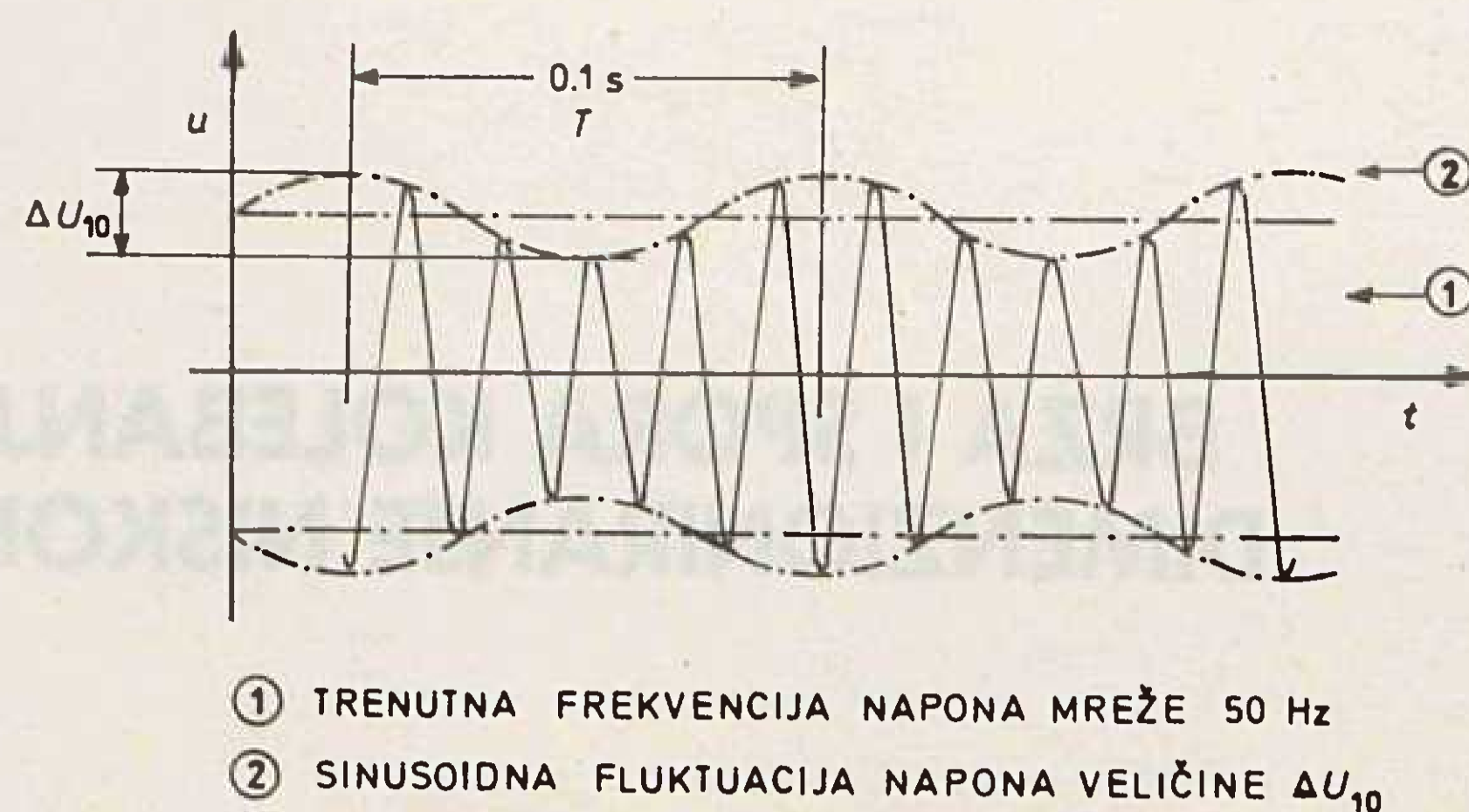
### 3. PRORAČUN VELIČINE VARIJACIJA NAPONA

#### a) Jednofazni potrošač spojen između faze i neutrala

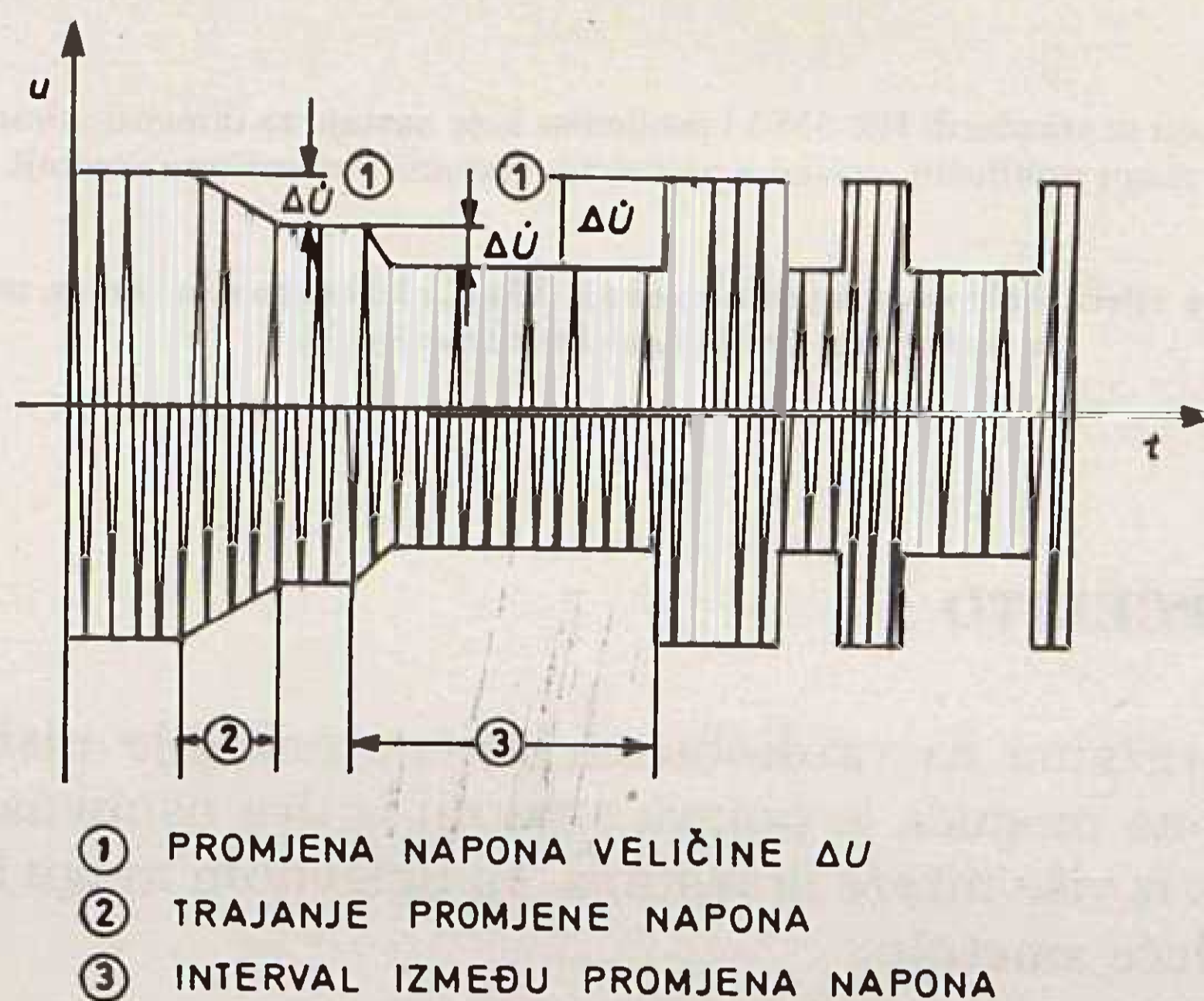
Za relativnu promjenu napona kao postotka napona  $U_1$  na priključku neopterećenog potrošača vrijedi:

$$\frac{\Delta \dot{U}}{|\dot{U}_1|} = 100 \frac{|\dot{U}_1| - |\dot{U}_2|}{|\dot{U}_1|} (\%) = \frac{|/(R_A + R_N + j(X_A + X_N))/I + \dot{U}_2| - |\dot{U}_2|}{|/(R_A + R_N) + j(X_A + X_N)/I + \dot{U}_2|} \quad (1)$$

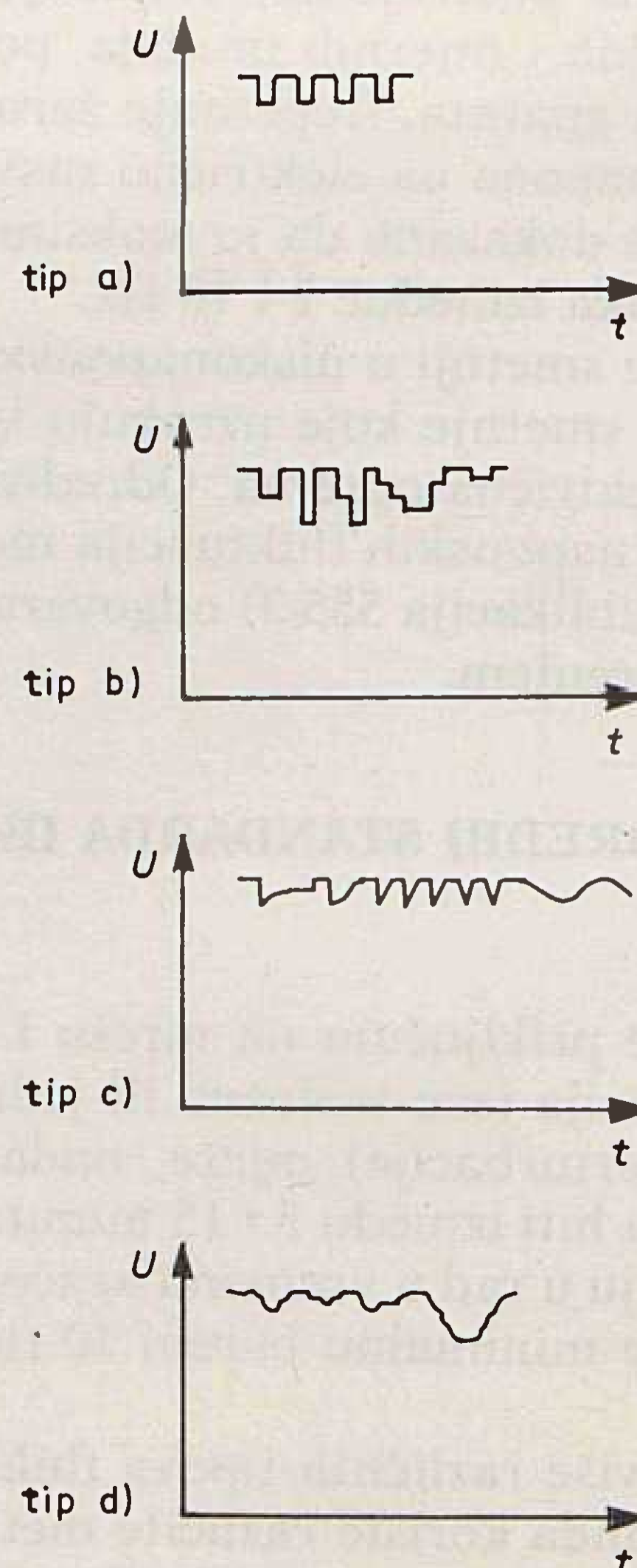
Ako se induktivni otpori mogu zanemariti, formula se pojednostavnjuje pa vrijedi:



Slika 1. Sinusoidna fluktuacija napona frekvencije 10 Hz



Slika 2. Ilustracija naglih promjena napona



Slika 3. Ilustracija nekih oblika vala fluktuacije napona

$$\frac{\Delta U}{|\dot{U}_1|} = 100 \frac{(R_A + R_N) \cdot \dot{I}}{|\dot{U}_1|} (\%) \quad (2)$$

Oznake znače sljedeće:

$\dot{U}_1$  — napon na priključku neopterećenog potrošača

$\dot{U}_2$  — napon na priključku opterećenog potrošača

$R_A$  — rezistanciju faznog vodiča

$R_N$  — rezistanciju neutralnog vodiča

$X_A$  — reaktanciju faznog vodiča

$X_N$  — reaktanciju neutralnog vodiča

$\dot{I}$  — neizobličenu struju potrošača.

#### b) Jednofazni potrošač spojen između dvije faze

Ovdje treba uzeti u obzir da su svi uređaji osjetljivi na naponske fluktuacije (npr. svjetiljke), uvijek spojene između faze i neutrala.

Ako npr. promatramo faze mreže  $R$  i  $T$ , onda je relativna promjena napona analogna slučaju a):

$$\frac{\Delta \dot{U}_{RN}}{|\dot{U}_{RN1}|} = 100 \frac{|\dot{U}_{RN1}| - |\dot{U}_{RN2}|}{|\dot{U}_{RN1}|} (\%) \quad (3)$$

$$\frac{\Delta \dot{U}_{TN}}{|\dot{U}_{TN1}|} = 100 \frac{|\dot{U}_{TN1}| - |\dot{U}_{TN2}|}{|\dot{U}_{TN1}|} (\%) \quad (4)$$

gdje je:

$$\dot{U}_{RN1} = \frac{1}{\sqrt{3}} / \dot{U}_{TR2} + \dot{I}(2R_A + j2X_A) / e^{-j\pi/6}$$

$$\dot{U}_{RN2} = \dot{U}_{RN1} + \dot{I}(R_A + jX_A)$$

$$\dot{U}_{TN1} = 1 / \sqrt{3} / \dot{U}_{TR2} + \dot{I}(2R_A + j2X_A) / e^{-j\pi/6}$$

$$\dot{U}_{TN2} = \dot{U}_{TN1} - \dot{I}(R_A + jX_A)$$

$\dot{U}_{RN1}$  i  $\dot{U}_{TN1}$  — su fazni naponi na priključku neopterećenih uređaja, (potrošača)

$\dot{U}_{RN2}$  i  $\dot{U}_{TN2}$  — isto, samo kod opterećenih

$\dot{U}_{TR2}$  — linijski napon na priključku opterećenog uređaja (potrošača).

U pojednostavnjenom obliku imamo izraz

$$\frac{\Delta U}{|\dot{U}_1|} = 100 \frac{\sqrt{R_A^2 + X_A^2}}{\dot{U}_1} I (\%) \quad (5)$$

Ovom formulom dobijemo točnije vrijednosti kod faza s većim fluktuacijama kad je  $R_A = \sqrt{3} X_A$ ; ako se računa s referentnom impedancijom  $R_A + jX_A = 0.24 + j 0.15 \Omega$ , pogreška je manja od 3.3%.

#### c) Savršeno izbalansirani trofazni potrošač bez neutrala

Relativna rezultantna promjena napona kao postotak napona  $U_1$  neopterećenog potrošača glasi:

$$\frac{\Delta U}{|\dot{U}_1|} = 100 \frac{|\dot{U}_2 + \dot{I}(R_A + jX_A)| - |\dot{U}_2|}{|\dot{U}_2 + \dot{I}(R_A + jX_A)|} (\%) \quad (6)$$

tu je  $U_2$  — fazni napon na priključku opterećenog potrošača.

U pojednostavnjenom obliku formula glasi:

$$\frac{\Delta U}{|\dot{U}_1|} = 100 \frac{R_A \cdot I}{|\dot{U}_1|} (\%) \quad (7)$$

gdje je  $U_1$  -fazni napon.

#### 4. PRIKAZ IZVODA POJEDNOSTAVNJIH RELACIJA ZA ODREĐIVANJE FLUKTUACIJA NAPONA

Izraz od kojeg se polazi jest kolebanje napona za trofazno napajano potrošača:

$$\Delta U |\dot{U}_1| = \frac{|\dot{U}_2 + \dot{I}(R_A + jX_A)| - |\dot{U}_2|}{|\dot{U}_1|} 100 (\%), \quad (8)$$

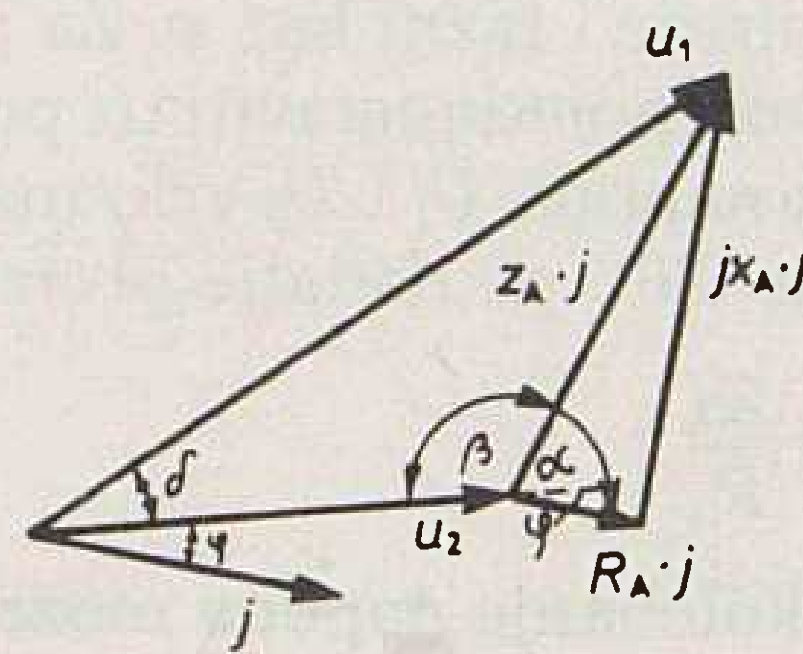
gdje je:

$R_A + jX_A = Z_A$  — impedancija mreže

$\dot{U}_1$  — napon neopterećenog potrošača

$\dot{U}_2$  — napon opterećenog potrošača.

Sljedeći vektorski dijagram pokazuje odnose na jednoj fazi.



Slika 4.

Napon neopterećenog potrošača je

$$\dot{U}_1 = (R_A + jX_A) \dot{I} + \dot{U}_2,$$

što se može izraziti kao

$$\dot{U}_1 = \sqrt{Z_A^2 \cdot \dot{I}^2 + U_2^2 - 2U_2 \cdot \dot{I} \cdot Z_A \cdot \cos \beta}. \quad (9)$$

Ako za kut  $\beta$  uvedemo zamjenu jer je  $\alpha + \beta - \varphi = \pi$ , a dalje

$$\beta = \pi - \alpha + \varphi,$$

gdje je:

$\varphi$  — fazni pomak između struje i napona  $U_2$

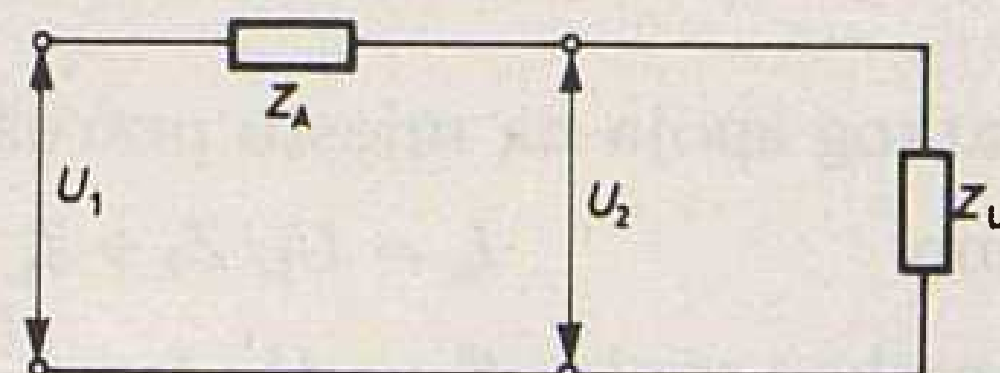
$\alpha$  — kut između pada napona na otporu i pada napona na ukupnoj impedanciji.

S druge strane za kut  $\alpha$  vrijedi:

$$\alpha = \arctg \frac{X_A}{R_A}, \text{ pa je dalje}$$

$$\beta = \pi + \varphi - \arctg \frac{X_A}{R_A}. \quad (10)$$

U izrazu za proračun kolebanja napona (8) traže se, nadalje, vrijednosti napona opterećenog potrošača  $U_2$  i njegove struje  $I$ . Te vrijednosti većinom ne znamo pa se nastoje zamijeniti parametrima voda.



Slika 5.

Pojedine oznake na shemi znače:

$Z_A$  — impedanciju mreže (viša mreža + mrežni transformator)

$Z_L$  — impedanciju voda od transformatora do potrošača.

Iz sheme proizlazi da je

$$U_1 = (Z_A + Z_L) \cdot I$$

$$U_2 = Z \cdot I.$$

Nakon uvrštenja u (8) i sređivanja dobijemo izraz

$$\frac{\Delta U}{U_1} = \frac{\sqrt{Z_A^2 + Z_L^2 - 2Z_A \cdot Z_L \cdot \cos\left(\pi + \varphi - \arctg \frac{X_A}{R_A}\right)} - Z_L}{Z_A + Z_L} \quad (11)$$

Za proračun moramo, dakle, znati impedancije pojedinih dijelova mreže i fazni kut  $\varphi$ . Za praktičnu upotrebu izraz se može pojednostaviti uz pretpostavku da je kut  $\delta$  između napona  $U_1$  i  $U_2$  vrlo malen. Odatle se kut  $\alpha$  približava  $180^\circ$  pa nadalje proizlazi:

$$\varphi = \arctg \frac{X_A}{R_A}$$

Dakle, izraz za kolebanje napona može se pisati kako to predlaže IEC:

$$\frac{\Delta U}{U_1} = \frac{Z_A \cdot I}{U_1} = \frac{(R_A + jX_A)I}{U_1} \cdot 100 (\%). \quad (13)$$

Kako je, nadalje, napon neopterećenog izvora

$$U_1 = (Z_A + Z_L)I, \text{ onda vrijedi:}$$

$$\frac{\Delta U}{U_1} = \frac{Z_A}{Z_A + Z_L} 100 (\%). \quad (14)$$

Za granični slučaj kad su djelatni otpori zanemarivi (rad elektrolučne peći ili transformatora za zavarivanje), ovaj izraz pišemo u obliku:

$$\frac{\Delta U}{U_1} = \frac{X_A}{X_A + X_L} 100 (\%), \quad (15)$$

gdje je:

$X_A$  — reaktancija mreže (uključujući mrežni transformator) ( $\Omega$ )

$X_L$  — reaktancija n. n. voda od transformatora do potrošača ( $\Omega$ ).

Slijedi, dakle, da na kolebanje napona utječe odnos impedancije mreže prema ukupnoj impedanciji voda do potrošača. Povoljno je što više smanjiti impedanciju mreže sve do mjesta napajanja potrošača. Kolebanje struje ne smije na impedanciji mreže stvarati velike padove napona.

Stoga se, logično, kolebanje napona može izraziti također u ovisnosti o snazi kratkog spoja gdje imamo da je:

— promjena prividnog opterećenja potrošača  $S = I \cdot U_2$

— struja kratkog spoja na mjestu potrošača

je približno  $I_k = U_1 / Z_A + Z_L \approx U_2 / Z_L$

a snaga kratkog spoja  $S_K = U_1 \cdot I_K = \frac{U_1 \cdot U_2}{Z_L}$ .

Odavde vrijedi da je odnos

$$\frac{\Delta U}{U_1} = \frac{I \cdot Z_L}{U_1},$$

pa se za relativnu promjenu napona može pisati konačno:

$$\frac{\Delta U}{U_1} = \frac{\Delta S}{S_K} \cdot 100 (\%), \quad (16)$$

što je vrlo pogodan izraz za proračun dinamičkih fluktuacija napona u niskonaponskoj mreži.

## 5. DOPUŠTENE DULJINE NISKONAPONSKIH VODOVA S OBZIROM NA RELATIVNU VELIČINU KOLEBANJA NAPONA

Primjena većih trošila u instalacijama potrošača na niskom naponu (kao npr. brzogrijači vode i kotlovi za centralno grijanje, a posebno transformatori za zavarivanje ili impulsno upravljani tiristorski uređaji) izazivaju naponska kolebanja koja ovise o veličini presjeka vodiča i duljini voda. U tom smislu će se svakako morati, prije ili kasnije, uzeti u obzir takvo dimenzioniranje ovih veličina koje će smanjiti na minimum rizik neugodnih kolebanja napona.

Krivulja koju daje IEC (sl. 6. i 7.) »dopušta« relativno kolebanje napona od oko

2 % za 1 do 3 uključ./min

1,5 % za 3 do 10 uključ./min.

Kako flikeri nastaju kod 2 do 10 naponskih varijacija/sek, to je dopušteno kolebanje napona od samo 0.45 do 0.65 %.

Malobrojne varijacije napona (1 do 3 uključ./min) karakteristične su za veća obična kućanska trošila (brzogrijači npr.), čak i ako ih je više u istoj niskonaponskoj mreži. Vjerojatnosti da će se više takvih trošila uključiti u istoj minuti vrlo strmo padaju s brojem aparata. U tom smislu, dakle, pojava filiker-efekata od ovih uređaja nije vjerojatna, pa se mreža može dimenzionirati na kolebanje (pad) napona od 2%, što daje još uvijek dovoljno racionalna rješenja. Slika 8. prikazuje dopuštene duljine vodova niskog napona kod uključenja jednog većeg trošila od 18 i 24 kW (trofazno), uz dopuštenu varijaciju napona 2%.

S druge strane, odnos parametara niskonaponske mreže prema snazi trošila koje izaziva fliker nešto je složeniji. U izrazu (16) pojavljuje se snaga kratkog spoja koja opada s duljinom voda.

Ako je dopušteno kolebanje napona kod flikera sa 2 do 10 varijacija u sekundi, od 0.65 do 0.45 %, onda vrijedi

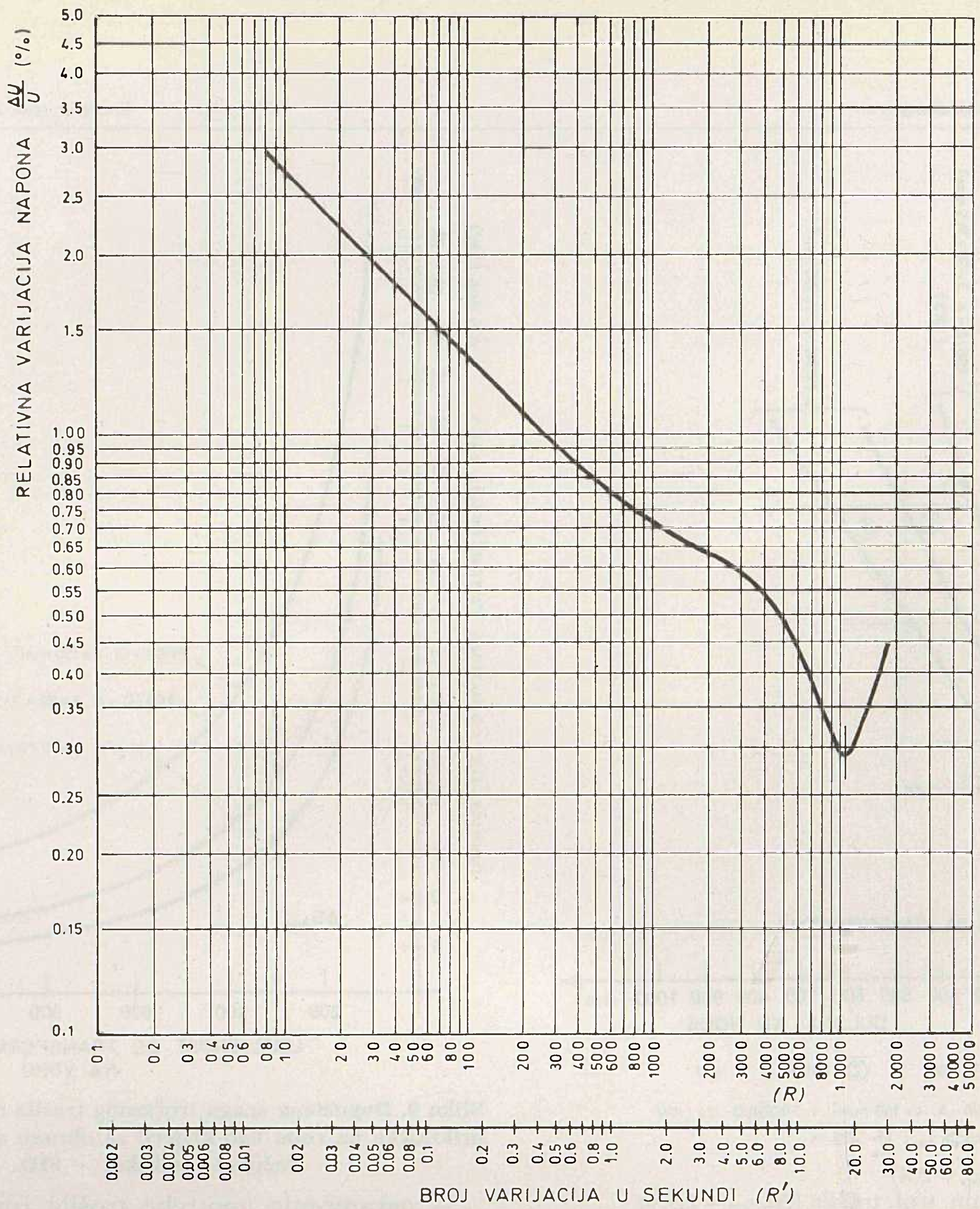
$$S = (0.0065 \div 0.0045) S_K.$$

Prividna snaga trofaznog K.S. (uz donji nivo regulacije — 5%) iznosi

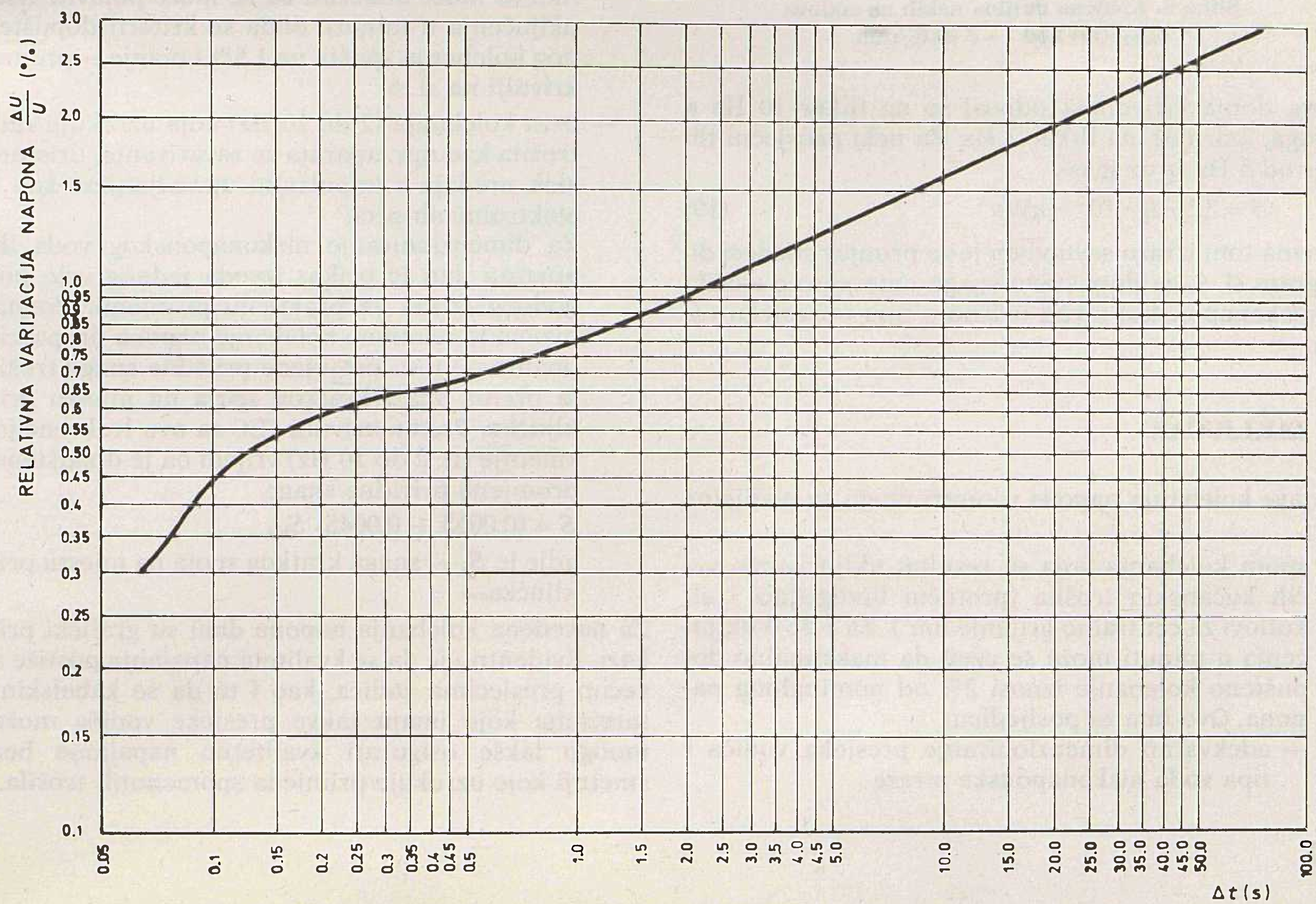
$$S_K = 0.95 \cdot \sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot I_k = 0.625 \cdot I_k. \quad (17)$$

Onda je dopuštena snaga potrošača koji proizvodi kolebanje napona najviše:

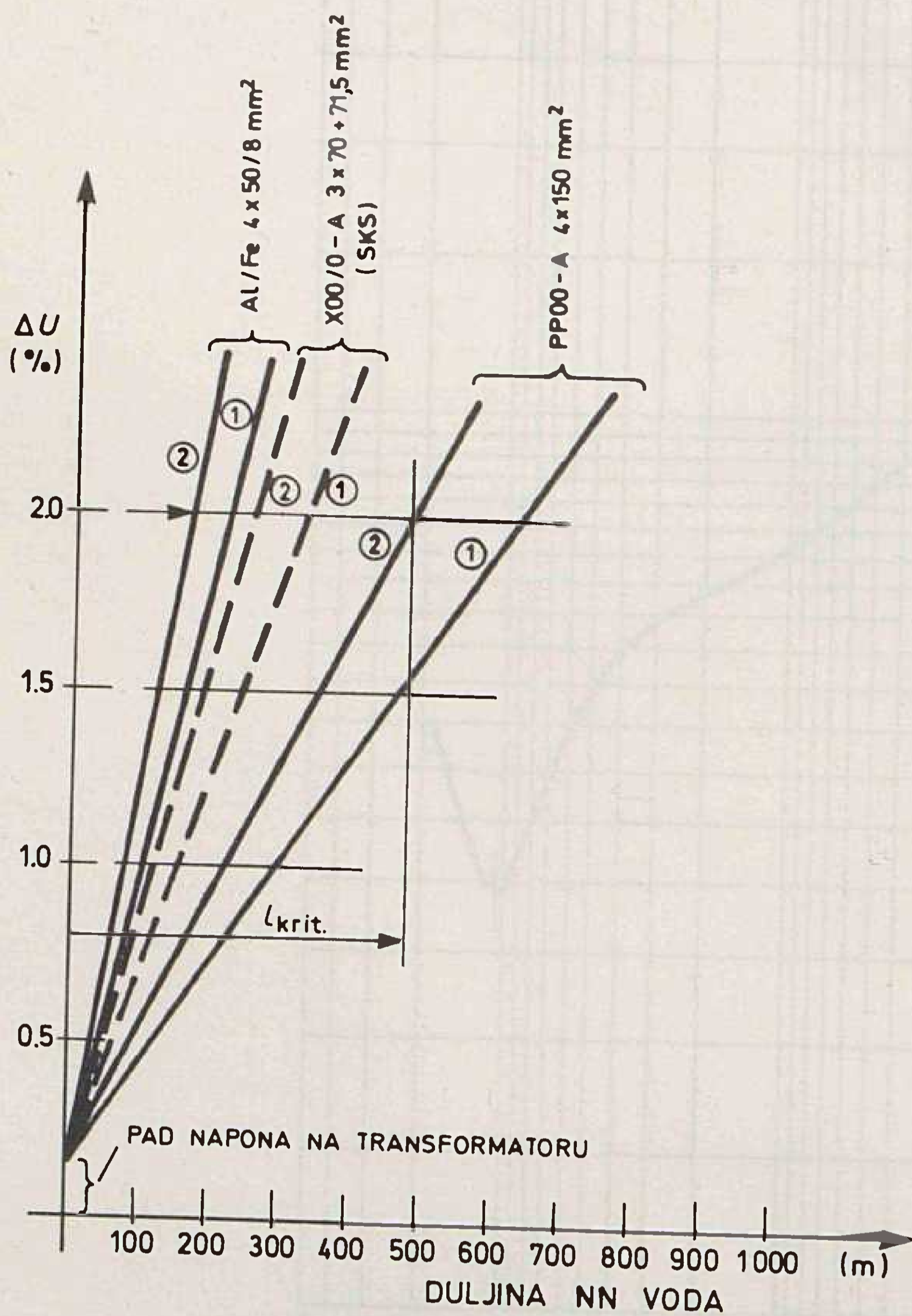
$$S = (2.81 \div 4.06) \cdot I_k \cdot 10^{-3} (\text{kW}). \quad (18)$$



Slika 6. Amplituda maksimalno dopuštenih procentnih varijacija napona  $\Delta u/u$  (%) u odnosu na njihov broj u sekundi ili minuti



Slika 7. »Vrijeme pamćenja«  $t$ (s) uzrokovano relativnom varijacijom napona  $\Delta u/u$  (%)



① TROŠILO 18 KW      ② TROŠILO 24 KW

NPR.: ZA VOD PP00-A 4x150 mm<sup>2</sup> I TROŠILO 24 KW  
 $\Delta U_{dop} = 2\% \Rightarrow l_{krit} \cong 475 \text{ m}$

Trof. trošila ( $\Delta U_{dop} = 2\%$ )  
 Kod 3–10 uklj./min. trof. trošila ( $\Delta U_{dop} = 1,5\%$ )  
 Kod  $\leq 30$  uklj./min. trof. trošila ( $\Delta U_{dop} = 1,0\%$ )

**Slika 8. Kritična duljina nekih nn-vodova**  
 $L_{KRIT}(m)$  kod 1–3 uklj./min.

Prva donja vrijednost odnosi se na fliker 10 Hz a druga, (gornja), na fliker 2 Hz. Za neki prosječni fliker od 5 Hz izraz glasi

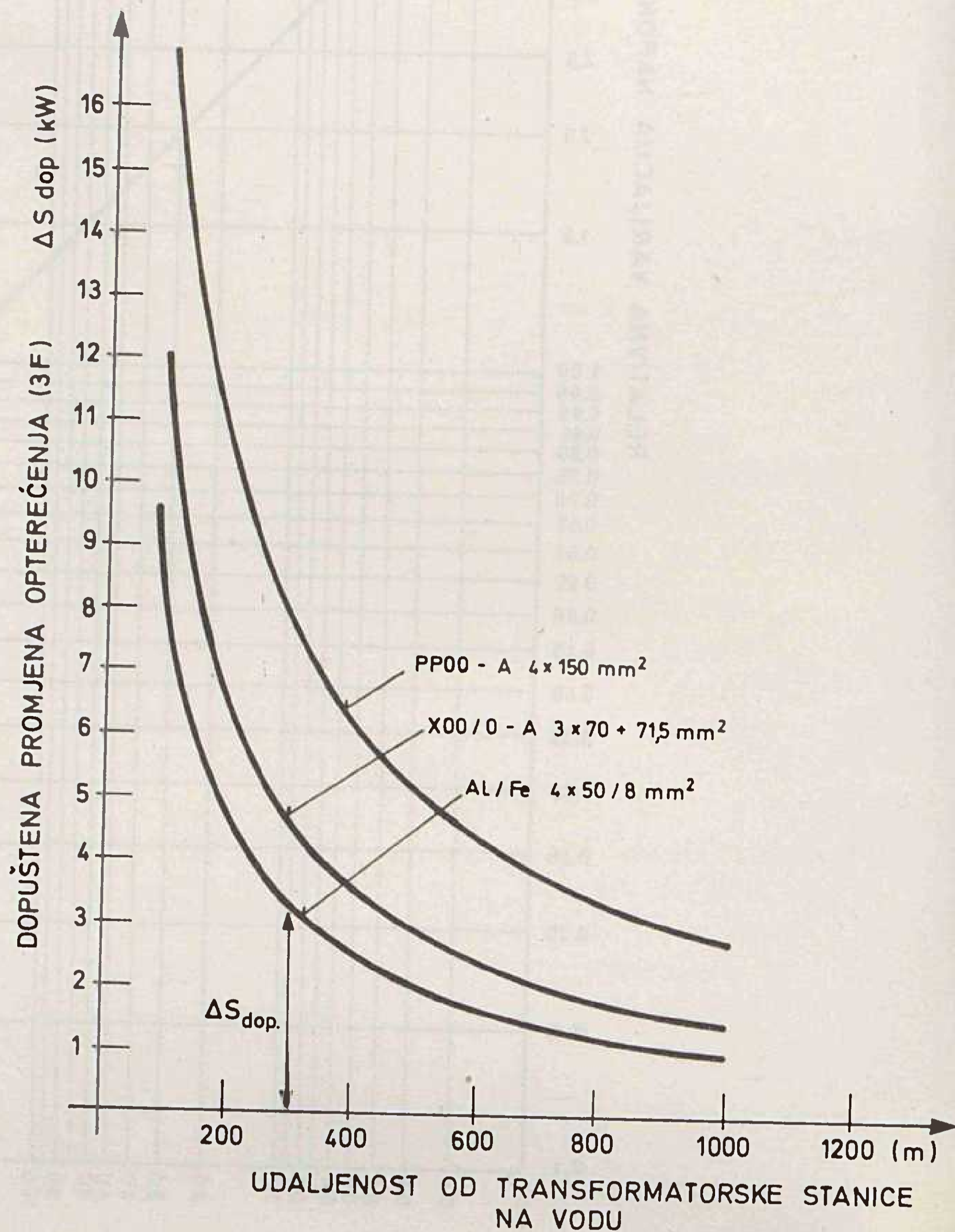
$$S = 3.5 \cdot I_K \cdot 10^{-3} \text{ (kW)}. \quad (19)$$

Prema tom izrazu sastavljen je za primjer sljedeći dijagram sl. 9. za dopuštenu snagu ometajućeg trošila u niskonaponskoj mreži ovisno o tipu i presjeku voda.

## 6. ZAKLJUČAK

Pojave kolebanja napona u mreži mogu se podijeliti na:

- spora kolebanja koja su rezultat uključivanja većih kućanskih trošila (protočni brzogrijači i el. kotlovi za centralno grijanje npr.). Za 1 do 3 uključivanja u minuti može se uzeti da maksimalno dopušteno kolebanje iznosi 2% od nominalnog napona. Ovo ima za posljedicu:
  - adekvatno dimenzioniranje presjeka vodiča i tipa voda niskonaponske mreže



**Slika 9. Dopuštena snaga trofaznog trošila ovisno o mjestu priključka na vodu kao kriterij za obranu od fliker-efekta, računato za fliker ~ 5Hz**

- ograničenje upotrebe trošila iznad određene snage (ovisno o presjeku vodiča i tipa voda). Ako se može dokazati da se može pojaviti više uključivanja u minuti, onda se kriterij dopuštenog kolebanja spušta na 1.5% i manje — prema krivulji na sl. 6.

- brza kolebanja (2 do 10 Hz) koja uzrokuju rad trošila kao npr. aparata za zavarivanje, tiristor-skih uređaja s impulsnim upravljanjem kao i elektro-lučnih peći.

Za dimenzioniranje niskonaponskog voda ili aparata dan je prikaz izvoda jednog vrlo pogodnog izraza za praktičnu primjenu. Prema ovome je relativno kolebanje napona proporcionalno odnosu promjene prividne snage trošila prema snazi kratkog spoja na mjestu priključka. Prema krivulji IEC za ovu frekvenciju smetnje (tj. 2 do 10 Hz) vrijedi da je dopuštena promjena prividne snage

$$S = (0.0065 \div 0.0045) S_K,$$

gdje je  $S_K$  — snaga kratkog spoja na mjestu priključka.

Za navedena kolebanja napona dani su grafički prikazi. Evidentno je da se kvaliteta napajanja postiže s većim presjecima vodiča, kao i to da se kabelskim mrežama koje imaju takve presjeke vodiča može mnogo lakše osigurati kvalitetno napajanje bez smetnji koje uzrokuje primjena spomenutih trošila.

## LITERATURA

- [1] IEC, Publication 555-3, Disturbances in supply systems caused by household appliances and similar electrical equipment, First edition, 1982.
- [2] K. B. NEVRIES, F. HOFFMANN i K. PASEL: »Beeinflussung der Niederspannungsnetze durch Geräte mit Schwingungspaketsteuerung«, Elektrizitätswirtschaft 8/1972.
- [3] Z. HRADILEK: »Metoda proračuna ometajućih utjecaja dinamičkih odstupanja napona«, Energetika (ČSVTS) 12/1982.
- [4] K. J. OEHMS: Erfahrungen mit 33-kW — Durchlauferhitzern«, Elektrizitätswirtschaft 10/1973.
- [5] E. MIHALEK: »Mogućnost i posljedice priključivanja velikih trošila na n. n. mrežu s preporukom za zaštitu i zakonsku regulativu«, studija, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1985.

## RAPID AND SLOW VOLTAGE CHANGES AND CONSEQUENCES ON DESIGNING OF LV NET AND APPARATUS

In the article are presented IEC 553-3 standards and consequences on designing of LV net parameters. Defined are permitted apparatus loads that can be connected to net in relation to the most frequent transients.

## SCHNELLE UND LANGSAME SCHWANKUNGEN DER SPANNUNG SOWIE DIE FOLGEN FÜR DIE DIMENSIONIERUNG DER PARAMETER DES NIEDERSPANNUNGSNETZES UND DER GERÄTE

Beschrieben werden die Standarde IEC — 555 — 3 und die Folgen die für das Dimensionieren der Parameter des Niederspannungsnetzes entstehen. Bestimmt wurden auch erlaubte Stärken der Geräte die aus Netz angeschlossen werden können, abhängig von den häufigsten Arten und der Intensität der Störungen.

## ВЫСТРЫЕ И МЕДЛЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ И ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ РАЗМЕРОВ СЕТЕЙ И АППАРАТОВ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Приводятся стандарты МЭК-555-3 и последствия и вызываемые ими последствия при определении размеров сетей низкого напряжения. Определены также дополнительные мощности устройств, которые могут быть подключены на сеть в зависимости от наиболее частых видов и интенсивности помех.

Naslov pisca:

Mr. Ernest Mihalek, dipl. inž.  
Institut za elektroprivredu,  
41000 Zagreb, Proleterskih b. 37,  
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:  
1989-07-12

**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**



# OSVRT NA PRIMJENU MALOULJNIH PREKIDAČA

Doc. dr. Rusmir Mahmutćehajić — inž. Silvio Hajdin, Osijek

UDK 621.3.066.3  
STRUČNI RAD

Opisani su visokonaponski prekidači koji se kao medijem za gašenje luka i izoliranje koriste uljem. Daje se osvrt na osobine prekidnog medija, osnovne tipove prekidnih sistema s primjerima. Navode se karakteristike ovog tipa prekidača u odnosu na druge visokonaponske prekidače u najširoj primjeni. Ovim radom, zajedno s prethodno objavljenim člancima [1, 2] o pneumatskim i SF<sub>6</sub> prekidačima i [3] o vakuumskim prekidačima autori žele zaokružiti prikaz tehničkih osobina prekidača koji se primjenjuju u visokonaponskim mrežama, što bi zapravo predstavljalo uvod u detaljnija razmatranja pitanja matematičkog modeliranja električnog luka u simuliranju sklopnih prijelaznih pojava.

**Ključne riječi:** sklopni aparati, malouljni prekidači, karakteristike i položaj u sklopnim postrojenjima

## 1. UVOD

Primjena ulja kao prekidnog medija prisutna je od najranijih izvedbi prekidača. Na osnovi dobrih karakteristika prekidanja struje u ulju ova se prekidna tehnika neprekidno razvijala od početka stoljeća, da bi tek posljednjih deset do dvadeset godina polagano počela posustajati pred širokom primjenom prekidnih tehnika sa stlačenim plinom ili vakuumom.

Između mnogih razvijenih podvrsta uljnih prekidača<sup>1</sup> ovaj će se rad baviti malouljnim prekidačima<sup>2</sup>, logičnim rezultatom nastojanja da se akumulirana znanja o prekidanju luka u ulju i povišeni zahtjevi sigurnosti primijene u prekidaču koji će svojim karakteristikama moći konkurirati ostalim prekidnim tehnikama. Početni impuls ovim nastojanjima predstavljao je izum lučne komore s poprečnim strujanjem (Whitney et al., 1930) [4,5], koji je omogućio korištenje manje količine ulja po polu za iste ili teže uvjete sklapanja nego kod uljnih prekidača. Ova činjenica, kao i dug period stalnog usavršavanja, govori u prilog konstataciji da malouljni prekidač, u ukupnosti svojih karakteristika, vjerojatno predstavlja najviši doseg prekidne tehnike s uljem.

## 2. OSOBINE ULJA KAO MEDIJA ZA GAŠENJE LUKA I IZOLIRANJE

Najraširenija izolacijska tekućina korištena u visokonaponskim prekidačima jest mineralno ulje. Neke karakteristike mineralnog ulja koje se koristi u malouljnim prekidačima jesu [4,6]:

— dielektrična čvrstoća (50 Hz)	10 kV/mm
— dielektrična čvrstoća (1/50 us)	25 kV/mm
— relativna dielektričnost	2,2
— plamište uljnih para u smjesi sa zrakom	135 °C
— stinište	— 45 °C
— vrelište	170–200 °C
— toplinsko istezanje	7,5 × 10 <sup>-4</sup> po °C
— toplinska vodljivost: mirno ulje	0,15 W/m <sup>2</sup> °C
male brzine	0,2 W/m <sup>2</sup> °C
velike brzine	0,4 W/m <sup>2</sup> °C

Ulje koje se koristi u prekidačima ima nešto veći viskozitet nego ono korišteno u transformatorima radi postizanja višeg plamišta.

Funkcija ulja u prekidaču jest oslobađanje vodika tijekom gašenja luka i ostvarivanje izolacije u međukontaktom razmaku nakon gašenja luka. U tekućinskim sklopnim aparatima, u koje se ubrajaju i malouljni prekidači, u toku prekidanja struje nastaje plinsko-parna smjesa za gašenje rastvaranjem tekućih materija na račun toplinske energije luka, pa će intenzitet gašenja luka biti direktno zavisano od jakosti prekidne struje. U malouljnom prekidaču, kao tekućinskom sklopnom aparatu sa zavisnom karakteristikom gašenja, nastaje luk u čijoj jezgri vlada vrlo visoka temperatura (u ovisnosti o vrsti plina i njegovu tlaku, reda veličine 10 000 do 15 000 K). Oko luka se razvija plinski mjehur koji čine idući od područja ulja na temperaturi okoline, ulja na temperaturi vrelišta, područje zasićenih para ulja, područje pregrijanih para ulja i, uz jezgru luka, uski plašt plina, većinom vodika [7]. Prema tome, luk gori u plinovitom mediju, pri čemu velika toplinska vodljivost vodika omogućava dobro hlađenje luka i, neposredno nakon njegova gašenja, deionizaciju rezidualnog stupca [7]. Ta je pojava poznata pod nazivom »vodikov efekt«. Polazeći od najznačajnijeg djelovanja vodika, odvođenja topline, treba napomenuti da najveći utjecaj na gašenje luka pri većim strujama u malouljnim prekidačima ima tzv. ekspanzijski efekt [8]. Ekspan-

<sup>1</sup> Uljni prekidač — engl. tank-bulk oil circuit-breaker — njem. Ölkesselschalter — rus. bakovij vijkjučatelj.

<sup>2</sup> Malouljni prekidač — engl. oil-minimum (small-oil volume; low-oil) circuit-breaker — njem. ölarmmer Schalter — rus. malomasljanij vijkjučatelj.

zijskim efektom naziva se pojava naglog isparavanja vrelog sloja tekućine na granici plinskog mjehura nakon gašenja luka, čime dolazi do strujanja pare u prostor rezidualnog stupca i dodatnog volumnog hlađenja.

Prema navedenom, kombinacija vodikova i ekspanzijskog efekta, uz određene tehničke preduvjete, omogućava efikasno prekidanje kako manjih, tako i većih struja u malouljnom prekidaču.

Kada se razmatraju nedostaci raspravljanog medija za gašenje luka i izoliranje, glavni je nedostatak mineralnih ulja korištenih u prekidačima u činjenici da zbog djelovanja luka dolazi do karbonizacije, čime se postepeno smanjuje dielektrična čvrstoća, što opet iziskuje povremenu izmjenu ili pročišćavanje ulja. Neovisno o tome, redovnim je održavanjem također potrebno odstranjivati ugljik i ostale nečistoće nataložene u lučnoj komori, što zbog relativno male količine ulja u vezi s učestalošću prekidnih funkcija dodatno opterećuje raspoloživost malouljnog prekidača.

### 3. OSNOVNE TEHNIČKE KARAKTERISTIKE MALOULJNIH PREKIDAČA

#### 3.1. Osnovni tipovi prekidnih sistema

##### 3.1.1. *Općenito*

Polovi uljnog prekidača smješteni su u masivni čelični kotao s velikom količinom ulja koje služi i za gašenje luka i za izolaciju prema uzemljenoj masi. Potrebni izolacijski nivoi u odnosu na napon sistema moraju se postići uljem među kontaktnim elementima pod naponom unutar kotla, kao i između stijenke kotla i pojedinoga kontaktnog elementa. Kada se uzme u obzir i potencijalna opasnost od eksplozije, očito je da je izvedba uljnog prekidača opterećena visokim zahtjevima u pogledu izolacijskih nivoa i sigurnosti.

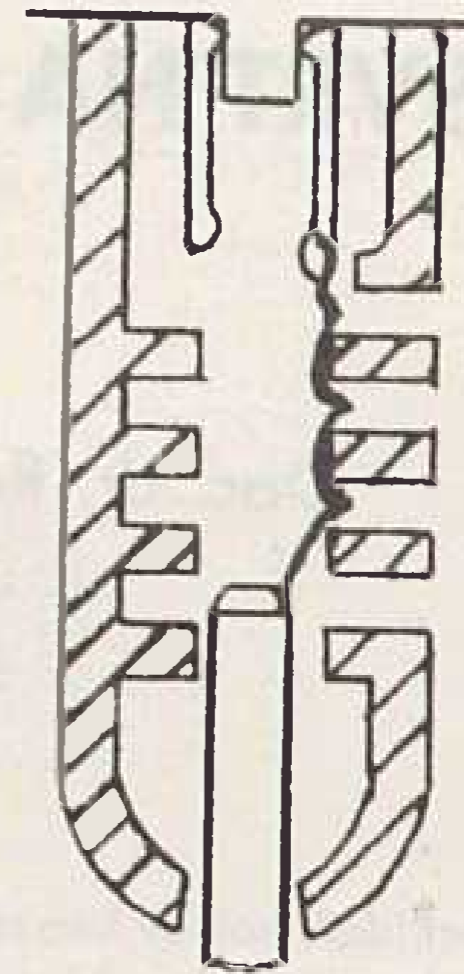
U malouljnom prekidaču nisu izraženi toliko visoki zahtjevi u pogledu izolacijskog nivoa jer je u ovom slučaju »kotao« cijev od izolacijskog materijala, na čijim se krajevima nalaze priključci vanjskog kruga. Prekidna jedinica, budući da je na naponu sistema, mora u ovom slučaju biti postavljena na jednom potpornom izolatoru ili više njih. Potporni izolator može biti ispunjen uljem koje nije u vezi s onim korištenim u lučnoj komori, čime se ne narušava nivo izolacijske čvrstoće, ili izveden kao kruti porculanski izolator.

Takva izvedba rezultira prekidačima malih dimenzija, koji se u ovisnosti o naponu sistema mogu povezivati u seriju, a također je moguće, u svrhu kontrole naponske razdiobe, u toku prekidanja instalirati paralelne otpornike i/ili kondenzatore.

S obzirom na princip gašenja luka, prekidne jedinice mogu se svrstati u dva osnovna tipa: prekidne jedinice s poprečnim strujanjem plinova i prekidne jedinice s uzdužnim strujanjem plinova, iako se ponekad primjenjuje i kombinacija tih sistema strujanja.

#### 3.1.2. *Poprečno strujanje*

Princip poprečnog strujanja u lučnoj komori malouljnog prekidača pokazuje slika 1.



Slika 1. Shematski prikaz lučne komore s poprečnim strujanjem

U ovom slučaju luk se pomicanjem kontakta dovodi ispred serije bočnih horizontalnih pregrada. Toplina luka izaziva stvaranje plinskog mjehura, pri čemu raste tlak nastalih plinova (uglavnom vodika) koji savijaju luk prema horizontalnim pregradama. Kako bi se veći dio luka zadržao unutar horizontalnih pregrada, potreban je povećan napon. Prije nego što luk izađe iz pregrada sam se kratko spaja na ulazima.

Taj se proces nastavlja kroz period luka u intervalima reda veličine desetaka mikrosekundi, iako ovi intervali nisu konstantni radi stalne promjene utjecajnih faktora izvan i unutar kontrolnog područja luka. Napokon, kada tlak unutar lučne komore postane dovoljno visok i luk dovoljno izdužen, na nultoj vrijednosti struje mreže frekvencije luk se gasi.

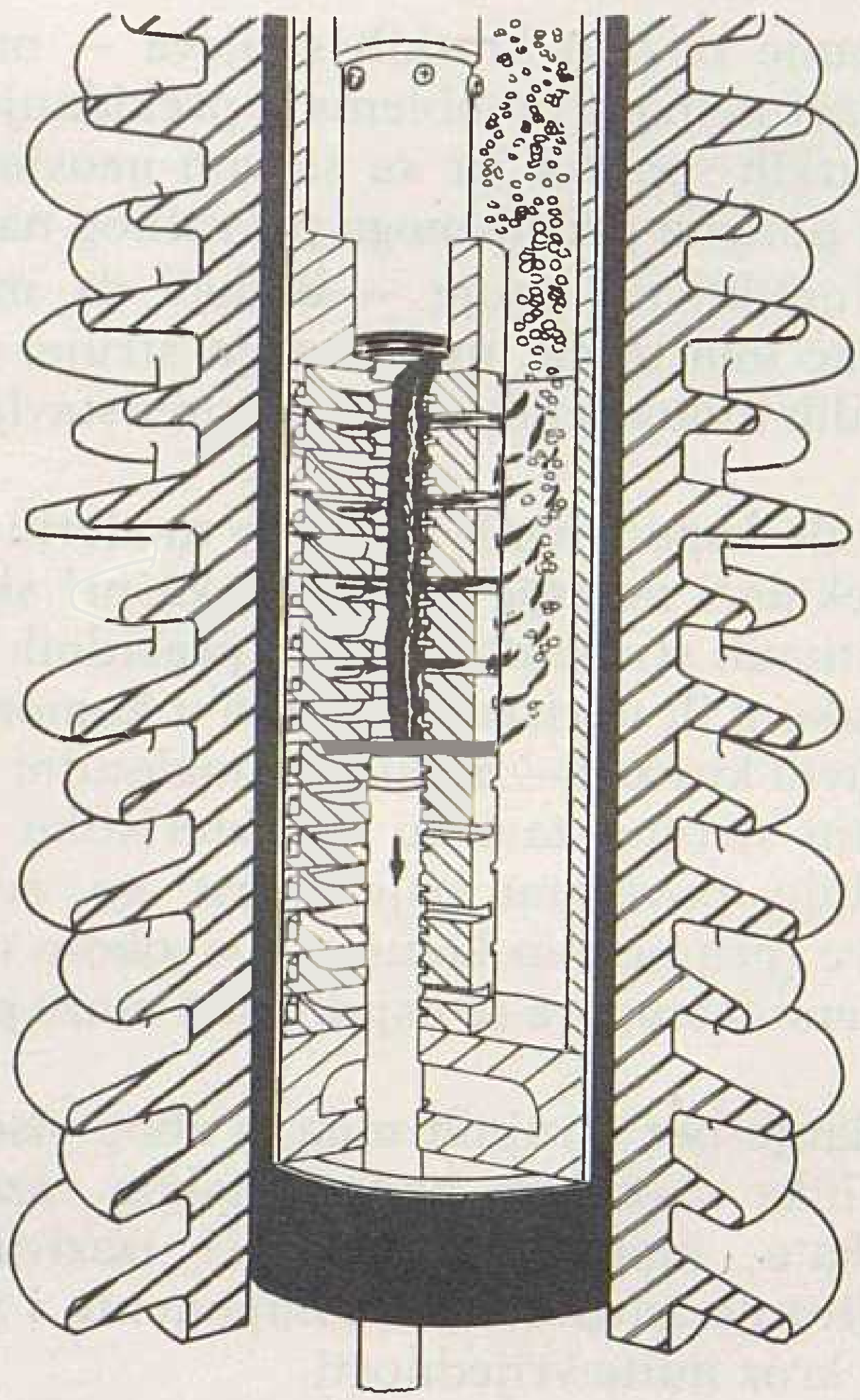
Luk uvijek gori unutar plinskog mjehura, koji se izdužuje i širi kroz horizontalne pregrade izvan lučnog kontrolnog područja. Vrući plinovi koji izlaze iz pregrada u početku su još uvijek ionizirani i vrlo je bitno osigurati prikladnu izvedbu pregrada kako ne bi došlo do proboja između pregrada s vanjske strane kontrolnog područja luka.

Prolaskom struje kroz nultu vrijednost privremeno je zaustavljen dotok energije, čime se smanjuje temperatura lučne staze i dolazi do deionizacije lučnog područja. Dielektrična čvrstoća uspostavlja se odmah zatim, čime se osigurava definitivno prekidanje luka.

Nekoliko sljedećih primjera izvedaba malouljnih prekidača s poprečnim strujanjem u ovom odjeljku treba da s jedne strane, pokažu pristupe izvedbama lučnih komora, a s druge strane da pokažu odabrane tipove prekidača i iz područja tzv. srednjeg napona (do 38 kV) i iz područja tzv. visokog i vrlo visokog napona.

Slika 2. pokazuje lučnu komoru malouljnog prekidača za vanjsku montažu tipa HLR-E proizvođača »ASEA« [9].

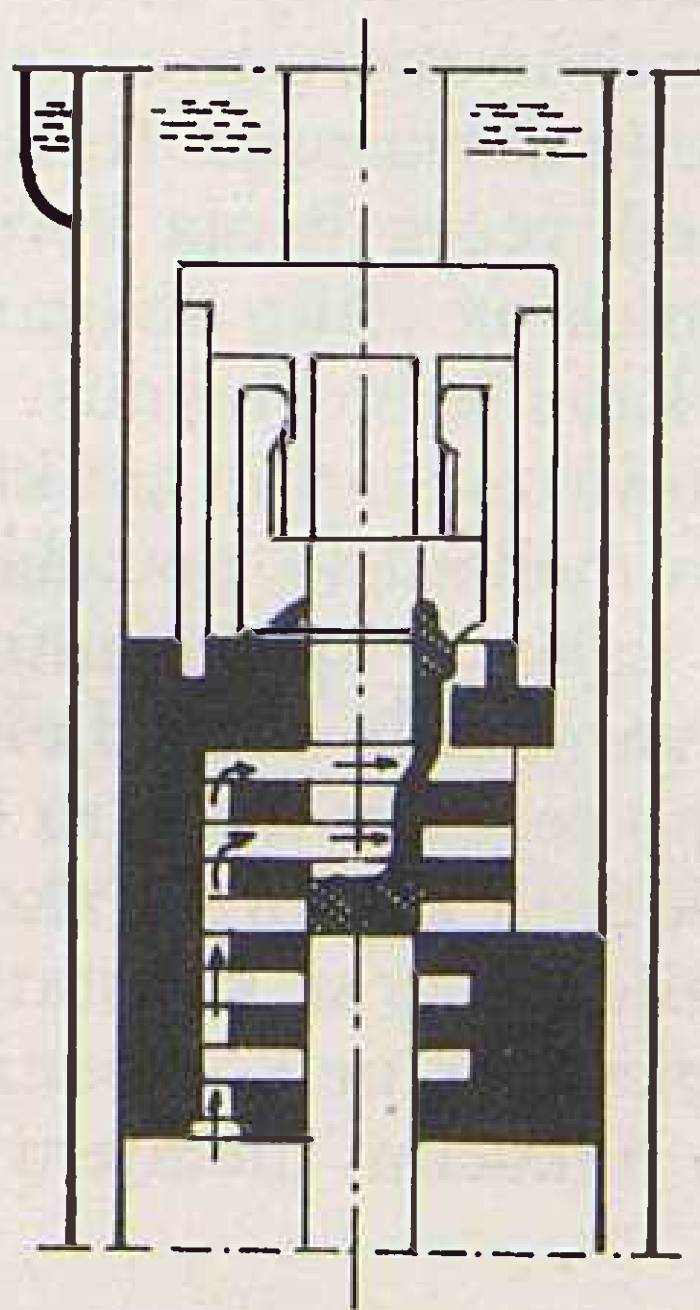
Prikazana je komora s poprečnim strujanjem načinjena od većeg broja diskova velike mehaničke čvrstoće, otpornih luku. Ekscentrični smještaj kontakata u komori za gašenje osigurava poboljšanje pre-



Slika 2. Lučna komora prekidača HLR-E (»ASEA«)

kidne karakteristike. Prekidna jedinica je hermetički zatvorena, ispunjena uljem i tlačena dušikom do maksimalnog tlaka 7 bar, čime su znatno smanjene mogućnosti ponovnog preskoka prilikom sklapanja kapacitivnih struja. Prekidači HLR-E izvode se za nazivne napone između 72,5 i 550 kV, nazivne trajne struje 2 500 A i prekidne moći (asimetrične) između 31,5 i 63 kA, uz primjenu od jedne do šest prekidnih jedinica po polu u seriji, u ovisnosti o naponskom nivou primjene.

Još jedan primjer prekidača s poprečnim strujanjem pokazuje slika 3, na kojoj je prikazana lučna komora malouljnog prekidača za unutrašnju montažu serije 2 M domaćeg proizvođača »Rade Končara« [10].

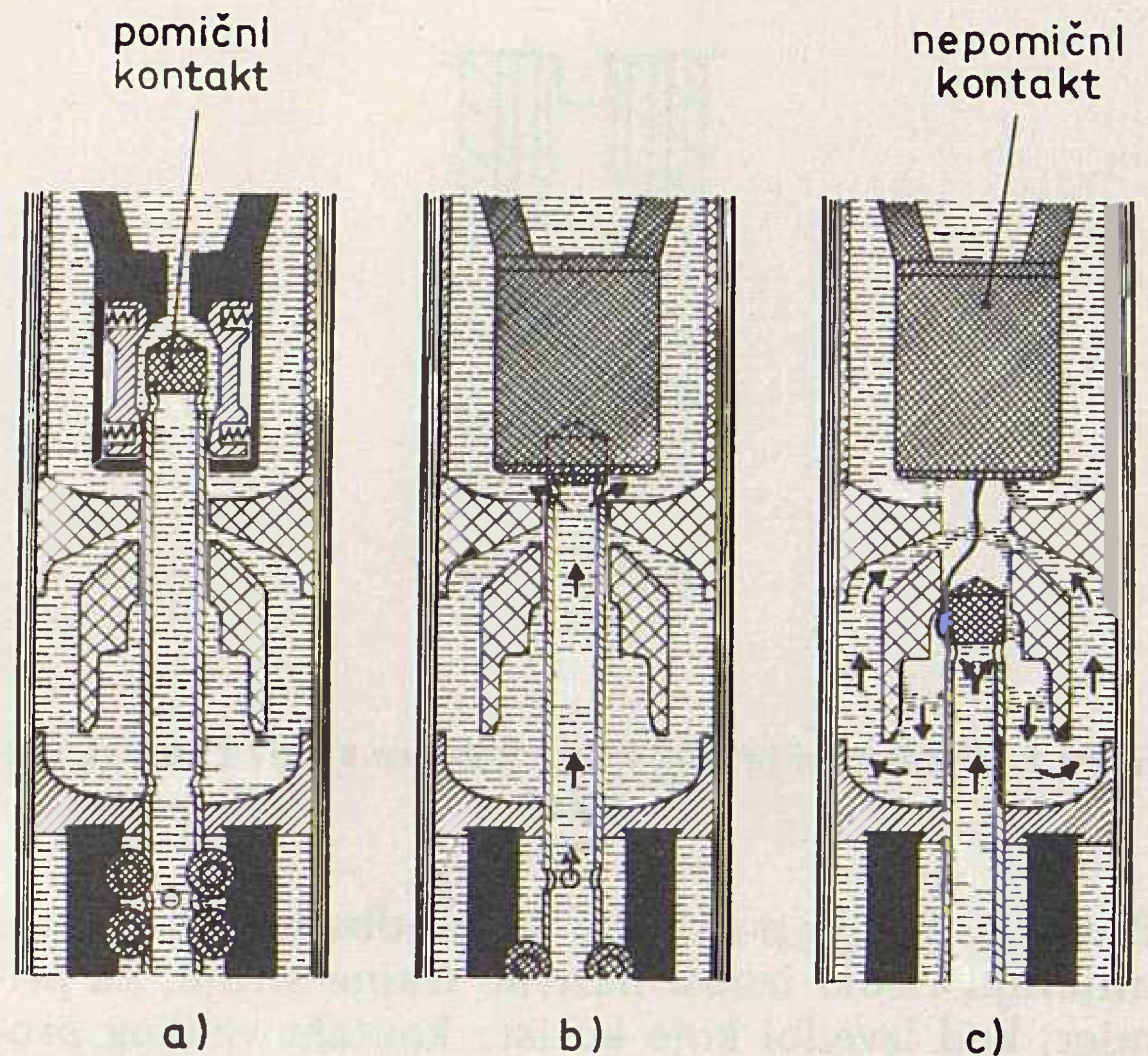


Slika 3. Shematski prikaz poprečnog gašenja luka prekidača serije 2M (»Rade Končara«)

Kod ovog tipa prekidača, male induktivne i kapacitivne struje prekidaju se uzdužnim strujanjem ulja potisnutog kretanjem kontaktnog svornika prema

dolje. Malouljni prekidači serije 2M izvode se za nazivne napone između 7,2 i 38 kV, nazivne trajne struje između 800 i 2 500 A i nazivne prekidne moći (simetrične) između 16 i 40 kA, s jednom ili dvije prekidne jedinice po polu u ovisnosti o nazivnoj trajnoj struji.

Slika 4. prikazuje proces gašenja luka u »T« malouljnom prekidaču za unutrašnju montažu proizvođača »Siemensa« [11].



Slika 4. Proces gašenja luka (10 kV »T« prekiac »Siemens«)

- kontaktna poluga u zatvorenom položaju
- ulje koje struji kroz šuplju kontaktnu polugu djeluje na luk
- kombinirano upravljački ovisno i strujno ovisno strujanje ulja djeluje na luk

Iako se proces gašenja razlikuje od onoga u prethodna dva primjera, i u ovom slučaju se radi o poprečnom strujanju, samo što se za gašenje luka upotrebljava kombinacija strujanja ulja kontroliranog kretanjem pomičnog kontakta i strujanja kontroliranog strujom luka. Ubrizgavanje ulja kontrolirano pomicanjem kontaktne poluge hladi i deionizira luk, pa je na taj način moguće prekidanje malih induktivnih struja bez ponovnih preskoka.

Strujanje ulja kontrolirano pomicanjem kontaktne poluge nije dovoljno za gašenje luka u uvjetima prekidanja kratkog spoja, pa ovu ulogu preuzima strujanje ulja i plinova u ovisnosti o struji. Luk se intenzivno hladi snažnim djelovanjem ulja usmjerenim gotovo pod pravim kutovima i biva ugašen u sljedećoj strujnoj nuli.

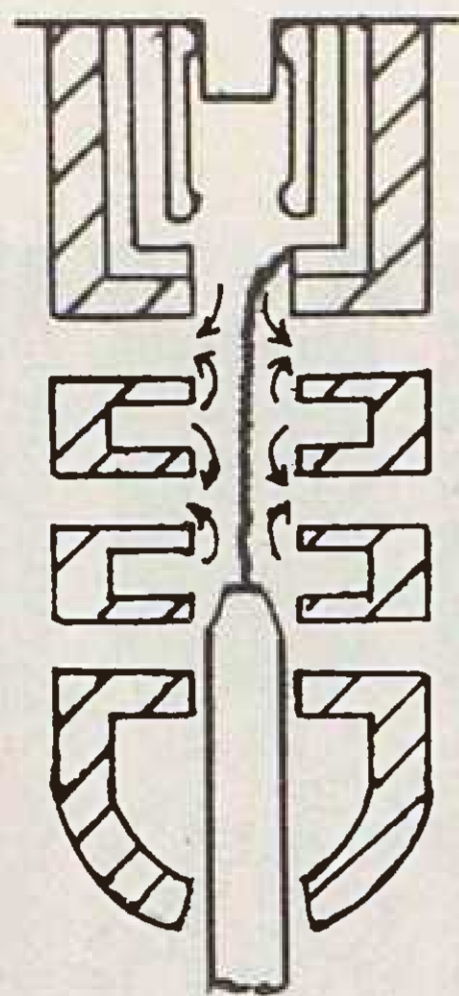
### 3.1.3. Uzdužno strujanje

Na slici 5. prikazan je princip djelovanja prekidne jedinice s uzdužnim strujanjem.

Princip je sličan poprečnom strujanju: lučna plazma učestalo se obnavlja, dok se ionizirani plin, nosilac struje, pomiče iz lučne zone kroz horizontalne pregrade. Poboljšano rasipanje plina nastalog u prekid-

noj jedinici svojstvo je ove izvedbe, također uz uravnoteženo djelovanje nastalih plinova.

Nedostatak je ovakvog oblika komore u činjenici da je deionizacijsko djelovanje plinova u blizini luka određeno veličinom otvora kroz koji prolazi pomični kontakt, kao i veličinom otvora horizontalnih pregrada. Bolja kontrola luka postiže se malim promjerom kontakta (20 mm ili manje pokazuje se dobrim rješenjem i dozvoljava veću slobodu u dimenzioniranju horizontalnih pregrada).



Slika 5. Shematski prikaz lučne komore s uzdužnim strujanjem

Posebna pažnja posvećuje se izvedbama gdje se zahtijevaju visoki iznosi nazivne trajne struje. Za primjer, kod izvedbi koje koriste kontakt velikog promjera, radi poboljšanja karakteristika, primjenjuje se ubrizgavanje ulja. Ponekad se koristi izvedba s paralelnim kontaktom, koja djelotvorno razdvaja funkcije vođenja i prekidanja struje i time omogućava optimalno izvršavanje obiju funkcija. Kod lučnih komora s poprečnim strujanjem ovaj se postupak primjenjuje jedino kada se želi izbjeći primjena još jedne lučne komore.

Treba napomenuti da je u suvremenim izvedbama malouljnih prekidača princip poprečnog strujanja zastupljen znatno češće, a dobra svojstva uzdužnog strujanja obično se uključuju kao dodatno djelovanje u komori s poprečnim strujanjem.

### 3.2. Karakteristike malouljnih prekidača

U ovom odjeljku dat ćemo kratak osvrt na prekidne sposobnosti i mehaničke karakteristike malouljnih prekidača. Osvrt se osniva na mjerodavnim obavijestima koje su zapravo rezultat širokog i dugog istraživanja različitih izvedaba ove vrste prekidača [12].

#### 3.2.1. Prekidne sposobnosti

Navest ćemo osnovne pokazatelje prekidnih sposobnosti:

- prekidna moć — za malouljne prekidače njezina gornja granica iznosi 63 kA, što je osim u malobrojnim slučajevima, zadovoljavajuće;
- prekidno vrijeme (na bazi 50 Hz) — prirodno prekidno vrijeme malouljnog prekidača iznosi dvije i pol do tri periode, što je moguće smanjiti do dvije periode povišenjem upravljačke energije;

- prekidanje bliskih kratkih spojeva — malouljni prekidači nemaju problema s prekidanjem bliskih kratkih spojeva jer su sasvim neosjetljivi na brzinu porasta prijelaznoga povratnog napona;
- male induktivne struje — budući da malouljni prekidač ima nizak nivo rezanja struje, prekidanje malih induktivnih struja ne predstavlja poteškoće;
- sklapanje kapacitivnih struja — moderni malouljni prekidači ne trpe od preskoka pri sklapanju kapacitivnih struja primjenom prekidnih komora pod tlakom ili ubrizgavanja ulja u komoru;
- evolutivni kvarovi — budući da malouljni prekidači imaju strujno zavisnu karakteristiku gašenja, posjeduju povećanu osjetljivost na evolutivne kvarove (primjenom komora s visokom mehaničkom čvrstoćom, ova se osjetljivost može prevladati);
- prekidanje bez strujnih nula — zbog visokog napona luka s velikim padom nakon razdvajanja kontakata, malouljni prekidači izazivaju brzo smanjivanje istosmjerne komponente i prolazak struje kroz nulte vrijednosti.

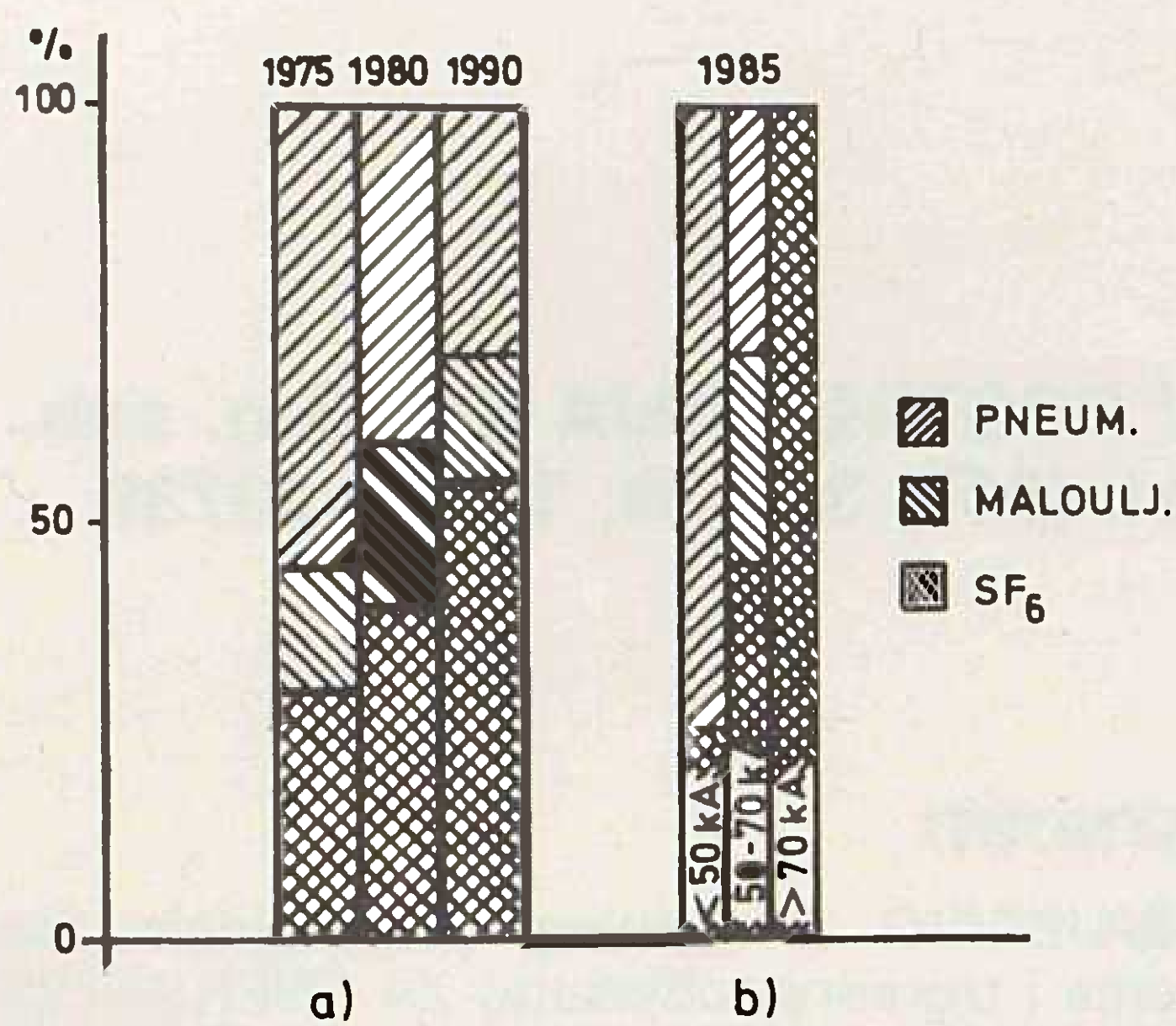
#### 3.2.2. Mehaničke karakteristike

Mehaničke karakteristike možemo sažeti na sljedeći način:

- mehanička pouzdanost — budući da je 80 do 90% svih zakazivanja prekidača mehaničkog porijekla, mehanička pouzdanost je daleko najvažnija karakteristika prekidača. Malouljni prekidači gotovo redovito sadrže opružne pogonske mehanizme koji se odlikuju jednostavnošću i relativno jednostavnim održavanjem. S obzirom na zavisnu karakteristiku gašenja, opružne pogonske mehanizme moguće je zadržati i kod prekidača za visoke prekidne moći jer luk uzrokuje ekspanzijski efekt sa spomenutim utjecajem na proces gašenja. Prema tome, za operaciju otvaranja potrebna je relativno malena energija pogonskog mehanizma; većina potrebne energije za rad prekidača otpada na operaciju zatvaranja. Nešto veća energija potrebna je kod većeg broja serijski povezanih prekidnih jedinica na višim strujama. Ova činjenica, kao i jednostavnost pogonskog mehanizma, svrstava malouljni prekidač u vrh ljestvice u pogledu mehaničke pouzdanosti.
- održavanje — kako je spomenuto u odjeljku 2, produkti razlaganja ulja zbog djelovanja luka uzrokuju relativno čestu potrebu za izmjenama i/ili čišćenjem prekidnih komora. Također, u pogledu postupka revizije može se konstatirati da jednostavnost postupka ipak ne kompenzira sve poslove oko bavljenja tekućim medijem za gašenje — uljem.

### 3.3. Učešće malouljnih prekidača u aktualnim sklopnim postrojenjima

Za ilustraciju učešća malouljnih prekidača u ukupnom postotku prekidača za visoke i vrlo visoke napone može poslužiti slika 6 [13].



Slika 6. Razdioba prekidača na osnovi medija za gašenje luka (mreža 380 kV), Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk AG

Slika (a) pokazuje razdiobu 420 kV prekidača na osnovi medija za gašenje luka, za godine 1975, 1980, 1985. Slika (b) pokazuje razdiobu u 1985. godini na osnovi prekidnih moći.

Trend smanjenja prisutnosti malouljnog prekidača bit će vjerojatno još izraženiji, kako radi objektivnih razloga (povišenje nivoa strujâ kratkog spoja, smanjenje broja prekidnih jedinica i dr.), tako i radi određenog i u tehnici neizbježnog pomodarstva.

#### 4. ZAKLJUČAK

Primjena prekidne tehnike s uljem kao medijem za gašenje luka i izoliranje omogućila je stjecanje nezabilaznih znanja koja su posredno dovela do razvika prekidnih sistema s drugim medijima. Svojom prisutnošću do današnjih dana, dijelom zbog tradicije, ali, što je mnogo značajnije, na osnovi ukupno vrlo kvalitetnih karakteristika, malouljni prekidač nerijetko se pokazivao vrijednom alternativom drugim tipovima, osobito na mjestima ugradnje gdje operacije sklapanja nisu česte, također uz neosporno povoljne ekonomske pokazatelje.

Usprkos tome, stalni rast aktualnih zahtjeva elektroenergetskih mreža, kao i trend smanjenja dimenzija i održavanja postrojenja uzrokovao je stanje koje će uskoro dovesti do potpunog povlačenja malouljnog prekidača iz područja visokih napona.

#### LITERATURA

- [1] R. MAHMUTĆEHAJIĆ, S. HAJDIN, »Osvrt na povijest razvoja i primjene visokonaponskih pneumatskih prekidača«, *Energija*, vol. 37, No. 2, s. 127–133, 1988.
- [2] R. MAHMUTĆEHAJIĆ, S. HAJDIN, »Osvrt na razvoj i primjenu SF<sub>6</sub> prekidača«, *Energija*, vol. 38, No. 4, 1989.
- [3] R. MAHMUTĆEHAJIĆ, »Vakuumski prekidač«, Sveučilište u Osijeku, 1987.
- [4] D. F. AMER, »Oil circuit breakers«, članak u knjizi C. H. Flurschein, »Power circuit breakers — theory and design«, str. 125–185, Peter Peregrinus Ltd., London, 1985.
- [5] R. T. LYTHALL, »Switchgear book«, 7th edition, Butterworths, London, 1986.

- [6] V. BEK, »Tehnologija elektromaterijala«, Sveučilište u Zagrebu, ETF, Zagreb, 1980.
- [7] B. BELIN, »Uvod u teoriju električnih sklopnih aparata«, Školska knjiga, Zagreb, 1978.
- [8] M. MARKULIN, A. MILIŠA, I. ŠTAHAN, »Razvoj i proizvodnja prekidača srednjeg napona u SOUR-u 'Rade Končar'«, *Končar — Stručne informacije*, vol. 33, No. 3, s. 39–48, 1986.
- [9] xxx, »Oil-Minimum Circuit-Breaker Type HLR-E«, ASEA, Pamphlet LA 14–109E
- [10] xxx, »Malouljni prekidači za unutarnju montažu serije 2M«, »Rade Končar«, prospekt 36336(2)
- [11] xxx, »T Circuit-Breaker H 515«, Breaker poles, Siemens, prospekt SW 452/7100 b — 220
- [12] S. BERNERYD, »Performance of Different Types of Circuit-Breakers with Respect to Network Requirements«, *Journal of Electrical and Electronics Engineering, Australia — IE Aust. and IREE Aust.*, Vol. 1, No. 1, 1981.
- [13] H. LIPKEN, H. SUITER, U. HABEDANK, R. KUGLER, H. LÜHRMANN, »Studies of interruption of very high short circuit currents 80 kA and 100 kA by SF<sub>6</sub> circuit breakers«, *International Conference on Large High Voltage Electric Systems, 1982 Session*

#### AN REVIEW OF SMALL OIL BREAKERS

In the article are described HV breakers with oil as medium for arc distinguish. It is presented a review of isolating mediums and some base types of breaking devices. Listed are characteristics of that breaker in relation to other HV breakers in common usage. In that paper together with previously issued articles (1,2) about pneumatic and SF<sub>6</sub> breakers and (3) about vacuum breakers, author wants to make complement review of breaker technical characteristics that are applied in HV nets. That approach can serve as introduction in more detail consideration of mathematical modeling of electric arc in simulation of transients in breaking devices.

#### RÜCKBLICK AUF DIE ANWENDUNG DER NIEDEROLIGEN SCHALTER

Beschrieben wurden Hochspannungsschaltungen die als Lösungsmedium und zur Isolierung Öl verwenden. Man spricht über die Eigenschaften des Unterbrechungsmediums, Grundtypen der Unterbrechungssysteme mit Beispielen. Angeführt wurden Charakteristiken dieses Typs der Schalter im Vergleich zu anderen Hochspannungsschaltern im breiteren Anwendungskreis. Mit dieser Arbeit, zusammen mit schon veröffentlichten Artikeln (1,2) über pneumatische Schalter und SF<sub>6</sub> Schalter und (3) über Vakuum Schalter, hatten die Autoren die Absicht alle technischen Eigenschaften der Schalter die bei Hochspannungsnetzen verwendet werden zu beschreiben. Dies sollte eigentlich eine Einführung in weitere Betrachtungen bedeuten, was das mathematische Modellieren des elektrischen Bogens beim Simulieren der Schaltungen — Übergangserscheinungen betrifft.

#### СООБРАЖЕНИЯ О ПРИМЕНЕНИИ МАЛОМАСЛЯНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Описаны высоковольтные выключатели, пользующиеся маслом в качестве средства гашения дуги и изоляции. Приводятся оценки особенностей средств разрыва, а также основные типы систем разединения и их примеры. Даны характеристики упомянутого типа выключателей по сравнению с другими высоковольтными выключателями широкого применения.

Этой работой вместе с предыдущими статьями (1,2) о пневматических и элегазовых выключателях (3) о вакуумных выключателях авторы хотят закруглить описание технических свойств выключателей, применяемых в высоковольтных сетях, что представляло бы на самом деле введение в подробное рассмотрение вопроса математического моделирования электродуги в представлении переходных явлений переключения.

Naslov pisaca:

Doc. dr. Rusmir Mahmutćehajić,  
dipl. inž.  
Studij elektrotehnike, Istarska  
bb,  
54000 Osijek, Jugoslavija  
Silvio Hajdin, inž.  
SOUR »Kombinat Belišće«  
OOUR Energetika, Titov trg 1  
54551 Belišće, Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis  
1989-05-04

**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 nuklearne i fosilne termoelektrane i toplane te za mehanički pogon radnih strojeva; turbokompresori, diesel agregati i kompletna energetska postrojenja
- ★ BRODSKA OPREMA: glavni i pomoćni diesel motori, parne turbine, pumpe i automatika
- ★ PUMPE I PUMPNA POSTROJENJA
- ★ EKOLOŠKA OPREMA: za tretman komunalnih, industrijskih i brodskih otpadnih voda, pitke vode, dimnih plinova; spalionice smeća
- ★ ELEKTRONIKA, AUTOMATIKA I BIROTEHNIKA
- ★ GRAĐEVINSKI OKOV, ČAVLI I DRUGI ŽIČANI PROIZVODI
- ★ ELEKTRODE; FILTERI ZA RASHLADNE UREĐAJE
- ★ SPECIJALNI ALATI
- ★ PROIZVODI OD TERMOPLASTIČNIH MASA
- ★ BIOBRIKET, TEHNIČKI PLINOVI, PRERADA I KEMIJSKA ZAŠTITA DRVETA

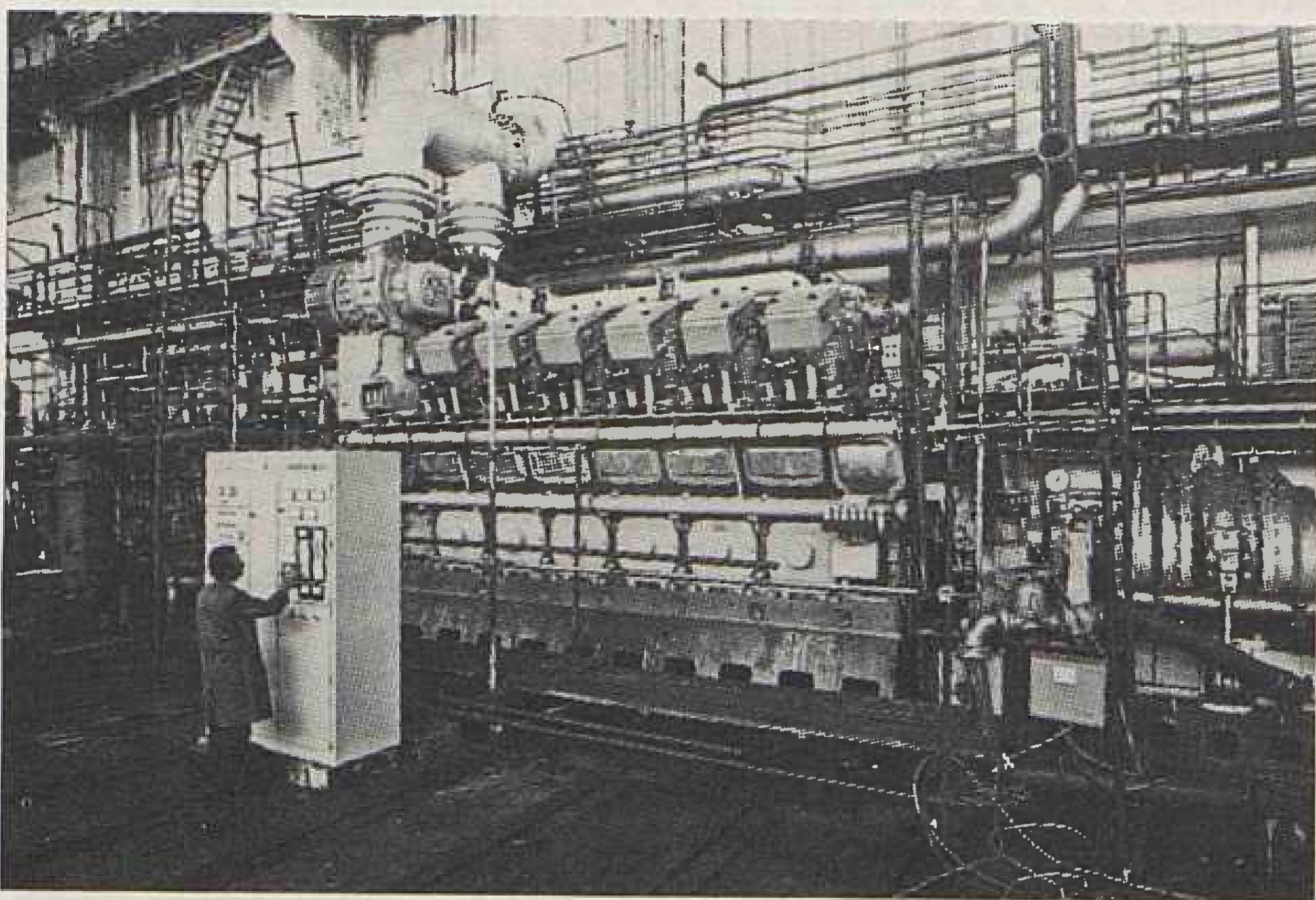
**DJELATNOSTI**

- ★ INŽENJERING (konzalting, projektiranje, isporuka opreme i izgradnja objekata) ZA ENERGETSKA, INDUSTRIJSKA, HIDRO I EKOLOŠKA POSTROJENJA
- ★ IZVOZ — UVOZ, ZASTUPSTVA, TRGOVINA NA VELIKO I MALO
- ★ USLUGE ODRŽAVANJA, SERVISIRANJA I MONTAŽE za turbine, pumpe i diesel motore

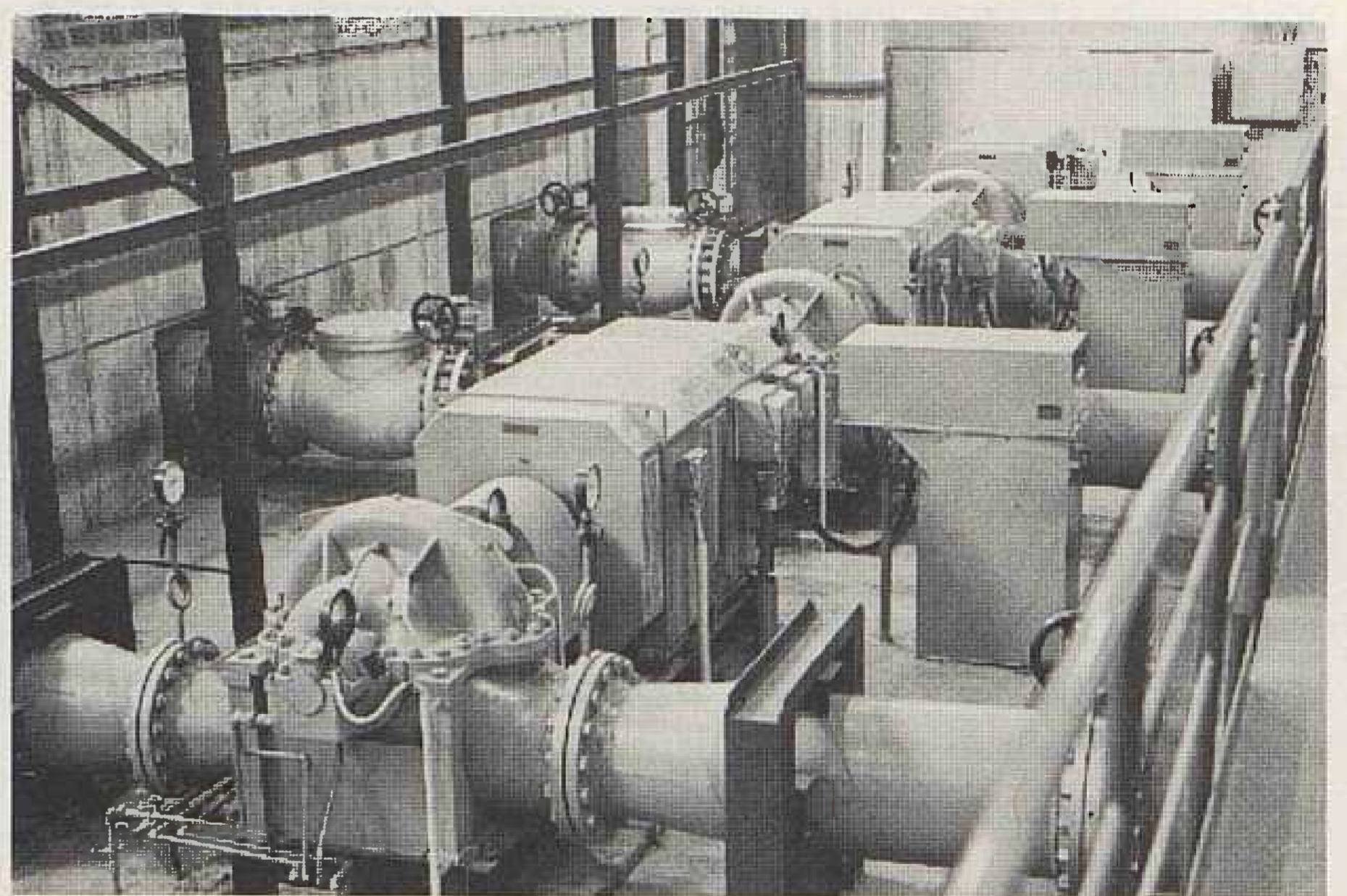
**KONTAKT ADRESA**

**Jugoturbina – Trgovina i inženjering  
Marketing**

**Trg braće M. i J. Benić 2a, 47000 Karlovac  
tel. (047) 26 – 022, tlx. 23 745 yu juting**



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.

# 14. KONGRES SVJETSKE KONFERENCIJE ZA ENERGIJU

Mr. Zdravko Mužek

## 1. ORGANIZACIJA I CILJEVI KONGRESA

Kongres Svjetske konferencije za energiju održava se svake tri godine. Četrnaesti je održan u Montrealu (Kanada) od 17 do 22. rujna 1989. Kongresu je prisustvovalo oko 3 200 delegata iz 82 zemlje svijeta (u Svjetsku konferenciju za energiju učlanjeno je 87 zemalja, među kojima i SFRJ).

Naziv Kongresa bio je »Energija za sutra«, a cilj razmjena podataka i informacija relevantnih za planiranje energetske sistema u posljednjem desetljeću ovog milenija. Prema riječima predsjednika Programskog komiteta W. K. Davisa, izrečenim u zaključnom govoru, uloga Kongresa jest izrada međunarodnih studija o energetskej problematici, ali i ta da bude forum za međunarodne dijaloge o energetici (uključivši ekološke i ekonomske aspekte). Svjetski kongres treba uočiti i definirati probleme, prikupiti, raspraviti i analizirati relevantne podatke, sagledati alternative razvoja i ponuditi prijedloge. Na nacionalnim i međunarodnim političkim sistemima jest ocjena prihvatljivosti prijedloga i njihova provedba u praksi.

Tehnički program Kongresa podijeljen je u četiri sekcije: energija i društvo, energija i okolina, energija i ekonomija, energija i tehnologija. Rad se sastojao od sjednice uvodnih izlaganja, 20 tehničkih sjednica, 6 okruglih stolova, 7 radnih grupa, 2 sjednice o strateškim pitanjima energetike i zaključne sjednice.

Uvodna izlaganja održana su na plenarnoj sjednici prvog radnog dana. Uvodničari (Lord Marshall of Goring, V. Brit.: Energija i društvo — L. Thomas SAD: Energija i okolina — P. Loughed, Kanada: Energija i ekonomija — H. Ager-Hanssen, Norv.: Energija i tehnologija) formulirali su osnovna pitanja, dileme i moguće perspektive razvoja svjetske energetike, definiravši tako platformu za raspravu na Kongresu i zadatke koje bi Kongres trebalo da riješi.

Tehničke sjednice održane su po dvije-tri paralelno. Cilj im je bio da prezentacijom pristiglih referata i raspravama o tako iniciranim pitanjima ponude podatke i informacije o istraživanjima, stanju energetike, radu, težnjama i pogledima članica Svjetske konferencije za energiju. Prezentirano je gotovo 200 referata iz 45 zemalja svijeta (u prilogu je dan njihov popis).

Okrugli stolovi zamišljeni su kao forumi tehničkih eksperata i donosilaca energetske politike te delegata Kongresa na kojima se raspravlja o ključnim pitanjima razvoja svjetske energetike.

Na sjednicama radnih grupa iznosili su se rezultati rada tehničkih i studijskih komiteta Svjetske konferencije za energiju u razdoblju od prošlog Kongresa, Nakon izvještavanja delegati Kongresa raspravljali o iznesenim podacima i informacijama i ponuđenim gledištima.

Plenarne sjednice o strateškim pitanjima energetike inovacija su ovog Kongresa. Cilj im je da eminentni predstavnici vlada i drugih institucija iznesu svoja gledišta u vezi sa strateškim pitanjima svjetske energetike. Održane su dvije sjednice: »Održiv energetske razvoj: postiziv ili nemoguć« i »Geopolitika i energija u 21. stoljeću«.

## 2. PORUKE KONGRESA

### 2.1. Uvod

Iz obilja referata, saopćenja, gledišta izrečenih u toku rasprava, rezultata rada radnih grupa i drugih izvora pomoću kojih su se razmjenjivali podaci i informacije na Kongresu, pokušat će se u ovom prikazu sažeti osnovne poruke. Namjera je pritom da se da informacija, dakle objektivna, impersonalna slika Kongresa (koliko je to moguće), a ne komentar. Smatramo da je to nužno jer omogućava da čitalac sam ocijeni vjerodostojnost informacija i na toj osnovi donosi zaključke. Naime, podaci i pogledi zastupani na sličnim skupovima na svjetskoj razini, kojima su u prvom planu pitanja daljeg razvoja energetike (bilo da je to skup »naftaša«, »plinaraca«, »nuklearaca« ili »energetičara«), ne moraju biti i »iskrena prezentacija« osobnih stavova autora, već i refleksija interesa institucija ili država koje se zastupa.

Osnovna pitanja Kongresa bila su ova:

- Kakve se energetske potrebe mogu očekivati u budućnosti?
- Da li su energetske resursi svijeta dovoljni da podrže povećane potrebe za energijom?
- Da li će istraživanje i razvoj tehnologije polučiti nove mogućnosti i efikasniju upotrebu energije i kada će nove tehnologije vjerojatno biti primijenjene u znatnijoj mjeri?

- Da li je moguće postići da energija u potrebnim oblicima bude raspoloživa po razumnim cijenama svim zemljama koje je žele?
- Može li se energija dobivati, transportirati i upotrebljavati na ekološki prihvatljiv način uz troškove koji neće ugroziti ekonomski prosperitet i rast?
- Kako definirati strategiju dugoročnog razvoja energetike?

## 2.2. Kakve se energetske potrebe mogu očekivati u budućnosti

Zadatak da projicira energetske potrebe svijeta do 2020. godine u ocijeni mogući razvoj strukture potrošnje primarne energije imala je Radna grupa 4 Kongresa, kojom predsjedava Francuz J. R. Frisch. U radu je sudjelovalo 30 eksperata iz 18 zemalja i 9 međunarodnih organizacija, a rezultati trogodišnjeg rada objavljeni su u studiji »Global Energy Perspectives 2000-2020.«

Pošlo se od dva scenarija ekonomskog razvoja: umjerenog (»M«) i ograničenog (»L«). Scenarij brzog ekonomskog rasta, iako teorijski dostižan, nije se razmatrao. Razlika u scenarijima posljedica je različitih pretpostavki u vezi s razvojem sistema u okruženju energetskeg sistema (financijski, ekonomski, demografski, geološki i ekološki sistem). Scenariji nisu predviđanja onoga što će se vjerojatno dogoditi, već projekcije stanja koje je moguće postići u kontekstu određenih pretpostavki. Polazne pretpostavke dane su u tablici 1.

Tablica 1. Premise za projekciju energetske potrebe svijeta

Godina	1985.	2000.	2020.
<b>1. Populacija (milijuna)</b>			
Svijet	4 837	6 147	7 829
Industrijske zemlje (sjever)	1 260	1 382	1 493
Zemlje u razvoju (jug)	3 577	4 765	6 336
<b>2. Ekonomski rast (% prosj. god. u konstantnim USD)</b>			
<i>Scenarij »M«</i>			
Svijet	3.0	3.2	2.8
Industrijske zemlje	2.6	2.85	2.3
Zemlje u razvoju	4.65	4.7	4.2
<i>Scenarij »L«</i>			
Svijet	3.0	2.4	1.8
Industrijske zemlje	2.6	2.2	1.5
Zemlje u razvoju	4.65	3.1	2.8
<b>3. Svjetska cijena nafte (1987. USD/bbl)</b>			
»M«	29	25–30	40–50
»L«	29	20–25	30–35

Broj stanovnika u svijetu u 1988. godine iznosio je 5.2 milijarde ljudi. Kao što je vidljivo, očekuje se da svjetska populacija do kraja tisućljeća poraste za milijardu ljudi, a do 2020. godine za dodatnih 1.7 milijardi. Budući da se ne očekuje zamjetan porast stanovnika u razvijenom dijelu svijeta (zemlje (OECD-a, zemlje SEV-a, Južna Afrika, SFRJ), rast se odnosi uglavnom na zemlje u razvoju. Takvom demografskom razvoju valja prilagoditi i razvoj energetske opskrbe. Za život primjeren suvremenim civilizacijskim dostignućima nužne su materijalne pretpostavke. U svijetu u kojem su nedovoljna ishranjenost, teški uvjeti

života, slaba zdravstvena zaštita, neprosvjećenost i slični jadi svakodnevnica glavnine stanovništva, pitanje ekonomskog razvoja pa i rasta (pitanje da li su razdvojivi) jest pitanje savjesti čovječanstva, a hipoteze o nultom rastu tek iluzija nekonzistentna sa stvarnošću. U skladu s tim i prije spomenutim pretpostavkama dana je u navedenoj tablici projekcija mogućeg rasta bruto društvenog proizvoda u svijetu.

Kakve su posljedice tako pretpostavljenih stopa rasta na energetske potrebe čovječanstva? Odgovor nije jednostavan jer je odnos energije i ekonomije veoma složen. Prema riječima P. Lougheda [8] energetskeg sektor utječe na ekonomiju, a ekonomija na energetiku. Investicije u energetiku stvaraju tržište za mnoštvo industrijskih proizvoda, potiču seljenje radne snage i kapitala iz regije ili zemlje u drugu te utječu na trgovačke odnose širom svijeta. Promjene u cijenama energije stimuliraju razvoj novih tehnologija i produkata. Trgovina energijom utječe na međunarodne tokove kapitala, valutnih odnosa i, indirektno, kamatnih stopa. S druge strane, ekonomski rast znači rast potrošnje energije, a nove tehnologije promjene u relativnim troškovima različitih oblika energije.

Očito, odgovor na pitanje kakva su očekivanja u pogledu primarne energije potrebne za prije definirani rast nije jednostavan. No odnos između energije i ekonomskog rasta je prema P. Loughedu fundamentalan [8]. U skladu s tim, a ne mogavši pri izradi studije o budućoj potrošnji primarne energije u svijetu detaljno sagledati specifičnosti svake zemlje, Radna grupa 4 Kongresa [10] pošla je od određenih agregatnih indikatora i na osnovi sagledivih informacija projicirala odnos rasta bruto društvenog proizvoda i energetske potrebe. Buduće potrebe u primarnoj energiji svijeta projiciraju se kao što je dano u tablici 2 [10].

Kao što se vidi, u razdoblju 1985-2000. godina potrošnja energije u svijetu porasla bi za 50 do 75% (oviso o scenariju) za razliku porasta od 125% u razdoblju 1960-1985. godine. Prosječna godišnja stopa rasta opala bi od 1.84% iz razdoblja 1973-1985. godina, na 1.63 (scenarij »M«) odnosno 1.18% (scenarij »L«).

Potrošnja energije po stanovniku svijeta, koja je bila oko 1.66 t ekvivalentne nafte u čitavom periodu 1973-1985. godine, do 2020. godine neznatno bi porasla u scenariju »M« (na 1.7 t<sub>oe</sub> p.c.), a opala prema scenariju »L« (na 1.5 t<sub>oe</sub> p.c.).

Usprkos tom napretku ostaju bitne razlike u specifičnoj potrošnji energije između zemalja u razvoju i industrijski razvijenih zemalja. Godine 1985. prosječna potrošnja po stanovniku u zemljama u razvoju iznosila je 0.65 t<sub>oe</sub>, a u industrijski razvijenim zemljama 6.5 puta više (4.25 t<sub>oe</sub>). U 2020. godini taj odnos se praktično neće promijeniti; iznositi će 4.45 t<sub>oe</sub> : 0.8 t<sub>oe</sub> u scenariju »L«, a 5.15 t<sub>oe</sub> : 0.9 t<sub>oe</sub> u scenariju »M«.

S obzirom na značenje i specifičnosti proizvodnje čak i u ovom sagledavanju rasta primarne potrošnje energije posebno je važno sagledati rast jednog finalnog oblika: električne energije. Dok ukupno korištenje energije u industrijskim zemljama raste sporo, upotreba električne energije porasla je naglo zbog njezine pogodnosti i efikasnosti za različite primjene.



**Tablica 2. Projekcija potrošnje primarne energije u svijetu**

Godina	1973.	1985.	2000.		2020.	
			»M«	»L«	»M«	»L«
	(milijun tona ekvivalentne nafte)					
Tržišne privrede	3470	3610	4350	4025	4840	4130
SEV, SFRJ	1220	1740	2265	2150	2885	2520
Ukupno industrijske zemlje	4690	5350	6615	6175	7725	6650
Centr. plan. azijske zemlje	490	785	1220	1110	1970	1600
Ostale zemlje u razvoju	985	1535	2425	2245	3830	3310
Ukupno treći svijet	1475	2320	3645	3355	5800	4910
Sveukupno svijet	6165	7670	10260	9530	13525	11560
	(tona ekvivalentne nafte po stanovniku)					
Tržišne privrede	4.43	4.17	4.57	4.23	4.71	4.02
SEV, SFRJ	3.42	4.42	5.27	5.00	6.20	5.42
Ukupno industrijske zemlje	4.11	4.25	4.78	4.47	5.17	4.45
Centr. plan. azijske zemlje	0.55	0.68	0.88	0.80	1.17	0.95
Ostale zemlje u razvoju	0.54	0.63	0.72	0.66	0.82	0.71
Ukupno treći svijet	0.55	0.65	0.77	0.70	0.92	0.78
Sveukupno svijet	1.61	1.59	1.67	1.55	1.73	1.48

Kao što se netko figurativno izrazio na Kongresu, električna energija postaje krvotok privreda zemalja u razvoju i razvijenih društava. Od sredine sedamdesetih do danas tendencije potrošnje ukupne energije su se iz temelja izmijenile. Suprotno tome, pri agregatnoj potrošnji električne energije i dalje vrijedi zakonitost linearnog rasta s rastom društvenog proizvoda u svim industrijski razvijenim zemljama. U razdoblju 1973-1984. godina porasla je tako potrošnja električne energije po jedinici društvenog proizvoda u OECD-u za 10.16%. Taj proces ne treba pripisivati samo povećanju standarda života građana ili povećanoj automatizaciji i informatizaciji privrede već i sve većoj primjeni električne energije u generiranju procesne topline poradi njezinih prednosti u povećanju kvalitete proizvoda i ekonomičnosti.

Rast upotrebe električne energije u mnogim manjim i siromašnijim zemljama u razvoju predstavlja poseban problem. Elektrifikacija je preduvjet razvoja, a troškovi njezine povećane upotrebe visoki.

### 2.3. Da li su energetske resursi svijeta dovoljni da podrže povećane energetske potrebe

Kongres je nedvojbeno i decidirano ustvrdio da energetske resursi nisu osnovni problem u sagledivoj budućnosti. Potvrdilo se također da su maltuzijanske tvrdnje o iscrpivosti energetske rezervi svijeta, posebno nafte i ostalih fosilnih goriva, koje su prevladavale na sličnim skupovima sedamdesetih godi-

na (potaknute jednostranim, na mehanicizmu zasnovanim, potpuno promašenim tvrdnjama Rimskog kluba) svjesno izazvana manipulacija (iza koje su bili jasno prepoznatljivi interesi) ili plod kvaziznanstvenih stavova raznih »znanstvenika«-kompilatora.

Pitanje energetske rezervi nije pitanje energetske bogatstva našeg planeta već »... stara priča o međusobnom utjecaju tehnologije i resursa. Razvoj tehnologija stvara prostor za potrošnju resursa. No tehnologija stvara i resurse pomoću pretvaranja nepoznatih ili siromašnih resursa u ekonomski eksploataбилne« — citirano prema [8]. Nastavljajući misao s obzirom na taj odnos rezervi energije i tehnologije Lord Marschall of Goring (Predsjedajući Council of energy GB i Predsjedajući UK atomic energy agency), uvodničar u temu Energija i društvo izrekao je na plenarnoj sjednici stav najčešće citiran na Kongresu, stav koji je najbliži osnovnoj poruci Kongresa : »Problemi energetike su institucionalni, a ne tehnološki. U budućnosti ti netehnički problemi mogu biti politički, financijski, motivacijski ili problemi javnog razumijevanja«.

Fosilne rezerve energije dovoljne su za podmirenje potreba čovječanstva idućih stoljeća. Budući da ukupne iskoristive rezerve nisu sistematizirane u kongresnim materijalima na način koji bi omogućio zaključivanje o globalnom stanju (za mnoge zemlje, pa i one s najvećim rezervama, podaci nisu objavljeni), iznijet će se podaci o dokaznim iskoristivim rezervama.

Iako dokazane rezerve nafte i plina u mnogim područjima nisu velike kad se uspoređuju u odnosu na potrošnju, obično je znatan doprinos tim rezervama s vremenom jer općenito nije ekonomično (s obzirom na investicije koje njihova definicija traži) imati dokazane rezerve za više od 10 ili 15 godina buduće očekivane proizvodnje. Kada komaće iskoristive rezerve ne osiguravaju doprinos dokazanim rezervama da prate proizvodnju, valja računati s velikim rezervama svijeta.

U tablici 3. dane su dokazane iskoristive rezerve nafte (zajedno s kondezatom) potkraj 1987. godine [11]. Vidljiv je znatan porast rezervi u odnosu na stanje objavljeno na 11. Kongresu održanom 1980. godine u Münchenu. Uzme li se, naime, u obzir i potrošnja od otprilike 23 milijarde tona nafte u razdoblju 1979-1987, proizlazi da je prosječni godišnji doprinos dokazanim rezervama u tom razdoblju gotovo 2.5 puta brže od potrošnje).

Nove, napredne tehnologije proizvodnje nafte (tzv. sekundarne i tercijarne metode) nastavljaju razvoj i primjenjivost. Neke su zasada doduše skupe i utjecaj na stopu proizvodnje nije velik.

Ka 300 milijardi iskoristivih rezervi konvencionalne nafte valja dodati oko 400 milijardi tona nafte u uljnim škiljavcima i 100-300 milijardi tona u bitumenoznom pijesku (zatim nekonvencionalnu naftu iz polarnih regija, teške nafte itd.). Budući da rezerve ovih ugljikovodika znatno premašuju one konvencionalne nafte i da su locirani u potpuno drugim geografskim područjima (što ima bitno geopolitičko značenje), intenzivno se razvijaju nove tehnologije njihove eksploatacije. Cilj razvoja je, razumljivo, ekonomski

prihvatljiva eksploatacija u uvjetima određene konstelacije ekonomskih, geopolitičkih i financijskih faktora koji se mogu javiti u budućnosti. Ekonomska eksploatacija tih izvora zaista garantira raspoloživost ugljikovodika za upotrebu (posebno kao gorivo za promet) daleko u dvadeset prvo stoljeće.

Prirodni plin je relativno obilan (ako se uspoređuje sa stopom potrošnje na svjetskoj osnovi) i ekološki najprihvatljiviji fosilni izvor energije. U tablici 4. dane su dokazane iskoristive rezerve prirodnog plina u svijetu. Geografski raspored rezervi je s obzirom na evropske zemlje relativno povoljan iako troškovi transporta mogu biti glavni činilac udaljavanja potrošača od izvora opskrbe.

Svjetske rezerve ugljena znatno premašuju rezerve bilo kojega drugoga fosilnog goriva pa se vjeruje da će ga biti dovoljno da podmiri svjetske potrebe i idućih stoljeća. Ukupne geološke rezerve ugljena približno su jednake tisuću današnjih ukupnih godišnjih potrošnji primarne energije u svijetu. Buduće iskoristive rezerve ugljena ocjenjuje se da su dovoljne za oko 600 godina potrošnje na današnjem svjetskom nivou.

Dokazane iskoristive rezerve kamenog ugljena (zajedno s antracitom), dakle ugljena ogrijevne vrijednosti preko 24 MJ/g, dane su u tablici 5. [11]. Kao što se vidi, dovoljne su za 328 godina eksploatacije na današnjem nivou. Navedenim rezervama treba doda-

Tablica 3. Nafta (plus kondenzat)

Regija	11. WEC		14. WEC (Montreal)			
	Dokazane iskoristive rezerve			Proizvod. u 1987. g.	Odnos (2) : (4)	Potrošnja u 1987. g.
	1. 1.1979.	(kraj 1987)				
	milijardi tona		struktura	mil. t.	godina	mil. t.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
Bliski istok	51.04	77.34	63	628	123	198
Latinska Amerika	8.15	16.76	14	335	50	259
CEP (SEV, Kina, YU)	12.70	10.73	9	855	13	797
Afrika	8.53	8.03	6	235	34	95
SAD, Kanada	4.99	5.34	4	538	10	791
Zapadna Evropa	2.72	2.55	2	198	13	564
Azija, Pacifik	2.50	2.80	2	165	17	377
<b>Ukupno</b>	<b>90.63</b>	<b>123.55</b>	<b>100</b>	<b>2954</b>	<b>42</b>	<b>3071</b>
Saudijska Arabija		22.71	18	198	115	61
Irak		13.60	11	102	133	17
U. A. Emirati		13.34	11	72	185	7.4
Iran		13.05	11	122	107	45
Kuvajt		12.70	10	54	235 29	
SSSR		10.73	9	624	17	504
Venezuela		7.79	6	86	9	49
Meksiko		6.77	5	149	45	78
OPEC		91.27	74	877	104	284

Tablica 4. Prirodni plin

Regija	Dokazane iskoristive rezerve		Proizvod. u 1987. g.	Odnos (1) : (3)
	mlrd. m <sup>3</sup>	struktura		
	(1)	(2)	mlrd. m <sup>3</sup>	godina
	(1)	(2)	(3)	(4)
Bliski istok	30 786	28	75	410
Latinska Amerika	7 072	6	88	80
CPE (SEV, Kina, YU)	42 739	29	801	53
Afrika	7 248	7	47	154
SAD, Kanada	8 295	8	612	14
Zapadna Evropa	54 892	5	196	30
Azija, Pacifik	7 295	7	105	69
<b>Ukupno</b>	<b>109 327</b>	<b>100</b>	<b>1923</b>	<b>57</b>
SSSR	41 080	38	727	57
Iran	13 864	13	15	924
U. A. Emirati	5 765	5	16	360
SAD	5 565	5	501	11
Katar	4 440	4	4.7	945
Saudijska Arabija	3 963	4	23	172
Venezuela	3 480	3	23	151
Alžir	3 000	3	34	88
Norveška	2 774	3	28	99

Tablica 5. Kameni ugljen i antracit (&gt; 24 MJ/kg)

Regija	Dokazane iskoristive rezerve		Proizvod. u 1987. g. mil. t	Odnos (1) : (3) godina	Potrošnja u 1987. g. mil. t
	mlrd. t	struktura			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Bliski istok	0.19		0.7	271	5
Latinska Amerika	12.33	1	24	513	14
CPE (SEV, Kina, YU)	746.42	69	1 811	412	1 695
Afrika	62.63	6	221	283	140
SAD, Kanada	116.80	11	613	191	531
Zapadna Evropa	28.90	3	213	136	328
Azija, Pacifik	108.20	10	399	271	395
<b>Ukupno</b>	<b>1 075.47</b>	<b>100</b>	<b>3 282</b>	<b>328</b>	<b>3 108</b>
Kina	610.70	57	985	620	887
SAD	112.97	11	581	194	510
SSSR	104.00	10	550	189	530
Indija	60.65	6	180	337	178
Južna Afrika	55.33	5	214	259	130
Australija	45.34	4	179	253	45
Poljska	28.70	3	193	149	165
SR Njemačka	23.92	2	77	311	75
Kolumbija	9.67	1	15	645	5

ti 391.68 milijardi tona dokazanih iskoristivih rezervi lignita i mrkog ugljena (ugljeni ogrijevne vrijednosti između 6.7 i 18.8 MJ/g), što je dovoljno za 337 godina proizvodnje za razini 1987. godine. Nadalje, dokazane iskoristive rezerve ugljena ogrijevne vrijednosti između 18.8 i 24 MJ/kg (u međunarodnoj nomenklaturi nazivanog subitumenozni ugljen) iznose 130.83 milijarde tona, što je dovoljno za 409 godina eksploatacije na nivou iz 1987. godine.

S obzirom na potencijalnu energiju, uranij znatno premašuje fosilne energetske rezerve. Raspoloživa energija upotrebe uranija u postojećim reaktorima je znatna, a dokazane rezerve uranija rastu usprkos veoma slabom rastu potrošnje. Ako se uranij upotrebljava u briderima, tipu reaktora već danas poprilično razvijenom u nekim zemljama, raspoloživa energija se mnogostruko povećava. Potencijalna energija primjenom fuzije čak je veća, ali nije vjerojatno da se fuzija praktično primijeni u toku nekoliko narednih dekada.

Što se tiče nekonvencionalnih i obnovljivih energetskih izvora, treba računati i s njihovim doprinosom svjetskoj opskrbi energijom. Bit će mnogo primjena takvih izvora energije u specijalnim okolnostima gdje su ekonomični u usporedbi s drugim mogućnostima opskrbe. Naprimjer, mnoge zemlje u razvoju upotrebljavat će biomasu (drvo itd.) i biotoplinu da podrže njihovu privredu u razvoju dugo godina u budućnosti. Dugoročno, te rezerve će biti dopuna konvencionalnim energetskim izvorima. Na Kongresu je također isticano da će za nekoliko desetljeća ekonomski i ekološki povoljna Sunčeva energija naći svoje mjesto u energetskoj opskrbi čovječanstva.

Opća je, međutim, suglasnost da treba biti realan pa uočiti da nekonvencionalni i obnovljivi izvori energije nisu u stanju osigurati veći udio budućih svjetskih energetskih potreba. Izuzetak je hidroenergija, koje bi u nekim područjima mogla odograti glavnu ulogu (iako se velik potencijal može koristiti i u drugim).

#### 2.4. Da li će istraživanje i razvoj tehnologije polučiti nove mogućnosti i efikasniju upotrebu energije i kada će nove tehnologije vjerojatno biti primijenjene u znatnijoj mjeri

U skoroj budućnosti ne mogu se očekivati inovacije ili tehnološka unapređenja koja bi bitno izmijenila današnje gledište na energetiku [3]. Istraživanje i razvoj su uglavnom »evolucionistički«, a primjena rezultata traži dosta vremena. Nade u »čudnovata rješenja« nisu realna očekivanja.

Prošle brige u vezi s energetskim izvorima i opskrbom, nacionalnom energetskom sigurnosti i očekivanje visokih budućih cijena nafte i stimulacije su u razdoblju 1973-1981, ogromna istraživanja i programe razvoja novih izvora energije i novih procesa za konverziju energije. Iako se osnovna istraživanja nastavljaju, mnoge pokretačke sile koje su se temeljile na očekivanju visoke cijene nafte su nestale pa su ambiciozni programi reducirani ili čak obustavljeni.

Na plenarnoj sjednici uvodnih izlaganja H. Ager-Hanssen je ustvrdio: »ako je poratna era uglavnom opisivana kao era nafte, sadašnja era se može označiti kao razdoblje energetske efikasnosti.«.

Povijesno, osnovna pokretačka snaga za poboljšanje energetske efikasnosti bio je relativni porast realnih cijena energije u usporedbi s drugim ekonomskim faktorima. Rezultat u tržišnim privredama jest neizbježno reoptimizacija između energije i investicija u osnovna sredstva (poboljšanje energetske efikasnosti traži veće investicije, ali zbog skuplje energije ukupni troškovi se smanjuju).

Od 1973. godine svijet je uštedio puno više energije kroz povećanje efikasnosti nego što se dobilo iz svih novih izvora energije zajedno. Potrošnja energije po jedinici GDP-a u OECD-u pala je od 1973. do 1985. za 20%, najviše između 1979. i 1982. Ti su uspjesi su bili toliki da neki čak tvrde da je poboljšanje energetske efikasnosti manje-više cjelovit odgovor za probleme

globalne energetike. No, s obzirom na to da nema sumnje da je rast cijena energije dominantan faktor stalnih poboljšanja energetske efikasnosti u posljednjih 10 godina, pitanje je koliko će se trend nastaviti u odsutnosti ili očekivanju visokih i rastućih cijena energije. U SAD, naprimjer, od 1986. potrošnja nafte raste s istom stopom kao GDP [5].

Pri tom razmatranju valja, dakle, razlikovati ono što se može teorijski postići od onog što je pragmatično, opravdano s obzirom na ekonomičnost, transfer tehnologije, infrastrukturu, investicije, međunarodnu konkurentnost roba i socijalno-kulturne zahtjeve. Dog se god to ignorira, što je čest slučaj, čut će se i nerazumni zahtjevi za poticanje konzervacije energije povećanjem njezinih cijena putem poreza i drugim načinima regulacije [5].

Može se, dakle, zaključiti da je energetska efikasnost ili konzervacija energije važno pitanje, ali u vezi s tim valja biti realan. Energetska efikasnost (konzervacija) jest doprinos rješavanju pitanja zaštite okoline, posebno potencijalnom problemu globalnog zatopljenja i pitanja dugoročne raspoloživosti energetske rezervi. Nema stoga sumnje da dok god postoje mogućnosti ekonomski opravdanih poboljšanja u energetske efikasnosti i dok god ona pridonose smanjivanju ekoloških problema – tim mogućnostima se treba koristiti.

U vezi s pitanjem energetske efikasnosti u zemljama u razvoju valja, prema H. Ager-Hanssensu, odgovoriti na ova pitanja:

- Kako je moguće razviti efikasne vladine politike da se iskoriste veliki potencijali za dalja poboljšanja energetske efikasnosti?
- U kojoj mjeri se valja koristiti mehanizmom tržišta, a u kojoj treba intervenirati država?
- Kako se mogu energetske efikasne tehnologije transferirati u zemlje u razvoju?

U pogledu tehnološkog napretka istraživanja i eksploatacije nafte i prirodnog plina zamjetan je napredak u sekundarnim i tercijarnim tehnikama dobivanja, ili sadašnja cijena nafte je otprilike 30% ispod one koja bi bila potrebna za masovnu aplikaciju tih tehnika [5]. Prisutna je, nadalje, neizvjesnost u kojoj mjeri će biti ekonomski opravdano razvijati veće resurse iz dubokog podmorja i arktičke regije. Iskustva iz sjeverozapadne Evrope do 1985. godine daju dobru indikaciju da je novim tehnologijama moguće postići bitno smanjenje troškova. Tako se iz nekih polja dubljih od 300 m pod morem može dobiti profitabilna nafta (uz cijenu nafte između 10 i 15 USD/bbl) [5].

Progres je učinjen također u reduciranju troškova likvefacije i transportiranja prirodnog plina. To će podržati korištenje velikih resursa i biti korisno na okolinu zbog supstitucije manje prihvatljivih goriva i djelomično ugljena [5].

Nuklearna energija je neizbježna i u budućnosti. Njezina ekološke prednosti, posebno s obzirom na efekt staklenika, nesporne su u stručnim krugovima, no njezina javna prihvatljivost ozbiljno je reducirana. Ako nema neslaganja u vezi s tim da je nuklearna energija nezaobilazni komplement u strukturi ener-

getske oblika buduće opskrbe, pitanje je kako učiniti nuklearnu energiju prihvatljivom za javnost vodeći brigu i o ostalim problemima tog izvora energije. Kao što je naglasio Bong-Suh Lee (bivši harvardski student i stručnjak Svjetske banke, a danas ministar energetike i rudarstva Republike Koreje), počasni izvjestilac na jednoj od plenarnih sjednica, glavni izazov s kojim se nuklearna industrija suočava jest kako riješiti sigurnosna pitanja u vezi s primjenom nuklearne energije. On smatra da odgovori nuklearaca nisu adekvatni s obzirom na skeptičnu javnost. Dobiva se veoma malo objašnjavanjem da je opasnost od radioaktivnog ispuštanja jedan prema deset milijuna ako se u isto vrijeme mora priznati da se to stvarno može dogoditi sutra. »Mi prodajemo našu robu razdražljivim ljudskim bićima, a ne statističarima«, rekao je Bong-Suh Lee, založivši se time za dalji tehnološki razvoj nuklearne tehnologije.

Slično je mišljenje iznio i Toyojiro Fuketa, predsjednik japanskog instituta za atomsku energiju, [4], ustvrdivši da su nuklearne elektrane najbolji velik izvor energije za svijet u budućnosti i da stoga investiranje u dalje istraživanje ima najveću važnost. Za razvoj nuklearne tehnologije još je dosta prostora. Fuketa je opisao trenutna istraživanja na poboljšanju lakovodnih reaktora i na visokotemperaturnim plinom hlađenim reaktorima. Japan se nada da će ovi zadnji reaktori moći direktno opskrbljivati tvornice toplinom. Visokotemperaturni plinom hlađeni pokusni reaktor snage 300 MJ/s u Japanu će se izgraditi već sredinom 90-ih godina.

Nuklearna energija je u prošlosti bila zapletena s previše, a ne s premalo inovacija, smatra Fuketa. Suviše inovacija je bilo potrošeno na razvoj različitih koncepata, što je rezultiralo u bitnom odgađanju licenciranja procesa i odgovarajućem smanjenju troškova zbog svih tih mnogobrojnih specijalnih konstrukcija i njihovih sigurnosnih sistema. Nuklearna energija će postati sugurnija, prihvatljivija za javnost i jeftinija ako se napor usmjere na standardizaciju koncepta, veličine, konstrukcije, razvoja i eksploatacije. S tim u vezi bitna su ova pitanja:

- Da li se mogu razviti poboljšani koncepti reaktora koji će biti sigurniji i koji će omogućiti ubrzanje dozvole za gradnju?
- Kako se mogu razviti prihvatljivi sistemi za rukovanje otpadom koji se mogu sukobiti ubrzanim programom nuklearne energije?
- Kako možemo bolje surađivati da se osigura razvoj nuklearne energije na međunarodno prihvatljiviji način?

S tim u vezi na Kongresu su predstavljani projekti tzv. nuklearnih elektrana s pasivnim sigurnosnim sistemom (s inherentno ugrađenom sugurnošću), te niz naprednih tehnologija, koje se mogu vidjeti iz popisa radova u točki 3. ovog Izvještaja.

Jedno od glavnih područja istraživanja u svjetskoj energetici jesu ekološki prihvatljive tehnologije izgaranja ugljena. Navedeno je razumljivo s obzirom na goleme rezerve ovog oblika energije i očekivanja njegove uloge već u budućnosti. Paralelno je u razvoju niz tehnologija od kojih se navode ove: postrojenje s

pretlačnim stacionarnim fluidiziranim slojem, postrojenje s ciklirajćim atmosferskim fluidiziranim slojem, postrojenje s integriranim rasplinjavanjem prema Shellu, postrojenje sa rasplinjavanjem prema postupku TEXACO itd. Pritome se pojedina rješenja razlikuju u postojećim i očekivanim tehničko-tehno- loškim, ekološkim i ekonomskim parametrima. Navedene tehnologije zasigurno će već u idućoj dekadi potisnuti »klasično« izgaranje ugljenom prašinom. Njihovo poznavanje je stoga sastavni dio planiranja u elektroprivredama industrijskih zemalja svijeta.

### 2.5. Da li je moguće postići da potrebni oblici energije budu raspoloživi po razumnim cijenama svim zemljama koje je žele

Opća je suglasnost s mišljenjem M. Boiteuxa, predsjednika Svjetske konferencije za energiju, da će nafta i u prvoj polovici 21. stoljeća biti dominantan energetska izvor. Opskrba i upotreba nafte imat će najveći društveni i ekonomski utjecaj i nesumnjivo biti u središtu geopolitičkih interesa i osnovni faktor u svim ekološkim razmatranjima. Odnosi u energetici svijeta i nadalje će se izvoditi iz ekonomike naftne industrije. Kao i dosada, mnoge cijene energije — kao naprimjer prirodnog plina i ugljena — i u doglednoj budućnosti izravno će se ravnati prema svjetskoj cijeni nafte. Stoga je razumljivo kada se govori o temi energija i ekonomija da većina rasprava počinje i završava na pitanju cijene nafte u svijetu.

Koliko je vjerojatno da se ponovi naftni šok iz 1973. i 1979. godine?

Ako za odgovor na neko pitanje ne vrijedi ona »non quis, sed quid«, onda je to odgovor na to pitanje daljeg kretanja cijene nafte. Budući da zastupani stavovi nisu indiferentni o interesima (manje ili više prikrivanima), čula su se naprimjer uvjeravanja iračkog ministra za naftu Issama Al Chalabija da je OPEC »naučio lekciju i da zasigurno neće ponoviti grešku iz 1979. godine. S druge strane, zastupnici zemalja nosilaca nuklearne tehnologije najčešće nisu tog mišljenja.

Prema P. Loughedu, snaga OPEC-a će u narednih 5 ili možda 10 godina na tržištu nafte biti znatno ograničena. Suviše je mala potrošnja za suviše mnogo potencijalne opskrbe da bi se omogućilo ponavljanje sedamdesetih. Saudijska Arabija, naprimjer, proizvodi danas tek 4,7 milijuna barela dnevno za razliku od 9,5 milijuna u 1979. god. Cijeli Bliski istok danas proizvodi 15 milijuna barela na dan, dok je 1979. proizvodio 22 milijuna barela. Današnje mogućnosti proizvodnje OPEC-a iznose oko 26,7 milijuna barela, a sredinom devedesetih očekuje se 30 milijuna barela na dan (1988. je proizvodio 21 milijun barela) [8].

P. Loughed smatra da je u predviđanju vjerojatnosti poremećaja dobro razmotriti činjenice sadašnjeg OPEC-ovog iskustva. OPEC je, prema njegovu mišljenju, heterogena skupina s teško vidljivim ciljem — osim što pokušava prodati naftu po što višim cijenama. OPEC nije bio suviše uspješan u održavanju svojih kvota, a uspjesi u sprečavanju pada cijana nafte se mogu pripisati uglavnom spremnosti nekoliko ve-

ćih proizvođača da djeluju u korist cijele grupe. Fiskalna ograničenja mnogih zemalja OPEC-a smanjuju buduće mogućnosti trajnijeg ograničavanja proizvodnje. Ukratko, uvjeti koji su doveli do šoka sedamdesetih danas nisu prisutni i ne predviđaju se u narednih nekoliko godina.

Drugi faktor koji prema Loughedu ograničava mogućnost budućih poremećaja na način iz sedamdesetih jest uspjeh programa konzervacije i supstitucije od zadnjega naftnog šoka. Posljedica je da je privreda svijeta 1989. znatno manje ovisna o nafti i znatno sposobnija da se usmjeri i na ostala goriva, kao odgovor na promjene u relativnim cijenama. Ograničavajući faktor jest i iznenađujuća fleksibilnost opskrbe u zemljama izvan OPEC-a. Pri određenom pritisku cijena nafte nalaze se načini za povećanje njezine proizvodnje u dimicilnim regijama [8].

Bong-Suh Lee [6] je drugačijeg mišljenja. On naglašava da svakodnevno slušamo anegdotska predviđanja o dugoročnim cijenama nafte ispod 20\$/bbl i da isticanje pitanja raspoloživosti u današnjim uvjetima obilja nafte izglda anakrono. No sjećemo se da su mnogi od tih prognoza svojevremeno projicirali drastični porast cijena nafte, pa ako ima bilo kakve razlike u tim predviđanjima, to je samo smjer porasta. U zadnje tri godine potrošnja nafte raste po stopi od 2.3%. To je u bitnom raskoraku s redukcijom potrošnje u toku prvih godina osamdesetih. Rast od 2.3% godišnje čak je viši nego onaj krajem sedamdesetih. Sjeverna Amerika pokazuje rast od 2.3% godišnje, Zapadna Evropa 2.2% godišnje, a pacifički dio Azije čak 5.4%. Razumljivo, nastavlja Bong-Suh Lee, može se diskutirati o tome da li će se takav brzi rast nastaviti. No nafta ima svoju vlastitu unutrašnju logiku. Odražavanje niskih cijena stimulira ekonomski rast koji povratno stimulira potrošnju nafte i energije. Konzervacija postaje manje bitna, a poticaji za tehnološki razvoj konzervacije i alternativnog korištenja energije manje atraktivni. To dovodi do porasta potrošnje nafte i podrške OPEC-u. Treba stoga voditi brigu o tome da je potrošnja nafte u zadnje tri godine rasla bezbolno za troškove potrošača. Možemo očekivati da će tako dugo dok god povećana potrošnja nafte ne izaziva »boli« potrošnja nastaviti rasti. Stupanj osjetljivosti potrošača određivat će strategiju cijena OPEC-a.

Danas je proizvodnja nafte u zemljama izvan OPEC-a na maksimumu kapaciteta, a u ranim devedesetim doživjet će vrhunac. Porast potrošnje nafte u svijetu povećat će i trgovinu OPEC-ovom naftom. Današnja potrošnja od 21 milijun bbl/dan nafte OPEC-a u naredne tri godine porast će na potrošnju otprilike 24 milijuna bbl. Kao rezultat, višak OPEC-ovih proizvodnih kapaciteta past će na 5 milijuna barela dnevno. Drugi naftni skok izbio je kada je višak OPEC-ovih kapaciteta bio ispod 4 milijuna barela dnevno. Nismo daleko od prekretno točke. Sada je stoga vrijeme da se uoči promjena vjetrova svjetskoga naftnog tržišta i da se pripremimo na nove okolnosti, zaključio je Bong-Suh Lee.

J. R. Schlesinger, bivši ministar obrane i bivši ministar energetike SAD, iznio je svoje poglede na pitanje energija i geopolitika u 21. stoljeću. Temu je ograni-

čio dvjema pretpostavkama: prvo, komentario je odnose u prvim desetljećima sljedećeg stoljeća (jer, promjene nakon toga bit će tolike da ih je nemoguće predvidjeti, pa čak ni odrediti glavne utjecaje), i drugo ograničio se na glevne sile i trendove koji će, vjerojatno, utjecati na razvoj u idućim dekadama.

Prema njegovim riječima, glavne blokovske sile posjedovale su nakon drugoga svjetskog rata efikasne energetske rezerve ili efikasnu političku i vojnu moć da osiguraju sigurnost opskrbe naftom. Diminutni trenutni trend u energetici jest rastuće ovisnost o OPEC-u i zemljama Perzijskog zaljeva (u samo tri godine potražnja za OPEC-ovom naftom porasla je približno 25%). Potražnja OPEC-ove nafte raste postepeno, eliminirajući višak kapaciteta ma koliki oni bili ili koliki perspektivno postoje. Ništa se ne čini da se zaustavi rast uvoza nafte u SAD, a nema izgleda da bude nešto učinjeno i u doglednoj budućnosti. Obeshrabrivanje u potrošnji nafte ili usmjeravanje na upotrebu drugih goriva putem regulative nepopularno je pa će uvoz nastaviti rasti, i to ubrzano. SAD tako bez diskusije postaju danas najbolji saveznik što ga OPEC ima. SAD rasipa mnogo od preostalog viška kapaciteta i čini tržište sredine devedesetih prilično podobnim za restauraciju OPEC-ove snage. Očekuje se da će sredinom devedesetih za uvoz nafte SAD plaćati preko 100 milijardi USD. Osnovno je naglasiti postepeni rast ovisnosti o OPEC-u i Perzijskom zaljevu, regiji koja nije zapažena po svojoj političkoj stabilnosti. Ako je OPEC naučio lekciju svog prekomjernog bogatstva krajem sedamdesetih, on će pokazati suzdržljivost i dozvoliti tek postepeni rast cijena kako bi izazavao minimalnu pažnju javnosti [9].

U takvoj su situaciji osnovni pravci koji će odrediti geopolitičku konstelaciju utjecaja prema J. R. Schlesingeru ovi [9]:

- Vjerojatno najveća neizvjesnost jest kakav će biti unutrašnji razvoj SSSR-a i odnosa Istok – Zapad.
- SAD će ostati najnažnija država svijeta, ali će se u 21. stoljeću populacija Zapadnog bloka smanjiti na manje od 10% svjetske populacije (za razliku od 30% prije drugoga svjetskog rata).
- Bliski istok će nastaviti da bude glavni i vjerojatno rastući kupac oruđa, što će smanjivati lakoću i povećavati vojne i političke troškove inozemne intervencije. Ne valja, pritom previdati da je lakoći intervencije SAD u vezi s nedavnim tankerskim ratom u Zaljevu — poradi zaštite kuvajtskih tankera i općenito kompenziranja iranskih snaga (usprkos američkom uvjeravanju u neutralnost u ratu) pogodovala činjenica da je Iran uvelike eliminirao svoje zračne i pomorske snage pa ih je bilo lako neutralizirati.
- Sovjetski kapaciteti za vojnu intervenciju vjerojatno se povećavaju u usporedbi sa zapadnima (SSSR je blizu, SAD daleko).
- Financijske teškoće zemalja Bliskog istoka postepeno će biti prevladane, pa će se njihovo »mjesto pod suncem« povratiti. Postat će sve drskije i privlačnije kao cilj.
- Srednji istok će nastaviti s nejedinstvenošću.

Na kraju ovog odjeljka valja odgovoriti na pitanje postavljeno u naslovu. Da li je u iznesenim uvjetima i očekivanjima moguće postići da potrebni oblici energije budu raspoloživi po razumnim cijenama svim zemljama koje ih žele. Kao što se vidi, s tim u vezi su mišljenja podijeljena, iako je dojam da je odgovor DA. Za to su, međutim, nužne odgovarajuće pretpostavke koje je sažeo Bong-Suh Lee zapitavši se koje karakteristike bi trebalo da ima energetska sistem sposoban da odoli promjenama i da podrži privredni razvoj. On smatra da se takav sistem ne smije mučiti problemom raspoloživosti energije. Drugo, treba da je takav da traži najmanje troškove zaštite okoline. Treće, mora imati ugrađenu fleksibilnost s obzirom na neizvjesnosti koje budućnost nužno nosi. Napokon, sistem treba biti rezultat procesa prirodne selekcije na tržištu. U vezi s raspoloživošću, dakle, svjetskim energetska, posegno naftnim tržištem, nužno je ugraditi stabilnost u svjetsko tržište energije. Stabilna energetska struktura ne može egzistirati u nestabilnom naftnom tržištu. Da bi se to postiglo, nužna je razgranata mreža kooperacije. Posebno je važan kanal komunikacije između izvoznika i uvoznika nafte. Takva komunikacija imat će efekta ako se dobro izgradi, jer će reducirati neizvjesnošću u svjetskom naftnom razvoju i trgovini, a time i u čitavoj svjetskoj energetici. Tako dugo dok nekoliko proizvođača drži više od dvije trećine svjetskih rezervi i dok se god oni ponašaju kao grupa, a ne kao pojedinci, tržišta nema, bez obzira na to da li je cijena nafte 8 ili 18 USD/bbl. U današnjim uvjetima, slaba komunikacija između proizvođača i potrošača jest ozbiljna smetnja proizvođačima, a donedavno je to bila za potrošače. Vrijeme je da vlade obiju grupacija zajednički reduciraju nestabilnost naftnog tržišta poradi stabilne budućnosti [6].

Važno je, međutim, pitanje kako stvoriti maksimalno korištenje tržišnim snagama u formiranju cijena i osiguranju raspoloživosti. Kako god bilo, prisutna je značajna podrška međunarodnom dijalogu između proizvođača i potrošača u određivanju cijena.

## 2.6. Može li se energija dobivati, transportirati i upotrebljavati na ekološki prihvatljiv način uz troškove koji neće ugroziti ekonomski prosperitet i rast

Predmet o kojem se na Kongresu najviše raspravljalo jest odnos energije i okoline (općenito, uključujući zdravlje i sigurnost). Prema riječima H. Ager-Hansena donedavno je postojala zabrinutost u vezi s mogućnošću opskrbe energijom. Danas je energetska kriza transformirana u ekološku krizu, čije potencijalne konzekvence utječu na izbor tehnologije u energetska razvoju svijeta. Ta nova percepcija znanstveno je bolje utemeljena od prethodne, pa se zaista susrećemo s novim problemom. Riječ je o tome da određeni odgovori na prethodnu krizu mogu biti kontraproduktivni odgovor na ekološku (na primjer ugljen i ostala fosilna goriva) [5].

U vezi s utjecajem energije na okolinu postavljalo se mnoštvo pitanja, no nekoliko ih je dominiralo:

1. globalno zatopljenje,
2. kisele kiše,
3. ozonske rupe,
4. istraživanja i proizvodnja nafte i plina,
5. gradski smog,
6. policiklički aromatski ugljikovodici,
7. radioaktivnost i skladištenje nuklearnog goriva.

U listi briga za okolinu koja zaokupljaju pažnju javnosti posljednja od navedenih je, prema Lordu Marshallu of Goring, ovamo pogrešno svrstana. Takav pristup obrazložen je usporedbom ljudskom djelatnošću proizvedenih ispuštanja u prirodu i prirodnog nivoa određenih tvari. U slučaju kiselih kiša emisija  $\text{SO}_2$  u Evropi i Sjevernoj Americi deset puta premašuje prirodnu proizvodnju. U slučaju ozonskih rupa stanje je još gore jer je emisija freona gotovo isključivo ljudskog porijekla. U pogledu radioaktivnosti — ukupna radioaktivnost Zemljine kore je oko  $80 \times 10^6$  puta veća od radioaktivnosti iz otpada moderne 1 000 MW nuklearke u godini dana. Prirodna radioaktivnost može biti i opasnija. Plin radon, naprimjer, može se udisati u pluća (a ima ga, naprimjer, u prirodnom plinu), a radij je topljiv u vodi [3].

Ekološko pitanje koje je na Kongresu izazvalo najveću pažnju jest potencijalno globalno zatopljenje zbog akumulacije plinova koji uzrokuju efekt staklenika. Riječ je o plinovima koji propuštaju kratkovalno zračenje Sunca, ali zadržavaju dio zračenja Zemlje na dugovalnom (infracrvenom) području, čime utječu na toplinsku bilancu Zemlje.

Mnogi, ali ne svi »staklenički plinovi« ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}/\text{NO}_x$ ,  $\text{CH}_4$ , freoni itd.), povezani su s proizvodnjom i upotrebom energije. Problemi se peotežu preko međunarodnih granica po karakteru i njihovo umanjivanje zahtijeva efikasne međunarodne dogovore u vezi s energetske politikama i posebno primjeni i kontroli upotrebe energije.

U tom kontekstu valja imati pred očima da je utjecaj emisije  $\text{CO}_2$  posebno naglašen iako pouzdano predviđanje efekata na duže vrijeme nije zasada moguće. Tako, naprimjer, još nedostaje uspješno objašnjenje fluktuacije sadržaja  $\text{CO}_2$  i temperature atmosfere u toku geoloških razdoblja koje je utvrđeno pomoću bušenja kora antarktičkog leda [1].

U skladu s međunarodnim procjenama emisija  $\text{CO}_2$  u zrak sudjeluje danas sa 50% u efektu staklenika. S tim u vezi bilo je na Kongresu polemičkih tonova na relaciji sjever — jug jer današnja prosječna potrošnja ugljika po stanovniku u Africi, Južnoj Americi i Kini iznosi 0,4 tone na godinu, dok je u Sjevernoj Americi taj iznos 6 tona, na godinu (15 puta više) [1], pa je pitanje da li problem zahtijeva jednako angažiranje svih zemalja (ako uopće traži pažnju). Emisija  $\text{CO}_2$  zbog izgaranja fosilnih goriva, kemijskih procesa i prometa procjenjuje se na 5 do 6 milijardi tona ugljika godišnje, pa tako čini manje od 10% ukupne količine ciklusa  $\text{CO}_2$  Zemlje. Ostalih 90% prirodnog  $\text{CO}_2$  izmjenjuje se između atmosfere, oceana, vegetacije i zemlje i u prirodnoj je ravnoteži. Osim toga, tu je i dodatnih 3 do 4 milijarde tona ugljika godišnje ispuštenih u obliku  $\text{CO}_2$  u atmosferu zbog spaljivanja tropskih šuma [1].

$\text{CO}_2$  emitiran iz energetskih postrojenja uzrokuje porast koncentracije  $\text{CO}_2$  u atmosferi za 1 – 1,2 ppm na godinu. Dok je na prijelazu stoljeća izmjereno samo 290 ppm  $\text{CO}_2$ , sada je ta koncentracija već 350 ppm [1]. Prema Meteorološkom udruženju SR Njemačke tolerantnom se granicom smatra 450 ppm [2].

Danas je široko prihvaćeno da će primarno zagrijavanje Zemljine površine uzrokovano konverzijom apsorberanoga infracrvenog zračenja u toplinu iznositi oko 0,5 do 1,2 °C ako se koncentracija  $\text{CO}_2$  u atmosferi udvostruči. Klimatske promjene na širem planu, tj. premještanje područja oborina, mijenjanjem klimatskih zona i razine mora očekuju se pri sadržaju  $\text{CO}_2$  iznad 400 ppm, ali tada će one imati dalekosežne efekte na dalji razvoj čovječanstva [1].

U kolovozu 1989. predstavnici 23 zemlje uključujući mnoge državne sastali su se u Hagu na inicijativu francuskog predsjednika Mitteranda i drugih evropskih državnika i predložili da UN budu nadnacionalno tijelo za reguliranje globalnih aktivnosti koje se smatraju uzročnikom efekta staklenika.

Prema R.M. Whileu [12], klimatska mjerenja zovu na uzbunu isto kao i rezultati matematičkih proračuna. Spoznaja o vjerojatnim utjecajima je spekulativna i rasprave su začinjene kontradiktornim podacima i interpretacijama. Koncentracije plinova koji utječu na efekt staklenika strogo se mjere već četvrt stoljeća u mnogim dijelovima svijeta i pokazuje se da oni stalno rastu. Snimanje koncentracije  $\text{CO}_2$  na opservatoriju NOAA Mauna Loa na Havajima u vezi s time jedno je od najvažnijih u svijetu. No da li je moguće izolirati signale iz buke svih značajnih dimenzija?

Zabrinutost se u principu temelji na projekcijama pomoću matematičkih modela. Tako projekcije S. Scheidera rezultiraju u povećanju prosječne globalne temperature na površini zemlje za 25 °C do prijelaza stoljeća s većim porastom u polarnim regijama. Modeli su uvijek aproksimacije realnosti i sadrže nesigurnosti. Jedno od ključnih pitanja jest povratna veza, odnosno odgovor Zemljina organskog i anorganskog sistema na ovaj poremećaj ravnoteže.

No postoje i podaci o oscilacijama temperature površine Zemlje u toku razdoblja koje nisu izazvane ljudskom aktivnošću. U toku 1900–1940. godina temperatura je porasla, od 1940. do 1965. godine bilo je razdoblje zahlađenja, a nakon tog ponovo nastupa zatopljenje. Na kopnenoj površini SAD gdje postoje najbogatija i najrelevantnija mjerenja nije primijećeno povećanje temperature od početka stoljeća. Očito da se može raditi i o prirodnom fenomenu, a posljednja istraživanja efekta rasta gradova sugeriraju da porasti mogu biti i precijenjeni.

Očito da je prerano zaključivati, iako neki tvrde da je porast  $\text{CO}_2$  u atmosferi od 25% u toku stoljeća sasvim jasan i dovoljan signal za uzbunu. Valja voditi brigu o ozbiljnim posljedicama na socijalni i društveni život. Studije najčešće nisu predviđanje, već daju raspon mogućih zbivanja. Imajući to na umu, ako se projekcije pokažu točnima, moguće je reći nešto o tome što se može očekivati. Naprimjer, porast razine mora se može očekivati i nije teško sagledati posljedice. Teško je, međutim, reći kakve će biti lokalne

posljedice regionalnih utjecaja na temperaturu i promjene padalina te specifične lokalne utjecaje na poljoprivredu, vodne resurse te ekološki i ekonomski sistem. Efekta na poljoprivredu zasigurno će biti, ali ne možemo biti sigurni kakvi će biti i da li čak ne mogu biti prihvatljivi ili korisni. Porast sadržaja CO<sub>2</sub> u atmosferi pogoduje fotosintezi i rastu biljaka [12]. Nužno je stoga poboljšati informacije da bi se reducirale neizvjesnosti u projekcijama i bolje razumjele moguće posljedice. Postavljena su na Kongresu. Međutim, i pitanja da li treba čekati da se vide posljedice ili su i indikacije dovoljan znak za uzbunu.

Koji bi bili mogući pravci političke akcije? Ako je CO<sub>2</sub> koji nastaje izgaranjem fosilnih goriva glavni uzročnik, valja smanjiti izgaranje onih goriva koje sadrže navise ugljika. Od ugljena valja se okrenuti nafti, a od nafte prirodnom plinu i nadalje nuklearnoj energiji. Bitan faktor utjecaja na rast koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi je struktura korištenih energetske oblika pa Richter [1] ističe:

- S obzirom na stupanj korisnog djelovanja termoelektrane na ugljen emitirana koncentracija CO<sub>2</sub> po jedinici električne energije iznosi 380 t/TJ.
- Ako se primijeni kombinirani ciklus izgaranja ugljena (plinska i parna turbina) emisija po jedinici korisne energije je 270 t/TJ.
- Ako se prirodni plin koristi kao finalna energija 69 t/TJ.
- Ako se koristi loživo ulje 100 t/TJ.
- Ako se koristi nuklearna energija 0 t/TJ.

S tim u vezi naglašava se paradoks ugljena [5]. U većini studija zaključuje se, naime, da je izlaz energetske krize ugljen, a znamo da okolina indicira potrebu redukcije njegova korištenja. Očito, valja uskladiti korištenje ugljena s uvjetima okoline, pa se pojavljuju ova pitanja [5]:

- Koliko dugo mogu čiste tehnologije ugljena omogućavati povećanje upotrebe ugljena a da je to uskladivo sa zahtjevima okoline, uključivši efekt staklenika?
- Koje su alternative rastućoj upotrebi ugljena koje mogu bolje podržati napredak svjetske energetske ekonomije

Kao što se vidi, nuklearna energija može imati velike prednosti s obzirom na efekt staklenika. Da bi nuklearna energija postala prihvatljivija za javnost, napore valja usmjeriti na standardizaciju koncepta, veličine, konstrukcije, razvoja i eksploatacije.

Iako je efekt staklenika dominirao Kongresom (nije li to odgovor nuklearaca »ekološkom« antinuklearnom pokretu) bila su postavljena i mnoga druga ekološka pitanja: u vezi s »kiselim kišama«, skladištenjem visokoradioaktivnog nuklearnog otpada, emisijom plinova u atmosferu općenito i posebno kao rezultat upotrebe automobila (ozon i smog) te skladištenjem rastućih količina krutih i tekućih otpada.

Opće je mišljenje da ekonomija, ekologija i energija treba da čine danas nerazdvojno jedinstvo pri sagledavanju daljeg razvoja. No veoma je važna opservacija da je većina ekoloških zakona i propisa »apsolutna« u smislu da ne dopušta usporedbe koristi i troš-

kova odnosno cost/benefit analiza u svojoj primjeni. U mnogo slučajeva oni su arbitrarni bilo da traže potpuno nerealne zahtjeve bez suočavanja s aktualnim mogućnostima i uvjetima.

Sugerirano je da se osnuju institucije i sistemi na međunarodnoj i nacionalnim razinama da objektiviziraju analize i postave racionalne ekološke standarde. Činjenica je da inzistiranje na mnogim postojećim standardima nije samo nerealno već nedopustivo skupo, pa ako ostane, može imati negativne ekonomske i, nadalje, ekološke konzekvence.

## 2.7. Kako definirati strategiju dugoročnog razvoja energetike

Jedna od osnovnih poruka Kongresa jest da strategija razvoja energetike u devedesetim godinama u središtu pažnje mora imati rješavanje »trodimenzijskog problema« energetike: energija, ekonomija, ekologija. Dosadašnje analize energija — ekonomija i energija — okolina više ne zadovoljavaju, te ih valja spregnuti u jedan problem.

Energetska opskrba budućnosti koja će biti sposobna da podržava ekonomski rast traži, dakle, selekcioniranje ekonomski i ekološki pogodnih izvora energije. Premijer zemlje domaćina Kongresa — Kanade, Brian Mulroney izrekao je to u svom pozdravnom govoru riječima: »Mi u Kanadi vjerujemo da pažnja prema okolini i ekonomski rast, poticani energijom, idu ruku pod ruku. Luksus da pokušavamo postići jedno bez drugoga više ne možemo sebi priuštiti. Vjerujemo, međutim, da ako moramo imati oboje, a moramo, učinit ćemo sve da promijenimo naše stavove, i to da ih promijenimo temeljito.«

Nadalje, energija je uvijek bila politička roba, a naftni šok sedamdesetih učinio je politiku i energiju nerazdvojnima partnerima. Nijedna diskusija o strateškim pitanjima energije ne može stoga ignorirati političku dimenziju. S tim u vezi međunarodna kooperacija smatra se nužnom. No osnovno je pitanje kako uskladiti proces donošenja odluke na nacionalnoj i međunarodnoj razini. Prikladne institucije i procesi danas ne postoje na međunarodnoj pa ni nacionalnoj razini u mnogim zemljama. Razumljivo, nije dovoljno odlučivati — odluke se moraju primijeniti. To će biti teško na obje razine. To je izazov devedesetih.

Odlučivanje u energetici više nije domena isključivo industrije i vlade. Javnost mora biti informirana i sudjelovati u ključnim odlukama. Pojednostavljenja ili emotivno vodena rješenja teško da mogu biti ispravna i opravdana. Naša budućnost ovisi o pažljivim i brižnim akcijama temeljenim na najboljim informacijama i analizama koje su raspoložive — i, kao što je uvijek slučaj, prosudba iskustva i mogućnosti naroda u bavljenju pitanjima koja nisu jednostavna i ne moraju nužno imati samo jedan »pravi odgovor«. U osmišljavanju nacionalne energetike treba voditi brigu o fleksibilnosti energetske opskrbe. Budući da ne znamo »što je u skladištu budućnosti« (kako se figurativno izrazio Bong-Suh Lee), ne smijemo se vezati na određenu strukturu energetike bez obzira koliko se ona činila dobro argumentiranom. Najbolja



strategija u neizvjesnom svijetu jest imati spoznaju o ugrađivanju fleksibilnosti u sistem.

Fleksibilnost energetske opskrbe, prema Laugheedu, ključ je uspješne strategije. Fleksibilan energetski sistem je onaj koji je sposoban da prilagodi svoju energetske potrošnju promjenama uvjeta na tržištu. To je sistem koji ima pristup konkurentskim izvorima energije i potrošačima koji imaju sposobnost da promijene svoju potrošnju kao odgovor na promjene u relativnim cijenama. Fleksibilnost se postiže strukturom dobave i strukturom uređaja za transformaciju i upotrebu energije.

Tradicionalno opskrba mnogim oblicima energije, a Laugheed ističe prirodni plin i električne energije, predodređeni su na nefleksibilnost u potrošnji i odsutnosti konkurencije između različitih goriva. Jedan način da se postigne željno jest da se proširi veličina tržišta i teži diversifikaciji izvora opskrbe. Da bi se to postiglo, valja ukloniti barijere trgovini energijom. Veće tržište znači pristup brojnijim izvorima energije [8].

Fleksibilnost na strani potrošnje također je potrebna. Politike koje ohrabruju izgradnju postrojenja za upotrebu više vrsta goriva također pomažu da se smanji osjetljivost na promjene cijena. Treba vidjeti da problem nije samo u minimiziranju ovisnosti o nafti, prirodnom plinu i drugim uvoznim oblicima energije nego o maksimiranju naše sposobnosti da odgovorimo na promijenjene uvjete na tržištu.

Nuklearna energija pruža rješenje za većinu pitanja: pitanje raspoloživosti energije, pitanje okoline, pitanje fleksibilnosti (smanjenje ovisnosti zemlje o uvozu fosilnih goriva). S tim u vezi Bong-Suh Lee je naglasio [6]:

»Mi u Koreji smo odavno shvatili da nuklearna energija nije samo jedan od načina da se proizvede električna energija. Nuklearna energija bila je ključni činilac reduciranja pretjerane nacionalne ovisnosti o inozemnim energetske izvorima. Znatno prije naftne krize, još 1967, Koreja je odlučila da pokrene projekt prve nuklearne elektrane. Onda, zemlja je krenula relativno uspješnim nuklearnim putem. Zadatak s kojim smo sada suočeni jest transformirati našu nuklearnu energetiku u istinski domaći izvor energije u smislu da budemo samodovoljni u kapitalu i tehnologiji za budući razvoj nuklearne energije. Budući da je nuklearna energija manje ovisna o bogatstvu prirodnih resursa, sigurni smo da nuklearna energija može biti realna opcija za povećanje energetske pouzdanosti u zemljama čiji su domaći izvori fosilne energije oskudni, jer su ograničenja financijskih i tehnoloških mogućnosti manje ozbiljna.«

Važan aspekt u građenju bolje energetske budućnosti jest i konzervacija energije i primjena nekonvencionalnih energetske izvora. Cilj Republike Koreje, naprimjer, jest da u 2000. godini dosegne udio obnovljivih izvora od 3% ukupnih energetske potreba.

Ako je ključ uspjeha međunarodna kooperacija, tada je put u greške energetski izolacionizam. Argumenti protiv energetske izolacionizma isto su tako uvjerljivi kao i argumenti protiv trgovačkih restrikcija i drugih formi komercijalnog izolacionizma. Izolacio-

nistička politike veoma je popularna. Poziva se na samodovoljnost i šticeenje svojih interesa. Pozitivni efekti se pričinjaju vidljivima, a troškovi su prikriveni. U vezi s investiranjem znatnog kapitala u razvoju skupih domaćih resursa treba naglasiti činjenicu da »trošak« nije »tek novac«: on je također mjerilo izgubljenih mogućnosti (šansi) [8].

Najveća prepreka podržavanju razvoja nije, dakle, ovisnost o energiji iz svijeta, niti oskudnost domaćih izvora energije. Najveća prepreka je u nama. Kao što je netko na Kongresu rekao: »Pronašli smo neprijatelje — to smo mi.«

### 3. POPIS PREZENTIRANIH REFERATA

#### Division 1 — Energy and society

##### Session 1.1. — Social implications of energy supply

- 1.1.1. Progress and Prospects for Renewable Energy Sources: A European Community View  
Palz W. — Shock R. (EC)
- 1.1.2. The Twenty-First Century Energy Vision  
Mukai J. (JPan)
- 1.1.3. Socio-Economic Impact Assessment in Support of the Energy Strategy in Developing Countries  
Beredjick N. (UN)
- 1.1.4. IEC Standards as Vehicle for Technology Transfer to Developing Countries  
Teichmann H. (IEC)
- 1.1.5. Integrated Energy Systems for Rural Communities: A Modelling Approach  
Basu S. — Choudhury J. (India)
- 1.1.6. Electricity's Role in Shaping Southern Africa's Society of Tomorrow  
McRae I. — Messerschmidt L. (South Africa)
- 1.1.7. Risk Assessment and Comparative Choices  
Allen F. — Taig A. — Tyrer J. (GB)
- 1.1.9. Strategic Energy Challenges of Developing Countries: A Systematization for Effective Planning  
Del Valle A. (Chile)
- 1.1.10. Looking Towards the Next Century: Major Themes in Energy Camos M. — Crvalho Neto U. — Delmezis N. — Leydon K. — Tajlor D. (EC)
- 1.1.11. An Austrian Perspective on World Energy Security Department of Primary Industries (Austria)

##### Session 1.2 — Planning to meet society's future energy needs

- 1.2.1. Demand Side Management, an Opportunity to Economise on the Use of Electricity  
Andersson M. — Molmin N. — Lundberg G. (Sweden)
- 1.2.2. An Analysis of Energy Needs and Options for Mexico  
Aburto — Avila J. (Mexico)

- 1.2.3. Principles for Long-Term Forecasting of Fuel- and Energy Requirements Greinert B. — Maron Y. — Woitulewich Y. (Poland) — Kislova N. — Mastepanov A. — Orlov R. — Potapov V. (USSR)
- 1.2.4. Long Term Energy Demand Forecasting in France and in Liaoning Province (People's republic of China) Garcia F. — Labrousse M. — Meraund T. — Siyuan L. — (China)
- 1.2.5. Prediction on China's Energy Needs for 2000 Deshun S. — Tianjie M. (China)
- 1.2.6. On Development of 2000 Year's Energy Industry in Central China Bin H. — Xiafei F. (China)
- 1.2.7. On the Problem of Energy Supply of Country With Insufficient Own Energy Resources Todoriev N. (Bulgaria)
- 1.2.8. Energy Complex of Siberia: Scientific — Technological, Economic and Environmental Problems of Development Khrilev L. — Neserov I. — Rudenko Y. — Saneev B. — Yershevich V. (USSR)
- 1.2.9. Analysis of the Actual Energy Consumption and Long Term Prevision of the Energy Intensive Industries in Mexico. Mexico — Commission of the European Communities Cooperation Program Bazan G. — Gonzalez E. (Mexico)
- 1.2.10. Jordan's Energy Policy Aburas R. (Jordan)
- 1.2.11. Energy and Development — The Brazilian Experience Goldemberg J. — Gomes F. — Holtz A. (Brazil)
- 1.2.12. China's Future Oil Demand and Socio-Economic Development — New Deliberations Hua Z. (China)
- 1.2.14. Energy in Belgium Beyond 2000: An Evaluation Gaysen W. — Van Assche P. — Van Craenenbroeck T. (Belg.)
- 1.2.15. Perspectives of the State Energy Policy in Chechoslovakia Bohal L. — Cizek R. — Fisher M. (Czechoslovakia)
- 1.2.16. The Portuguese Experience in Defining a Policy on Energy Da Silva R. — Franco N. (Portugal)
- 1.2.17. The Perspectives of the Petroleum Industry in Brazil: Strategic and Technological Aspects Araujo F. de — Encarnacao Jr. G. (Brazil)
- 1.2.18. Technological innovation and Rural Electrification in Developing Countries Bensussan R. — Hourcade J-C. — Lopez R. — Menanteau P. (France)
- 1.2.19. The Future Role of Hydro-Electricity in Sub-Saharan Africa Lazenby J. (GB)
- 1.2.20. Nuclear Power for Tomorrow Csik B. — Dastidar P. — Konstantinov L. (IAEA)
- 1.2.21. Energy Planning on a Regional Scale: The South Eastern Anatolia Project Culfaz A. — Kuleli O. (Turkey)
- 1.2.22. What Alternatives Does the Third World Have to Meet its Energy Demands and to Protect its Ecology Within Existing Financial Constraints? Sharan H. (Switzerland)
- 1.2.23. Possible Transfer of Traditional Energy Intensive Industries Towards Developing Countries. Offers of Energy Resources in the CIER Area in Relation to this Transfer D'Amado Compos R. — Facchini Ferro A. (Uruguay)
- 1.2.24. An Experience of Regional Energy Planning in Argentina Brandt R. — Legisa J. (Argentina)
- 1.2.25. Efforts to Develop and Implement Regional Energy Planning in Indonesia Notodisuryo E. — Surjadi A. (Indonesia)
- 1.2.26. Rural Pre-Electrification Pilot Programme A Morocco — France Cooperation Benallou A. — Bennani C. — Bouhaouli A. (Marocco) — Devin B. — Gromard de C. — Levy D. (France)
- 1.2.27. R, D&D Programmes oin Non-Nuclear Energy Technologies in Portugal Cabrita I. — Pich H. Saraiva J. (Portugal)
- 1.2.28. Strategy of Energy Economy Development in Poland up to 2020 Filipowicz J. — Jeczewski M. — Matlak W. — Solinski J. (Poland)
- 1.2.29. Actual and Prospective District Heating Development in Poland: Advantages and Setbacks Cherubin W. — Marecki J. — Wasilewski V., Wojcicki J., — Rosada J. (Poland)
- 1.2.30. Natural Gas — The Actors and Technologies Involved: A Factor in Promoting Universal Cooperation Grandin J. — Tronc J-C. — Valais M. (France)
- 1.2.31. The USSR Long-Term Energy Program in Actin Makarov A. — Pravednikov N. — Shamrayev N. — Troitskiy A. — Volfberg D. (USSR)
- 1.2.32. Main Tendencies Meeting Future Energy Demands Flach G. — Reisner W. — Ufer D. (FRG)
- 1.2.33. Wind Energy Development: Anish Experiences and International Options Frandsen S. — Hasted F. — Josephasen L. — Nielsen J. (Denmark)
- Session 1.3 — The role of society in energy decision making*
- 1.3.1. Towards a Global Approach to Energy and Information for a More Efficient Society Bouvet J. (France)

- 1.3.2. Energy and Society, Bases for Energy Options  
Garrido J. (Spain)
- 1.33. Restructuring in the Electricity Industry in New Zealand  
Turner K. (New Zealand)
- 1.3.4. The Role of European Parliament in the Formulation of Energy Policy and Energy Planning in the European Community  
Gordon A. (European Parliament)
- 1.3.5. The Regulated Energy Economy Versus the Free Energy Market — The West German Experience  
Liesen K. — Schwartz H-O. (FRG)
- 1.3.6. Directions of Energy Research and Policy in Developing Countries: A Review of a Group of Studies  
Krugmann H. — Leppan E. — Rath A. — Wong W. (Canada)
- 1.3.7. The Role of Governments in Energy Choices: The Integration of Demand Forecasting in Energy Planning, and the Use of an Appropriate Approach  
Corbeil R. — Pellegrin J-P. (Canada)
- 1.3.8. Using Energy Scenarios for Policy Purpose A Case Study for the Netherlands  
Bruggink J. (Netherlands)
- 1.3.9. Energy and Public Opinion Information  
Angelini A. (Italy)
- 1.3.10. The High Cost of Misunderstanding OPEC  
Takin M. (OPEC)
- 1.3.11. Energy in India and Role of Society in its Planning  
Bhave A. — Chaubal K. (India)
- 1.3.12. Energy Policy Decision Making and Public Opinion  
Gerstein L. (FRG)
- 1.3.13. Influence of Changes in Lifestyle on Energy Consumption in Iceland  
Baldursson G. — Ingimarsson J. — Vilhjalms J. (Iceland)
- 1.3.14. Training in Energy Planning for Third World Countries  
Duhamel B. (France)
- 2.1.4. International Aspects of Nuclear Accidents  
Uematsu K. (OECD)
- 2.1.5. Competitive Distortions Due to Varying National Environmental Conservation Standards  
Schmidt F. (FRG)
- 2.1.7. Toward Sustainable Energy Futures  
Pasztor J. (UNEP)
- Session 2.2 — Environmental assessments — air, water, land*
- 2.1.1. Risk Perception and Risk Management  
Renn O. (USA)
- 2.2.2. A Study of Some of the Environmental Costs of Electric Power Production and Consumption in Thailand  
Atilaksana A. (Thailand)
- 2.2.3. Intergration of Energy and Environmental Policies in Canada and Other OECD Countries  
Hollins J. (Canada) Leggett J. (France)
- 2.2.4. Water Protection Through Dry Cooling and Condensation  
Neumann J. (FRG)
- 2.2.5. Environmental Impact of Nuclear Fuel Cycle Operations  
Wikinson W. (GB)
- 2.2.6. Multiobjective Strategies for Energy System and Ecological Environment in Taiwan — Application of Multiobjective Decision Process — Lin C-Y. — Teng J-Y. — Tsaur S-H. — Tzeng G-H. (Taiwan, China)
- 2.2.7. Environmental Impact Assessment of Power Plants: Issues to be Solved Itoh M. — Kawai H. — Nagaoka M. (Japan)
- 2.2.8. Brazilian Power Sector Strategies with Respect to Environmental and Social Issues  
Alqueres J. — Serra M. (Brazil)
- 2.2.9. Assessing and Managing Long Term Environmental Impact of Coal Combustion  
Brocke W. — Seeliger J. (FRG)
- 2.2.10. Environmental Impact Management: A Determining Factor of Energy Futures in Southern Africa  
Ailasa De Reuck A. — Graupner O. — Hobbs J. (South Africa)
- 2.2.11. Towards the 21st Century: Electricity and the Environment  
Hidy G. (USA)
- 2.2.12. Energy, Environment and Technology in Italy  
Apa F. — Bellomo B. — De Leone R. — Frigessi Di Rattalma G. — Latorre M. — Tolomeo N. (Italy)
- 2.2.13. Environmental Assessment on Coal-Fired Power Plant and its Possible Socio-Economic Impact to the Society at the National and Local Level  
Hong W-H. — Kim E-A. (Rep. of Korea)

## Division 2 — Energy and environment

### *Session 2.1. — Environmental problems control: role of international cooperation*

- 2.1.1. Global Energy and Greenhouse Issue  
Edmonds J. — Kellogg M. — Schultz R. — Scott M. (USA)
- 2.1.2. The Global Atmospheric Environment: Role of the World Meteorological Organization  
Bruce J. (WMO)
- 2.1.3. Climatic Changes and Energy Policy Reorientations: How to Manage Uncertainty?  
Criemee D. — Hourcade J-C. — Megie G. — Theys J. (France)

- 2.2.14. Solid Fuel Combustion and Environmental Protection in Czechoslovakia  
Ledvina F. — Prasek K. — Smola J. (Czechoslovakia)
- 2.2.15. Nuclear Power for Environmental Protection  
Bennett L. — Marques De Souza J. (IAEA)
- 2.2.16. Biological Versus Conventional Pollution Monitors: An Alternative Paredes J. (Spain)

*Session 2.3 — Environmental problems control the role of technology*

- 2.3.1. End-Use/Least-Cost Investment Strategies  
Lovins A. (USA)
- 2.3.2. Advances in the Combustion of Fossil Fuels  
Allen J. (GB)
- 2.3.3. The Coming Hydrogen Age: Preventing World Climatic Disruption  
Haefele W. (FRG) Scott D. (Canada)
- 2.3.4. Low-Cost Environmental Control Technologies for Coal Utilization  
Fraser W. (Canada)
- 2.3.5. Fluidized Bed Boiler Development to Use High Ash and Sulphur Content Coal  
Alergia Felices F. — Menendez Pere E. — Morales Calvo G. — Tapia Lucas N. (Spain)
- 2.3.6. The Positive Effect of District Heating on the Environment  
Almqvist P. — Lindsjo L. — Olofsson L. — Stalibrant R. — Westergard B. (Sveden)
- 2.3.7. Environmental Control Measures in Dutch Power Stations  
Van Der Bruggen F. — Van Der Kooij J. (Netherlands)
- 2.3.8. Oil Field Development Under Extremely Hostile Condition and Protection of the Environment  
Chernitsky A. — Filanovsky V. — Khristianovich S. — Shemayakin E. — Surguchev M. — Zheltov Y. (USSR)
- 2.3.9. Engineering and Ecological Problems Associated with Low-Grade Fuel Burning  
Perpelkin A. — Volkov E. (USSR)
- 2.3.10. Energy Consequences of Upgrading Indoor Air Quality  
Flatheim G. — Rodseth A. (Norway)
- 2.3.11. The Beneficial Effects of Energy Savings on Environment  
Alessandrini A. — Billi B. — Jemma M. — Lanzoulo S. (Italy)
- 2.3.12. Energy Recycling System by heat Pump Technology  
Narita K. (Japan)
- 2.3.13. Development of Danish Combined Heat and Power Systems  
Knudsen J. — Ricken J. (Denmark)

**Division 3 — Energy and the economy**

*Session 3.1 — International aspects of energy economics*

- 3.1.1. Assessing ASEAN Countries Energy Policies in the 1990's  
Waan F. (Malaysia)
- 3.1.2. Korea's Energy Experiences and Implications for the Future  
Kim H-T. (Rep. of Korea)
- 3.1.3. Social and Economic Development and Changes in Different Geographic Areas Related to Various Scenarios of Energy Price  
Curico E. (Italy)
- 3.1.4. Real and Financial Flows Linked with the International Trade in Hydrocarbons  
Lauwers P.-Pauwels J. (Belgium)
- 3.1.5. Economic and Structural Influences Defining the Role of Petroleum in the Global Energy Future  
Ashby A. — D. (USA) Leight J. (Australia)
- 3.1.6. Development Prospects of East-West/Energy Relations  
Brendow K. (UN)
- 3.1.7. Private Power Development in Developing Countries  
Hull C — Strombreg J. — Townsend H. (USA)
- 3.1.8. Development of a North American Natural Gas Strategy: The Approach of a Major Canadian Producer  
Preece R. — Twiss W. (Canada)
- 3.1.9. Natural Gas for a Century: Outlook for Trade with the US  
Waldman A. — Waller D. — Williamson R. (USA)
- 3.1.10. A financial Model for Large Scale Solar Power Systems  
Francois P. — Lipsky L. — Zika Y. (USA)

*Session 3.2 — Major economic influences of energy*

- 3.2.1. Interpreting Changes in Industrial Energy Intensity: Concepts and Methods with Case Studies in France and in Quebec  
Chateau B. — Lapilonne B. (France Cote F. (Canada))
- 3.2.2. Actual Problems of Poland's Energy Policy  
Michna J. — Ney R. (Poland)
- 3.2.3. The Final Uses of Energy in Italy: 1970–1987  
Barsotti A. — Carta G. — Cipolletta I. — D'Ermo V. — Valant P. (Italy)
- 3.2.4. Issues Related to Energy Supply and Demand in Japan's Economic Restructuring  
Kibune H. (Japan)
- 3.2.5. Energy Rationalization in Hungary and the Role of the World Bank  
Lengyel L. — Wiegand G. (Hungary)
- 3.2.6. Modeling Strategic Energy Policy Issues in Bulgaria  
Ruicheva M. — Tsvetanov P. (Bulgaria)

- 3.2.7. Energy Supply Planning for Urban Areas  
Corak D. — Đajić N. — Hill Z. — Mužek Z. (Yugoslavia)
- 3.2.8. Energy as a Factor of Economic Growth  
Avrekh G. — Beschinsky A. — Makarov A. — Vartazarova L. (USSR)
- 3.2.9. Natural Gas in Future Energy Supply of European CMEA Member Countries  
Bohal L. (Czechoslovakia) Kashirov S. — Makarov O. (USSR)
- 3.2.10. An Economic Analysis of Household Energy Consumption Behavior in Korea  
Lee S-G. (Rep. of Korea)

*Session 3.3 — Determinants of energy prices in the short, medium and long term*

- 3.3.1. Mobilization of Mineral Energy Resources: A Dynamic Approach  
Bourrelie P-H. — Boy de la Tour X. — Dardel J. — Lacour J-J. (France)
- 3.3.2. Estimating a World Price Floor for Crude Oil  
Brown K. — Reinsch A. (Canada)
- 3.3.3. Outlook for World Oil Prices to the Year 2000  
Peng S. — Tian D. (China)
- 3.3.4. High-Technological Oil Production: A Major Challenge  
Jacquard P. (France)
- 3.3.5. Technological Progress and Improvement in Specific Consumption  
Chartier P. — Moisan F. (France)
- 3.3.6. Introduction of Time-Dependent Electricity Rates and Modeling of Their Impact of the Demand  
Spierer C. (Switzerland)
- 3.3.7. The Basic Cost of Energy  
Rasmussen J. (USA)

*Session 3.4 — The economics of energy decision making: power sector*

- 3.4.1. The Challenges of Maintaining a High Level of Service Reliability in a Restructuring U.S. Electric Utility Industry  
Denny F. — Owens D. — Sulzberger V. (USA)
- 3.4.2. Risk Analysis in a Gas and Water Power System  
Sorensen J. (Norway)
- 3.4.3. Economic Consequences of Major Accidents in Industrial Plants The Case of a Nuclear Power Plant  
Fraix J. (Belgium)
- 3.4.4. The Cost of Outages to Commercial Sector Consumers  
Morgan A. (GB)
- 3.4.5. New Aspects of Energy Flexibility: The Case of Electrical Systems  
Bernard P. — Gouni L. (France)
- 3.4.6. Cogeneration: Potential and Economic Decision  
Han Y. — Kwun Y. (Rep. of Korea)

*Session 3.5 — The economics of energy decision making: other energy sectors*

- 3.5.1. Energy Financing and Risk Analysis in the Developing World  
Beale A. (GB)
- 3.5.2. Effects of Oil Energy Price on the Transport Market  
Riguad G. (France)
- 3.5.3. Deregulation and Restructuring of the Energy Sector in New Zealand  
Jenkins A. (New Zealand)
- 3.5.4. Transport Fuels from Natural Resources: New Zealand's Response to the Energy Crisis  
Natusch D. (New Zealand)
- 3.5.5. Fuel Oil-Coal Competition in the Industrial Sector  
Boy de la Tour X. — Etoc P. — Montel J. — Moury G. — Turpin M. (France)
- 3.5.6. A Knowledge Representation Approach to the World Energy System  
Aegerter S. — Ernst A. — Huber J. (Switzerland)
- 3.5.7. Responding to Future World Oil Supply Disruptions: Strategic Oil Reserves Versus Supply/Demand Management  
Marty N. — McDonnell E. (Canada)
- 3.5.8. The Economics of Energy Decision Making  
Kohli U. (India)
- 3.5.9. Strategies of District Heating and Gas Supply in Communities Aspects of Multiple Objectives, Especially the environment  
Brotzenberger H. — Friedrich K. — Infanger G. — Jansen P. J. (Austria)

**Division 4 — energy and technology**

*Session 4.1 — Energy research and development and other major energy technology issues*

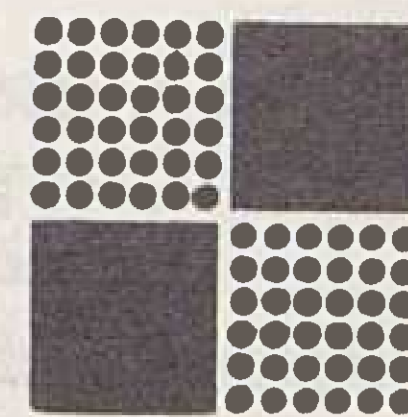
- 4.1.1. Future of Nuclear Energy Research
- 4.1.2. An Overview of Energy Research, Development and Demonstration in Austria  
Kolm J. (Austria)
- 4.1.3. Italian Contribution to Innovation in The Energy Technologies  
Bozzoni T. — Comellini E. — Jorio M. — Vellone R. (Italy)
- 4.1.4. Saudi Arabia R&D Effort in the Field of Solar Energy for National Future Energy Needs  
Hamand G. (Saudi Arabia)
- 4.1.5. Developing the Potential of the Alberta Oil Sands  
Luhning R. — Yurko W. (Canada)
- 4.1.6. The Role of Alternative Fuels and Conservation in Australia's Energy Future  
Department of Primary Industries (Austria)
- 4.1.7. Decentralized Medium Size Cogeneration Plants  
Hubler J. — Kiss M. (Switzerland)

- 4.1.8. Application and Field Experience with Photovoltaic Systems for Rural Electrification  
Song J. (Rep of Korea)
- 4.1.9. Combined-Cycle Power Plants for Cogeneration and Possibilities of Dry Colling  
Balazs P. — Bodas J. — Buki G. — Lengyel G. — Lindner I. — Zettner T. (Hungary)
- 4.1.10. Organic Vapor Turbogenerators Using Locally Available Heat Sources — 25 Years of Industrial Experience — Bronicki Y. (Israel)
- 4.1.11. Decisive Factors — Learned from Experience — to Consider for an Effective Use of District Heating (DH) with Special emphasis on the combined Production of Heat and Electric Power (CHP)  
Knudesen J. — Ricken J. (Denmark) Reviewed in Session 4.3.
- 4.1.12. Fuel Cell. . . Past Trends and Future Prospects  
Fueki K. (Japan) Reviewed in Session 4.3
- Session 4.2A — Coal and combined cycle*  
*Session 4.2B — Oil and natural gas*
- 4.2.1. Dual-Fired Combined-Cycle Plants and High-Temperature Reactors for Energy Supply of Tomorrow  
Knizia K. — Simon M. (FRG)
- 4.2.2. Global Climate Change Linkages: Acid Rain, Air Quality and Stratospheric Ozone
- 4.2.3. Use of Low-Grade Fuels for Heat and Energy Generation Results, Problems and Perspectives in Bulgaria  
Hristov H. — Todoriev N. (Bulgaria)
- 4.2.4. Integrated Gasification Combined Cycle Power Generation Using An Advanced Coal Gasification Process  
Hope T. — Pfeiffer M. — Man Dijk J. (Netherlands)
- 4.2.5. Diversification of Transport Fuels: Technological Assessment and Opportunities for international Collaboration  
Boxer L — Garriba S. — Taylor M. (IAE)
- 4.2.6. Recent Technology Advances in the Canmet Hydrocracking Process  
Couture A. — Reeve D. — Vincent R. (Canada)
- 4.2.7. Three Major Problems in the Development of Coal Mining Industry in China  
Tang D. (China)
- 4.2.8. Coal Output and Perspective Directions of its Utilization in Poland  
Goszcz A. — Radwanski E. (Poland)
- 4.2.9. Coal in the USSR: Coal Production and Use Issues  
Shchadov M (USSR)
- 4.2.10. Rational Open-Cast Mining Technologies for Small and Complicated Deposits
- 4.2.11. The Gas and Steam Combined Cycle  
Keller, W (FRG)
- 4.2.12. Future Trends on Use of Fossil Fuel and Combined Cycle for Power Generation  
Pillai S. (India)
- 4.2.13. Future Petroleum Resources in the Arab Countries  
Lababidi M. (OAPEC)
- 4.2.14. The Deep Gas Drilling in Sweden  
Lindbo T. — Wivstad I. (Sweden)
- 4.2.15. The Role of New Technology in the Exploitation of Arctic Oil and Gas Reserves  
Jumpannen P. — Makinen V. — Saarikoski R. (Finland)
- 4.2.16. Off-Shore Developments for Seasonal Gas Supply  
Gibbon R. — Lyness F. — Mc Hugh J. (GB)
- 4.2.17. Reaction of Heavy Oils with Steam Over Alumina Supported Nickel Catalyst Development of High Performance Catalyst  
Chen F-L. — Chen I. — Chen S. — Huang H-W. — Lin S-T. — Shiue D-W. (Taiwan, China)
- 4.2.18. Innovations in the Field of Brown Coal Processing  
Brandt H. — Scholz G. — Weidlich G. (GRD)
- Session 4.3A — Nuclear Energy*  
*Session 4.3B — Energy systems and renewables*
- 4.3.1. The Euro-Quebec Hydro-Hydrogen Pilot Project  
Gretz J. (Italy), Saheb E. (Canada), Ullmann O. (FRG)
- 4.3.2. Prospects for the French Nuclear System at the Beginning of the 21st Century  
Bache P. — Lallement R. — Panossian J. — Rougeau J-P. (France)
- 4.3.3. New Frontiers in Electricity  
Balzhiser R. (USA)
- 4.3.4. Simplified Nuclear Plant Design for Tomorrow's Energy Needs  
Bartoli H. — Slember R. (USA)
- 4.3.5. The Prospects for Nuclear Heating in Hungary  
Lynch G. (Canada), Papp I. (Hungary)
- 4.3.6. World Progress Toward Fusion Energy  
Clarke J. (USA)
- 4.3.7. Electrotechnologies and Industrial Innovation  
Gilsing T. — Mitchell J. (Canada)
- 4.3.8. Possibilities of Introducing Solar Hydrogen Into Future Electricity and Energy Supply Systems — Demonstrated by the Example of the Federal Republic of Germany  
Grawe J. — Holzer J. (FRG)
- 4.3.9. The Prospects and Trends of Nuclear Energy Technology in China  
Sheng Jie J. (China)
- 4.3.10. Cooperative Technology Development. An Approach to Advancing Energy Technology  
Stern T. (USA)
- 4.3.11. Performance of Nuclear Power Plants and Analysis of Some Factors Affecting Their Operational Reliability and Economy  
Havel S. — Kozak M. (Czechoslovakia)

- 4.3.12. Nuclear Fusion — Inexhaustible Source of Energy for Tomorrow  
Demchenko V. — Leiser M. (IAEA)
- 4.3.13. Swedish Experience of Large Heat Pumps  
Hill A. — Lagargen S. (Sweden)
- 4.3.14. The Potential Impact of Superconductivity on the Electrical Power Industry  
Appleton A. (GB)
- 4.3.15. Main Characteristics of Hidronor S. A. Transmission System  
Alonso J. — Rodriguez J. (Argentina)
- 4.3.16. Introduction of Artificial Intelligence Technology in an Electric Utility  
Gjerde O. — Gunnes O. — Holten L. — Maeland A. (Norway)
- 4.3.17. An Adjustable Speed Operation System For Pumped Storage Hydro Power Plant  
Haraguti E. — Saikawa K. — Saito K. — Sugimoto O. — Suzuki N. — Yasaka Y. (Japan)
- 4.3.18. Solar Hydrogen Production from Water and Coal An Engineering and Economic Assessment  
Baykara S. (Turkey) Bilgen E. (Canada)
- 4.3.19. Recent Technological Aspects of the Severn Barrage Development Project  
Clare R. — Odell K. — Wardle D. (GB)
- 4.3.20. Wind Energy Reserach Activities of the Dutch Electricity Generating Board  
Halberg N. — Kleinbloesem B. (Netherlands)
- 4.3.21. Renewable Energy Technologies — Indian Experience  
Dayal M. — Sootha G. (India)
- 4.3.22. Photovoltaic Activities of Austrian Electric Utilities Projects and Experiences  
Nentwich A. — Schneeberger M. — Szeless A. — Wilk H. (Austria)
- 4.3.23. WEC Committee on Oxygenated Transport Liquid Fuels: The Total System Summary Report  
Trindade S. — (UN) Reviewed in Session 4.1.

## LITERATURA

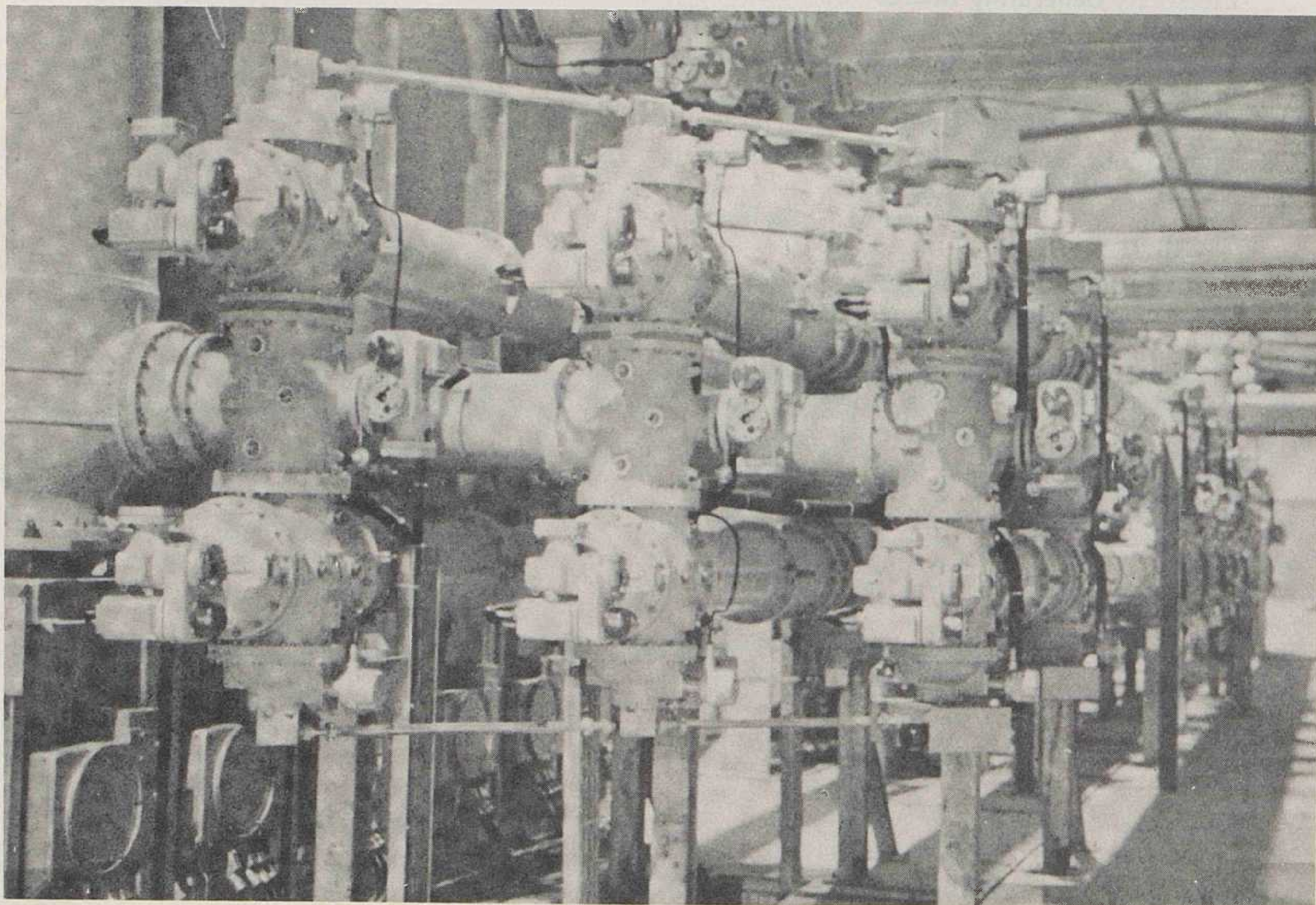
- [1] H. RICHTER: »Gas — An Energy Source of the Future: Sceintific and Technical Requirements to be met by Technologies of Gas Production and Gas Utilisation«, 14<sup>th</sup> WEC, Tech. Sess. 1.2
- [2] K. BRENDOW: »World Energy Horizons 1985-2000-2025: The Industrialized Countries«, 14<sup>th</sup> WEC, Working Group 4
- [3] LORD MARSHALL OF GORING: »Energy and Society — Keynote Address«, 14<sup>th</sup> WEC
- [4] TOYOJIRO FUKETA: »Future of Nuclear Energy Research«, 14<sup>th</sup> WEC, Tech. Sess. 4.1.
- [5] H. AGER-HANSEN: »Energy and technology — Keynote Address«, 14<sup>th</sup> WEC
- [6] BONG-SUH LEE: »Sustainable Energy Development: Attainable or Impossible?«, 14<sup>th</sup> WEC, Strategic Energy Issue 1 (plenary session)
- [7] L. THOMAS: »Energy and the Environment — Keynote Address«, 14<sup>th</sup> WEC
- [8] P. LOUGHEED: »Energy and the Economy — Keynote Address«, 14<sup>th</sup> WEC
- [9] J. R. SCHLESINGER: »Energy and Geopolitics in the 21<sup>st</sup> Century«, 14<sup>th</sup> WEC, Strategic Energy Issue 2
- [10] Global Energy Perspectives 2000-2020. Conservation and Studies Committee, WEC, 14<sup>th</sup> Congress
- [11] Survey of Energy Resources 1989, 14<sup>th</sup> WEC
- [12] R. M. WHILE: »Greenhouse Policy and Climate Uncertainty«, 14<sup>th</sup> WEC



**Radna organizacija za *elektromontažne radove***

ZAGREB ● Kesterčanekova 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



TS JALO



# SAVJETOVANJA I KONFERENCIJE

## SUVREMENA PROBLEMATIKA I STANJE ZAŠTITE OD ATMOSFERSKOG I STATIČKOG ELEKTRICITETA

(Osvrt na seminar u Poreču 18. i 19. 5. 1989)

Seminar su organizirali Društvo za geoelektricitet, statički elektricitet i gromobrane SR Hrvatske, Slovensko društvo za geoelektriko, statično električno in strelovode i DIT Poreč.

Na seminaru je prezentirano 12 referata iz osnovne i specijalne tematike obiju pojava opasnih vrsta elektriciteta sa stajališta izvora opasnosti i zaštitnih mjera u suvremenim uvjetima teorijskih i praktičnih znanja i tehnologija. Referate su prikazali, tumačili i rasprave o postavljenim pitanjima i praktičnim problemima vodili poznati znanstvenici i stručnjaci iz predmetnih oblasti. Referati su obuhvatili široku lepezu tematike zaštite od atmosferskog i statičkog elektriciteta s težištem na nekim posebnim problemima aktualne zaštite (izjednačenje potencijala, substitucija radioaktivnog gromobrana, zaštita računara i računarskih sistema). Referati su bili tiskani u obliku »Biltena« u izdanju prvih dvaju navedenih društava prije seminara i poslužila su sudionicima kao radni materijal.

Neki referati prelaze okvire seminarskog teksta i predstavljaju vrlo vrijedne stručne radove s obiljem spoznaja, praktičnih uputa te nekih odrednica za buduće djelovanje na poboljšanje i unapređenje zaštite od atmosferskog i statičkog elektriciteta. U ovom osvrtu treba svakako dati naslove i kratke sadržaje referata ovog seminara.

1. **»Metode praćenja i korištenja podataka o atmosferskim električnim pražnjenjima na teritorijima na teritoriju SR Hrvatske«** (Ante Sekso, dipl. inž., Zagreb).

U referatu je dan prikaz sadašnjeg stanja u praćenju grmljavinskih aktivnosti na području SR Hrvatske, kao i smjernice za budući rad. U drugom dijelu obrađena su neka pitanja primjene podataka o grmljavinama posebno sa stajališta elektroprivrede.

2. **»Poročilo o stanju izokeravnične karte Slovenije«** (prof. Maks Babuder, dipl. inž. — Peter Kotar, el. inž., Ljubljana).

Prikazani su način i rezultati 12-godišnjih sistematskih praćenja atmosferskih električnih pražnjenja u Sloveniji te navedene perspektive razvoja te djelatnosti.

Budući da autori prvih dvaju referata nisu uspjeli doći na seminar, kratki prikaz sadržaja tih referata dao je inž. Kafol iz Maribora.

3. **»Aktuelna problematika zaštite od atmosferskog i statičkog elektriciteta«** (dr Zvonimir Krulc, dipl. inž., Zagreb).

Prikazan je rad i suradnja društava u Sloveniji i Hrvatskoj na organizaciji seminara i savjetovanja iz problematike zaštite od atmosferskog i statičkog elektriciteta radi unapređenja i poboljšanja te zaštite u našoj zemlji — u posljednjih 5 godina. U zaključku su navedene osnovne odrednice i smjerovi te djelatnosti u dogledno vrijeme.

4. **»Pomen in izvedba izravne potencijala v zgradbah in industriji«** (Janez Praprotnik, dipl. inž., Maribor).

U referatu su prikazane osnovne značajke i posljedice izjednačenja potencijala te izvedbe odgovarajućeg povezivanja. Prikazane su dodatne zaštite uzemljivačkih sistema od prenaponskih valova sa prenaponskim filtrima visoke efektivnosti te prenaponska zaštita elektronskih

uređaja. Predočena je i metoda mjerenja galvanskih veza te navedeni rokovi za kontroliranje.

5. **»Izoliranje izvedbene kvalitete in zmanjševanje ozemljitvene upornosti ozemljitvenih sistemov«** (Boris Zitnik, dipl. inž., Maribor).

U referatu su prikazani neki osnovni nedostaci u izvođenju uzemljivačkih sistema s posebnim naglaskom na gromobranskim uzemljivačkim sistemima. Opisana je električna vodljivost »zemlje« i neki postupci poboljšanja vodljivosti. Navedeni su glavni materijali za gromobranske instalacije. Detaljnije je prikazan utjecaj korozije na uzemljivački sistem, opisano smanjivanje opasnosti od korozije i prikazani načini povezivanja različitih metala te različite instalacije u tlu. Navedeni su praktični rezultati i iskustva, što su se u eksploataciji u posljednje vrijeme pokazali kao pogoni u smislu izvođenja i rada uzemljivačkih sistema.

6. **»Neki dodatni razlozi za korištenje armature betona u cilju zaštite od utjecaja munje«** (el. inž. Anton Simonetti, Poreč).

Razmotreni su neki dodatni razlozi za korištenje armature betona u sekundarnu svrhu zaštite objekta od utjecaja munje i drugih tranzientnih utjecaja. Postizanje efekta ekrana može se potpuno ili djelomično riješiti smišljenim korištenjem armature betona. Primjena standardnih elemenata za spajanje armature bez varenja može znatno olakšati posao i učiniti ga privlačnim, što dosada nije bio slučaj.

7. **»Prijedlog tehničkog rješenja substitucije radioaktivnog gromobrana u hotelskim kompleksima«** (Mario Lukšić, dipl. inž., Pula).

Prikazana je analiza načina na koje je s najmanje troškova moguće supstituirati postojeće radioaktivne gromobrane u hotelskim kompleksima nakon donošenja zakona o njihovoj djelomičnoj zabrani ugrađivanja na određene objekte.

Zbog odsutnosti autora referat je prikazao inž. Anton Simonetti (koautor nekih zajedničkih radova u toj i sličnoj problematici).

8. **»Zaštita mikroprocesorskih sistema od interferentnih utjecaja«** (el. inž. Anton Simonetti, Poreč).

U tom referatu je naglašena potreba zaštite suvremenih mikroprocesorskih uređaja i sistema od interferentnih utjecaja vanjskih faktora, posebno atmosferskih električnih pražnjenja. Dane su definicije osnovnih izvora interferentnih pojava što su se udomačili u stranoj literaturi i praksi. Ukazano je na mogućnost višestepene zaštite, ovisno o važnosti uređaja i mogućnosti korištenja armature betona u svrhu osnovne, ali vrijedne zaštite.

9. **»Zaštitne mjere kao prevencija mogućih smetnji i oštećenja usled pojave prenapona na instalacijama manjih računara i računarskih sistema«** (Vladimir Sokolov, dipl. el. inž., Ljubljana).

U referatu su iznesena razmišljanja o suvremenom manipuliranju s informacijama pomoću računala. Prikazani su problemi opterećenja čipova — osnovnih elemenata suvremenih računala. Navedene su zaštitne mjere kod računala od elektromagnetskih smetnji.

Autor referata je materiju svog referata iznio na neobično zanimljiv i slikovit način, tako da je pobudio posebnu pažnju sudionika. Prikazao je i neke smjerove razvoja računarskih sistema u budućnosti.

10. **»Pristup zaštiti od statičkog elektriciteta u svijetu«** (Vladimir Mileta, dipl. inž., Zagreb).  
Prikazan je sistematski pristup procjeni opasnosti i izboru zaštitnih mjera od statičkog elektriciteta, što predstavlja polazište prilikom rješavanja problema, a prema dostupnim spoznajama u razvijenijim zemljama.
11. **»Metoda ispitivanja statičkog elektriciteta«** (Vladimir Mileta, dipl. inž., Zagreb).  
Skrraćeno je opisana metoda ispitivanja statičkog elektriciteta kao rezultat višegodišnjeg istraživanja te opasnosti unutar SOUR-a »Pliva« Zagreb. U praksi se ova metoda u posljednje tri godine pokazala u potpunosti primjenjiva u ovim kao i u pogonima drugih kemijskih industrija.
12. **»Ocjena opasnosti i ugroženosti od statičkog elektriciteta u eksploziono ugroženim prostorima«** (mr. Mićo Gaćanović, dipl. inž. el., Banjaluka).  
Teorijski i inženjerski pristup ocjeni opasnosti i ugroženosti. Po pojedinim referatima i prikazima bilo je veoma žive diskusije i postavljena su brojna zanimljiva pitanja i zatražena pomoć odnosno savjeti za rješavanje problema. U toku diskusija sudionici su postavili prijedlog i zahtjev da se o razmatranoj problematici ipak ostavi trag. Zaključeno je da se o toku seminara izrade izvještaji za širu stručnu javnost, objave u stručnoj štampi i dostave nadležnim organima i stručnim udruženjima (savezima) na uvid i znanje.

Iz cjelokupne tematike seminara, tj. iz referata i prikaza, kao i opsežnih rasprava mogu se izvesti ove glavne **SPOZNAJE, PREPORUKE, SAVJETI i ZAKLJUČCI**, kao i **ODREDNICE** te **SMJEROVI** daljnje djelatnosti na unapređenju i razvoju zaštite od atmosferskog i statičkog elektriciteta u doglednoj budućnosti.

- (1) Praćenje atmosferske električne aktivnosti trebalo bi povezati i dopuniti podacima satelitstkih snimanja oluja. Time bi se mogle dobiti informacije o dolasku opasnih oluja, što bi moglo biti važno za neka ugroženija područja od udara munja (npr. turistička mjesta s kampovima, važniji elektroenergetski objekti). Za snimanja izokerauničkih karata trebalo bi se koristiti iskustvima i suvremenom tehnologijom naprednijih zemalja, npr. država Skandinavije.
- (2) U razvoju kablovske televizije ima za vrijeme oluja još uvijek pojava opasnih prenapona. Trebalo bi dalje unapređivati zaštitne mjere od opasnih prenapona, posebno odgovarajućim uzemljivačkim sistemima.
- (3) Problematici uzemljivanja, posebno u teškim terenskim (geološko-geoelektričnim) uvjetima, npr. u području krša, treba i dalje posvećivati posebnu pažnju. U naprednijim zemljama pojavilo se tzv. aktivni uzemljivač u obliku sonde (cijevi) s kombinacijom NaCl i jedne kemikalije, smještene u bentonit; promjer cijevi čak ispod 1" i promjer rupe s bentonitom oko 10 cm (dr. J. Pungertl).
- (4) Apelira se na Savezni zavod za standardizaciju da za nove propise u oblasti električnih instalacija izradi i detaljnije komentare.
- (5) Trebalo bi napokon izraditi nove tehničke normative za gromobrane i u njima — dakle i u elektrotehničkoj regulativi — potpuno zabraniti radioaktivni gromobran. To znači ne više spominjati bilo kakav član o ionizirajućim zračenjima i njihovu korištenju za »bolje privlačenje« atmosferskih električnih pražnjenja.
- (6) Iskopi uzemljivačkih sistema opetovano pokazuju velika i brza stradavanja željeznog materijala u tlu. Treba pojačati pažnju kod povezivanja različitih materijala u tlu. O opasnosti od korozije ima već obilje spoznaja — u referatima i drugoj pristupačnoj literaturi (i materi-

jalima naših seminara i savjetovanja) — pa treba tu opasnost kao stalno prisutan problem shvatiti ozbiljno. Sistematski pristup uspješnijoj borbi s tom opasnošću treba početi već pri istraživanju tla i odgovarajućeg projektiranja. Treba provesti dosljednu koordinaciju svih faza projektiranja i izvođenja. Strogo treba kontrolirati povezivanje različitih materijala uzemljivačkih i drugih metalnih masa u tlu.

- (7) Još uvijek nema dovoljne koordinacije i suradnje projektanata različitih struka, naročito između građevinara i električara. O tom »problem« često se govori. Dobra koordinacija — naročito u fazi izvođenja armiranobetonskih objekata — mogla bi dovesti do svrsishodnijeg korištenja armature betona i uzemljivača u temelju radi postizanja višeg stupnja unutarnje zaštite od prenapona svih, posebno elektronskih uređaja u objektima.
- (8) Preporuča se projektantima i izvođačima korištenje aluminija za gromobranske instalacije — naročito za odvođe. Za odvođe trebalo bi se više okrenuti i okruglom profilu.
- (9) Treba podsjetiti da je još na VI. jugoslavenskom savjetovanju o gromobranima (1986. u Sarajevu) donesen zaključak da se formira radna grupa za izradu preporuka za gromobran lakog tipa. Ovdje postoje mogućnosti za proširenje zaštite od udara munje.
- (10) Zbog sve bržeg širenja upotrebe elektronskih uređaja, naročito računara — sve više tzv. osobnih računala — treba njihovoj zaštiti zbog velike osjetljivosti njihovih glavnih elemenata čipova u buduću posvetiti još veću pažnju. U ovoj oblasti potreban je multidisciplinarni pristup rješavanju problema zaštite. O tome bi se mogao organizirati zaseban seminar ili savjetovanje.
- (11) O cjelokupnoj problematici zaštite od električnih polja mogao bi se također organizirati zaseban seminar ili savjetovanje.
- (12) U problematici zaštite od statičkog elektriciteta mogu se uočiti dva smjera djelatnosti: a) nastojanja — uza sve moguće načine, postupke i metode — da se spriječi pojava statičkog elektriciteta (zastupa ga ovdje V. Mileta); b) efikasno eliminiranje nastalog statičkog elektriciteta (zastupa ga ovdje mr. M. Gaćanović).

Opći je zahtjev i preporuka da se o opasnosti i zaštiti od statičkog elektriciteta treba šire i više raspravljati jer u cjelokupnoj problematici u različitim granama industrijske djelatnosti ima još uvijek premalo znanja.

U zaključku može se utvrditi da je cjelokupni nivo ovog seminara bio veoma visok — i samih referata i veoma žive diskusije — što pridonosi značenju i kvaliteti savjetovanja. Bez obzira na ovu ocjenu i analizu ne može se shvatiti okolnost da je od nekih 90 sudionika ovog seminara samo njih 15-ak bilo izvan Slovenije (od tih opet gotovo isključivo samo iz Hrvatske i Bosne i Hercegovine). Živost rasprava o nekim problemima može biti poticaj za daljnja priređivanja takvih seminara, savjetovanja ili simpozija iz ove uvijek zanimljive oblasti zaštite od prisutnih opasnosti i atmosferskog i statičkog elektriciteta.

Dr. Zvonimir Krulc, dipl. inž.  
Zagreb

## NEISKORIŠTENE MOGUĆNOSTI

### XVI. evropska EMTP konferencija održana u Dubrovniku od 28. do 30. svibnja 1989. g.

Matematičko modeliranje i digitalno simuliranje različitih fizičkih pojava, svestrano razvijani tijekom posljednjih desetljeća, unekoliko su izmijenili one tokove znanosti i tehnologije koji su predviđani poslije drugoga svjetskog rata. Ta su predviđanja, naime, ukupan znanstveni i tehnološki razvoj povezivala, gotovo isključivo, s istraživačkim i razvojnim centrima i moćnim i povezanim timovima znanstvenika, velikim laboratorijima i drugom skupom i rijetkom opremom. Njima su nerijetko poticani i podržavani osjećaji nemoći i bezizlaznosti u malim i nerazvijenim sredinama spram moćnih i razvijenih. Međutim, unatoč volji i nastojanju razvijenih da se tokovi vrhunске znanosti i tehnologije drže unutar kontroliranih granica, ponekad to nije moguće, te centri znanosti bivaju prisutni i izvan zidova najvećih istraživačkih središta i laboratorija. A upravo takva područja mogu postati važnom razvojnom mogućnošću zemalja u razvoju. Matematičko modeliranje i digitalno simuliranje, koji su osnova modernog projektiranja i proizvodnje, bili su donedavno vezani s mogućnošću korištenja moćnih i skupih računala. Međutim, stanje se tijekom desetljeća koje je u toku neočekivano izmijenilo. Ljudska domišljatost u postavljanju i odgovaranju pitanja, prisutna uvijek i svugdje, oslobodila se spomenute granice koju su postavljali uvjeti korištenja moćnih računala. Razvoj tehnologije računala na jednoj strani i kompaktiranje programskih jezgri na drugoj doveli su do mogućnosti uključivanja znanstvenika diljem svijeta u korištenje i razvoj modeliranja i simuliranja različitih fizičkih pojava. Da bi se jasnije prikazale netom iznesene tvrdnje, uzmimo za primjer modeliranje i simuliranje elektromagnetskih pojava u elektroenergetskom sistemu. Te su pojave, naime, izuzetno zamršene i javljaju se u veoma širokom spektru i na njih utječu brojni parametri »zbiljskog svijeta«, te ih je stoga teško a ponekad i nemoguće točno modelirati i simulirati. A upravo poznavanje i nemogućnost točnog proračunavanja tih pojava određuje stupanj djelotvornosti suvremenog projektiranja, građenja, održavanja i razvoja elektroenergetskih sustava. Mjerenja mogu dati razmjerno škrt uvid u to područje ogromne obuhvatnosti; ona su veoma skupa i izvodiva samo na već izgrađenim sustavima ili skupim fizičkim modelima, te — metaforički rečeno — predstavljaju samo svjetlace u moru tmine. Početni je razvoj modeliranja i simuliranja bio vezan isključivo za najrazvijenije sredine, unutar kojih su djelovali vrhunski znanstvenici, koristeći raspoloživost najmoćnijih računala. Danas je stanje očito drukčije. Doprinosi modeliranju i simuliranju prijelaznih elektromagnetskih pojava dolaze sa svih strana svijeta. Prvotne znanstvene jezgre, razvijene u Sjedinjenim Državama, brzo i višestruko se razvijaju u okviru otvorene svjetske zajednice istraživača. Svi pokušaji da se takav razvoj zadrži u okviru kontroliranih granica ili da se poveže s monopolističkom trgovinom ostali su bez vidljivijeg uspjeha. Tijek sadašnjeg razvoja, mišljenje je većine, moguće je sačuvati samo očuvanjem postojeće otvorenosti, kako korištenju, tako i implementiranju novih modela. Tako je EMTP-program, čiji se akronim izvodi iz potpunog engleskog imena »Elektromagnetic Transient Program«, postao prvi proizvod svjetske zajednice znanstvenika, višestruko povezan sa suvremenim projektiranjem, građenjem i održavanjem elektroenergetskih sustava koji je dostupan gotovo svima.

Uz EMTP-program, tu golemu sintezu brojnih znanja kojoj su doprinos dale tisuće znanstvenika iz cijelog svijeta, danas su formirana znanstvena i strukovna udruženja diljem svijeta (CanAm — Kanada i Sjedinjene Države, Furnas —

Južna Amerika, Doshisha — Japan, LEC — Evropa, itd.), unutar kojih se osigurava potrebna koordinacija istraživanja, razumjena i iskustava i kontrolirano implementiranje novih modela. Prema općoj suglasnosti znanstvenika, tijekom posljednje četiri godine središnju ulogu koordiniranja i razvoja na svjetskom planu preuzeo je Evropski LEC-centar u Leuvenu (Belgija), oko koga se okupljaju najznačajniji svjetski istraživači. Istraživanja u ovome centru od prošle godine uživaju potporu Evropske zajednice u sklopu projekta COMET.

Modeliranje i digitalno simuliranje prijelaznih elektromagnetskih pojava, unatoč nedvojbenim potrebama i mogućnostima, u našoj je zemlji razmjerno nerazvijeno. Ono je, kako je to već istaknuto, preduvjet suvremenoga tehnološkog razvoja u domenu proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije, kao i proizvodnje odgovarajuće opreme i gradnje sustava, te je zadaću oslobađanja ovisnosti od uvezenih licenci moguće riješiti, između ostalog, usvajanjem i korištenjem EMTP i njemu komplementarnih programa. Međutim, unatoč nedvojbenoj točnosti iznesene tvrdnje na širem jugoslavenskom planu, pojedini znanstvenici iz naše zemlje imaju značajnu ulogu u širem razvoju ovog područja. To je jasno pokazala i XVI. evropska EMTP konferencija, održana od 28. do 30. svibnja 1989. u Dubrovniku. Bio je to prvi znanstveni skup takve vrste koji je ikada održan u našoj zemlji. Okupio je oko pedeset najuglednijih evropskih znanstvenika za modeliranje i simuliranje prijelaznih elektromagnetskih pojava u elektroenergetskom sustavu. U petnaest podnesenih referata predstavljena su najnovija i najznačajnija postignuća u ovome području. Osim niza zanimljivih novih rezultata u unapređivanju postojećih modela i simuliranju složenih pojava, posebnu je pozornost privuklo izlaganje R. Dubea iz Sjedinjenih Država (Bonneville Power Administration, Portland, Oregon), u kojem je zapravo, dana prva svjetska promocija tzv. novog EMTP TACS-a. Taj dugo najavljivani novi pristup u modeliranju i simuliranju prijelaznih elektromagnetskih pojava, koji se često navodio kao revolucionarni doprinos u unapređivanju djelotvornosti simuliranja i postizanja dubljeg uvida u narav fizičkih pojava u elektroenergetskim sustavima, u svome konačnom obliku sasvim je opravdao očekivanja. Pokusni proračuni koje su izložili stručnjaci iz CESI-ja (Italija) jasno su pokazali kako će primjena ove nove programske strukture značajno pridonijeti daljnjem razvoju projektiranja i građenja elektroenergetskih sustava i sigurnijem upravljanju i održavanju već postojećim sustavima. Iako je novi TACS razvijen gotovo u cijelosti izvan zatvorenih istraživačkih centara, on će, nesumnjivo, biti nužan i najmoćnijim svjetskim proizvođačima opreme za elektroenergetske sustave i stručnjacima za građenje i upravljanje tim sustavima.

Iako se povjeravanje organiziranja ovakvog uglednog znanstvenog skupa osnivalo na znanstvenom ugledu i doprinosu pojedinca, valjalo bi istaknuti da referati koji su podnijeli naši znanstvenici i priznanja koja su im izrečena jasno ukazuju na mogućnost prijenosa, razvoja i primjenjivanja vrhunskih znanja u nas te uz to dodati da se te mogućnosti nedovoljno koriste, što nužno ima za posljedicu golemu ovisnost naše proizvodnje o uvezenim licencama, nemogućnost da se usvojeni proizvodni programi usavršavaju u skladu s unapređenim znanjima itd. Izneseni referati, obuhvativši važna suvremena pitanja modeliranja sistema nadzemnog i podzemnog prijenosa električne energije, suvremene principe zaštite, svojstva i metode primjene metal-oksidnih odvodnika prenapona, pitanja cjelovitog modeliranja transformatora i plinom izoliranih metalom oklopljenih postrojenja te druga važna pitanja modeliranja i simuliranja, jasno upućuju na metode modeliranja i simuliranja kao osnovu modernog projektiranja i proizvodnje uređaja, naprava i cijelih sustava. Ako je suvremena proizvodnja op-

reme za elektroenergetske sustave moguća bez odgovarajućeg razvoja umijeća modeliranja i simuliranja, onda to, bezuvjetno, znači ovisnost o kupnji licenci i nemogućnost održavanja takve proizvodnje u duljem vremenskom razdoblju na svjetskom tržištu. Uvijek kada se donose odluka o zasnivanju neovisnosti u razvoju suvremenih proizvoda u području elektroenergetskih sustava (i drugdje), to znači ili će morati značiti da je potrebno usvojiti i razvijati znanja modeliranja i simuliranja fizičkih pojava koje su mjerodavne za optimalno projektiranje, proizvodnju, primjenu i razvoj odgovarajućih naprava, uređaja i sustava. Takav pristup je neosporan, iako njegova vremenska perspektiva nerijetko obeshrabruje pojedince i na taj ih način drži u pasivnosti i spram onoga što je moguće već sada i što može biti snažan poticaj za ono sutra.

XVI. evropska EMTP konferencija, koju su organizirali Evropski EMTP centar iz Leuvena u Belgiji, K. Sveučilište iz Leuvena i Studij elektrotehnike sveučilišta u Osijeku, uz financijsku potporu SIZ-a znanosti SR Hrvatske, »Elektroslavonije« iz Osijeka, »Elektrojuga« i HE »Dubrovnik« iz Dubrovnika, te HE »Trebišnjica« iz Trebinja, između ostalog, jasno je pokazala da su naša zaostajanja u mnogim područjima prije svega stvar našeg odnosa, a ne, kako se nerijetko navodi, vanjskih okolnosti. Okolnosti se, nedvojbeno, neće promijeniti sve dok mi sami ne promijenimo sebe. A za takvu promjenu, kada je posrijedi vrhunska znanost i tehnologija, ponekad su izuzetne mogućnosti upravo pred nama.

Dr. Rusmir Mahmutćehajić

### SAVJETOVANJE »ENERGIJA I ČOVJEKOVA OKOLINA«

U sklopu velesajamske 10. međunarodne izložbe »Interklima«, a u organizaciji Stalne konferencije gradova i općina Jugoslavije, Instituta za elektroprivredu Zagreb i Zagrebačkog velesajma održano je 4. i 5. rujna 1989. dvodnevno savjetovanje »Energija i čovjekova okolina«. Ovom znanstvenom skupu prisustvovali su stručnjaci naučnih zavoda, instituta, projektantskih organizacija, proizvođači energetske opreme, te stručnjaci zaposleni u energetske postrojenjima i dr. Na savjetovanju su obrađena 33 referata podijeljena u tri grupe.

1. Tehničko-tehnološke karakteristike energetske opreme za zaštitu okoline
2. Mjerenja i modeliranje — mjerenje vrijednosti parametara onečišćenog zraka; primjena modela za onečišćenje zraka pri planiranju izgradnje energetske objekata i dr.
3. Planiranje korištenja prostora i energetske razvoja. Obrađeni su problemi zaštite zagađivanja zraka za razne energetske objekte i zaštitne mjere životne sredine koje se provode u termoelektranama.

U obrađenim materijalima i diskusijama utvrđeno je da se energetska postrojenja ne mogu graditi na dosadašnji način. Ekološki zahtjevi toliko su glasni da se na tržištu energije događaju mnoge promjene. Tom se svjetskom trendu pridružuje i SR Hrvatska sufinanciranjem nekoliko projekata o novim tehnologijama.

Prema postojećem energetske stanju u Hrvatskoj će do 2000. godine nedostajati oko 1840 MW električne energije, što znači da se moraju pronaći i novi energetske izvori. Za pokriće tog manjka dolazi u obzir i korištenje hidropotencijala, ali ima teškoća s lokacijom hidroenergetskih postrojenja, a u planu je gotovo 60 takvih objekata. Pri planiranju izgradnje novih objekata treba voditi birgu o rješavanju ekoloških pitanja. Za realizaciju takvih programa potrebno je osigurati i odgovarajuća financijska sredstva.

S održanog savjetovanja doneseni su i odgovarajući zaključci o zaštiti čovjekove okoline pri gradnji energetske postrojenja te preporuke o standardizaciji, proizvodnji opreme i instrumentacije za takva postrojenja.

I. R.

### 13. SAVJETOVANJE O ZNANSTVENIM I STRUČNIM PUBLIKACIJAMA — RAZVOJ ZNANSTVENIH ČASOPISA U JUGOSLAVIJI DO 2000. GODINE

Savjetovanje je, u organizaciji »Instituta informacijskih znanosti« iz Zagreba, održano u Puli od 19. do 22. 11. 1989. Prisustvovalo mu je oko 130 sudionika iz cijele Jugoslavije. Na savjetovanju je održano osam pozvanih predavanja, deset usmenih referata i više od dvadeset referata na posterima. Osim toga prikazane su mogućnosti Sistema naučnih i tehnoloških informacija Jugoslavije (SNTIJ). Za vrijeme savjetovanja bila je stalno otvorena izložba knjiga i publikacija. Konačni čin savjetovanja bio je Okrugli stol s osnovnom temom o stanju u izdavaštvu znanstvenih časopisa, te mogućnostima unapređenja kvalitete tih časopisa u budućnosti.

Naziv savjetovanja nije baš u potpunosti odgovarao temama koje su obrađivane u referatima i predavanjima. Predavanja koja su bila vezana za razvoj časopisa više su prikazivala dosadašnji razvoj časopisa nego što su davala prijedloge ili predviđanja za budući razvoj. Zbog toga se 2000. godina u naslovu ne treba shvatiti doslovno, jer nisu postavljeni neki konkretni ciljevi koje bi trebalo ostvariti do te godine. Većina predavanja i referata na posterima obradila je i analizirala probleme odnosno značajke u dosadašnjem izdavanju časopisa.

Uvodno predavanje (jedno od pozvanih predavanja) pod naslovom »Razvoj znanstvenih časopisa u svijetu«, koje je održala dr. Nevenka Pravdić iz Instituta informacijskih znanosti u Zagrebu, u najvećoj je mjeri obuhvatilo razvoj znanstvenih časopisa.

*Kada se govori o funkciji znanstvenih časopisa, u tom predavanju su navedene četiri osnovne funkcije:*

- prijenos informacija
- pohranjivanje
- kontrola kvalitete
- prepoznavanje prioriteta.

*Nužno je da su sve te funkcije zadovoljene istovremeno. Posebna težina se pridaje kooperaciji između autora, urednika, recenzenta i izdavača. Ta međusobna suradnja je vrlo bitna za kvalitetu časopisa. U razvoju časopisa u svijetu postojalo je razdoblje vrlo intenzivnog povećanja broja časopisa, da bi nakon toga nastupilo određeno zasićenje, čije su posljedice odumiranje pojedinih časopisa zbog financijskih teškoća s kojima bi se suočavala uredništva.*

*Prema dr. Pravdić, osnovno što neki časopis čini znanstvenim jest:*

- mišljenje urednika
- zadaci recenzenta i
- odnos prema autoru.

*Naglašeno je da časopis bez recenzije u suštini ne može biti znanstven. Međutim ni bilo kakva recenzija ne osigurava časopisu znanstveni karakter. Nedjeljiva praksa svakog znanstvenog časopisa treba biti korektan odnos prema autoru. Pod tim se kao osnovno razumijeva to da se svakom autoru treba omogućiti uvid u promjene u njegovu rukopisu i obrazložiti razloge tih promjena.*

*Prema određenim karakteristikama autor je podijelio časopise na svjetske i lokalne. Osnovne crte svjetskih časopisa*

*su internacionalna cirkulacija (što znači da je prisutan na međunarodnom planu), višesmjerni protok informacija (razmjena informacija s više svjetskih časopisa), mogućnost izbora iz mase rukopisa (od velikog broja rukopisa biraju se samo najkvalitetniji). Svjetske časopise najčešće izdaju izdavačke kuće ili znanstvene asocijacije.*

*Kod lokalnih časopisa protok informacija je jednosmjerni (oni uglavnom uzimaju informacije iz svjetskih časopisa, ali im nemaju što ponuditi). Lokalni časopisi obično imaju probleme s nedostatkom rukopisa, a izdaju ih najčešće neke lokalne institucije (npr. muzeji, bolnice i sl.).*

Nakon izlaganja u diskusiji se razgovaralo o nekoliko pitanja. Jedno od njih bilo je vezano za problem utjecaja honoriranja autora na kvalitetu časopisa. Odgovoreno je da većina kvalitetnih svjetskih časopisa uopće ne honorira autore. Samo objavljivanje članka u takvom časopisu smatra se dovoljnom nagradom za autora, jer nije lako dobiti mogućnost objavljivanja u takvim časopisima.

Kada se govori o utjecaju nekog časopisa na razvoj određene privredne grane, zaključeno je da je teško govoriti o časopisu kao cjelini. Može se promatrati utjecaj pojedinog znanstvenog rada iz tog časopisa.

Ono čemu treba težiti pri objavljivanju radova u znanstvenom časopisu jest to da ono što se objavljuje treba biti novo, objektivno i ponovljivo. Na taj način su časopisi u službi znanosti.

Vrlo zanimljiva je bila prezentacija koncepcije razvoja Sistema naučnih i tehnoloških informacija Jugoslavije (SNTIJ) koju su učinili stručnjaci iz UNIVERZE V MARIBORU, RAČUNALNIŠKI CENTER. Ta je institucija izradila Idejni projekt sistema naučnih i tehnoloških informacija Jugoslavije do 1991. godine (1. faza izgradnje). Istaknuta su dva osnovna cilja izgradnje SNTIJ:

- omogućiti korisnicima pristup inozemnim informacijskim resursima, i to sa što manje posrednika na što efikasniji način
- stvoriti informacijske proizvode o domaćem znanju (koje nije obuhvaćeno inozemnim izvorima) i osigurati korisnicima iz zemlje i svijeta pristup tim informacijama.

Dosada je izgrađeno osam regionalnih komunikacijskih čvorova koji su vezani na JUPAK mrežu za prijenos podataka. Ti čvorovi se nalaze u glavnim gradovima republika i pokrajina (osim u Novom Sadu), a u Beogradu su dva čvora. Nakon usmenog izlaganja praktično su prikazane mogućnosti SNTIJ-a, gdje je pokazano uključivanje u informacijske

baze podataka nekih evropskih zemalja koje su priključene na jedinstvenu mrežu.

Završetak rada savjetovanja bio je u obliku okruglog stola gdje se raspravljalo o nekim pitanjima koja su već bila dotaknuta u prethodna dva dana. Najviše se razgovaralo o načinu financiranja časopisa od saveznog i republičkih SIZ-ova za znanstveni rad, te o kriterijima koji bi se eventualno mogli unijeti u novi SAS o financiranju.

U vezi s tim pitanjem bilo je vrlo radikalnih mišljenja i prijedloga da bi trebalo drastično smanjiti broj časopisa koji se financira iz sredstava SIZ-a. Ali, kao i uvijek u takvim raspravama, dosta se polemiziralo o kriterijima koje treba postaviti pred časopise. Neki od prisutnih su sugerirali koji od kriterija bi trebali biti najvažniji za dotiranje nekog časopisa iz sredstava SIZ-a. Takav jedan prijedlog bio je da se kao osnovni kriterij uzme stupanj citiranosti časopisa u svjetskim časopisima iz tog područja. Jedan od važnijih kriterija trebao bi biti referiranost časopisa, odnosno ulazak u svjetsku banku podataka.

Po drugima je vrlo važna redovitost izlaska časopisa.

U raspravi se velika važnost davala recenzijama članaka. Bilo je čak i prijedloga da se recenzenti biraju izvan Jugoslavije, što je ipak za većinu časopisa vrlo teško izvodljivo.

Dosta prijedloga bilo je usmjereno na okrupnjavanje ili koncentraciju časopisa. To bi značilo da se u nekom području gdje izlazi više časopisa sa sličnom tematikom oni spoje u jedan jugoslavenski časopis. Time bi se vjerojatno dobilo na kvaliteti časopisa a troškovi bi bili znatno manji. Međutim, o tome je bilo dosta skeptičnih mišljenja koja su upućivala na probleme koji se tu pojavljuju, a koji su slični kao i kod ostalih projekata koji se žele realizirati na saveznoj razini.

Zastupljena je bila i teza da časopise ne treba ukidati dogovorno, nego ih prepustiti tržištu. To bi, drugim riječima, značilo da svaki časopis koji za sebe može osigurati financijska sredstva treba pustiti da izlazi. Jedino bi SIZ-ovi trebali postrožiti neke formalne uvjete koje trebaju ispunjavati časopisi da bi mogli biti sufinancirani od sredstava SIZ-a.

Namjera organizatora nije bila da okrugli stol rezultira nekim konkretnim zaključcima, nego da se iznesu problemi koji su prisutni kod izdavanja časopisa. Apelirano je da svi zajedno učinimo ono što možemo da se postigne više reda, suradnje, ozbiljnosti u izdavanju časopisa kako bi se uz ograničena financijska sredstva dobili ipak kvalitetniji časopisi koji bi unapređivali znanost.

Mladen Zeljko

## ŠTETE OD NEVREMENA U ELEKTROPRIVREDI

Katastrofalno nevrijeme 3. i 4. srpnja 1989. učinilo je velike štete na području sjeverne Hrvatske, kao i u drugim dijelovima u Republici. Oštećena su mnogobrojna postrojenja — u elektroprivredi i u drugim privrednim granama. Najteže posljedice nevremena nastale su na elektroenergetskom području OOUR-a »Elektra« Zabok. Šteta je procijenjena na milijardi dinara. Najveće štete pretrpjele su općine Donja Stubica (8,1 milijardi dinara) i općina Zabok (4,1 milijardu dinara), a ostatak otpada na općine Krapina, Klanjec, Zlatar Bistrica i pregrada. Program sanacije nastalih šteta na području »Elektre« Zabok je izrađen, ali pitanje je kako osigurati financijska sredstva i materijal za uklanjanje teških posljedica srpanjskog nevremena. Očekuje se pomoć drugih elektroprivrednih organizacija i Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske, te šire društvene zajednice.

Štete su nastale i na području općina Zagreb i Zaprešić, gdje se procijenjenije da ukupna šteta iznosi — četiri milijarde dinara. Šteta je najveća kod niskonaponske kableske mreže na starim i dotrajanim objektima, a bilo je šteta i na objektima u izgradnji na području zagrebačkih općina.

I. R.

## HE »DALE« UKLJUČENA U POGON

Nakon uspješnoga pokusnoga dvomjesečnog rada, HE »Dale« je 16. srpnja 1989. na svečan način uključena u redovnu

proizvodnju elektroenergetskog sistema Hrvatske. Na simboličan način elektranu je uključio u rad predsjednik Izvršnog vijeća Sabora SR Hrvatske Antun Milović. Svečanosti je prisustvovalo više tisuća ljudi uglavnom graditelji, rukovodioci društveno-političkih organizacija, predstavnici elektroprivrede iz cijele zemlje i drugi gosti.

HE »Dale«, snage 40,8 MW, još je jedan od energetske objekata koji se koristi vodom rijeke Cetine. Elektranu je locirana u mjestu Bišku, a sagrađena je oko četiri kilometra od Trilja.

Nova hidroelektrana Dale, peta u porječju Cetine, ostvarivat će prosječnu godišnu proizvodnju od 157,5 GWh električne energije. Investitor »Elektroprivreda Dalmacije« Split u izgradnju objekta uloženo je oko 200 milijardi dinara. Glavne projekte u realizaciji projekta te protočne, pribranske hidroelektrane s dva agregata ukupne instalirane snage 40,8 MW izradili su stručnjaci RO »Elektroprojekt« iz Zagreba. HE »Dale« sagrađena je u najljepšem kanjonu Cetine za nepune četiri godine. Glavni su objekti brana duga 110, a visoka 40,5 metara. Srednji godišnji protok vode je 107,5 m<sup>3</sup>/s, čiji je pad 21 metar. Maksimalna zapremina vode u akumulaciji izračunata je na 3,7 hm<sup>3</sup>. Duljina obilaznog tunela te hidroelektrane je 238 metara. Širina je u obliku potkovice u dnu 11,6 a visina 7,3 metra.

Turbinska, generatorska, hidromehanička oprema ugrađena u novu automatiziranu hidroelektranu predstavlja pothvat naših graditelja i proizvođača. Na gradnji HE »Dale« glavne građevinske radove izvodili su GRO »Konstruktor« — OOUR »Građenje« Split, RO »Geotehnika« Zagreb, IGRO »Sinj« i »Cetina« Sinj, RO »Livno-putovi« iz Livna, VRO »Split« iz Splita i mnogi kooperatnti. Odgovarajuća postrojenja i opremu također su vrlo uspješno i kvalitetno proiz-



Hidroelektrana Dale

veli »Rade Končar« Zagreb, tvornica Litoštroj i »IMP«-u Ljubljani zatim »Metalna« i TSN u Mariboru, »Brodosplit« iz Splita, »Elektrolanac« Rijeka, »Energoinvest« Sarajevo, »Unis« Mostar i drugi radni kolektivi iz cijele zemlje.

I. R.

### **POLUGODIŠNJA REALIZACIJA ELEKTROENERGETSKE BILANCE ZA 1989. GODINU**

Po dispečarskim podacima ZEOH-a ostvareni rezultati planirane Elektroenergetske bilance Hrvatske za 1989. godinu su sljedeći: U razdoblju siječanj-lipanj 1989. ukupna potrošnja na prijenosnoj mreži iznosi 7 531,7 GWh, što je 96,7 posto od plana. U odnosu na isto razdoblje 1988. godine potrošnja je za 1,7 posto veća. Glavni dio potrošnje odnosi se na distribuciju, i to 5 760 GWh, što je 3,5 posto manje od plana, dok potrošnja direktnih i specijalnih potrošača iznosi oko 1 510 GWh. Gubici prijenosa su u visini planiranih količina — oko 262 GWh.

U potrošnju treba uključiti i isporuku duga inozemstvu od 133,6 GWh električne energije.

U razdoblju siječanj-lipanj 1989. godine protočne i akumulacijske hidroelektrane u Hrvatskoj ostvarile su ukupnu proizvodnju 2 118 GWh. Proizvodnja hidroelektrana je za 1 058 GWh manja od plana.

Za razdoblje siječanj-lipanj 1989. energetska vrijednost dotoka bila je za 35 posto manja od očekivane. U istom razdoblju proizvodnja termoelektrana iznosi oko 2 929 GWh, što je više od plana za 253 GWh. Najbolje rezultate ostvarile su TE »Rijeka«, TE »Sisak«, TE-TO »Zagreb I i II« El-TO »Zagreb« i NE »Krško«. Iz termoelektrana izgrađenih u drugim republikama za potrebe konzuma Hrvatske ostvarene su isporuke od 1 487 GWh ili 2,6 posto više od plana zahvaljujući većoj raspoloživosti TE Gacko zbog odgode remonta.

Da bi se potpuno zadovoljile potrebe potrošača u razdoblju I-IV mjesecu 1989, elektroprivreda Hrvatske kupovala je električnu energiju u zemlji i inozemstvu. U zemlji je kupljeno 568,0 GWh, i to od elektroprivreda Srbije i Kosova. Nabava iz inozemstva od 434,0 GWh osigurana je iz ČSSR-a, SSSR-a, Švicarske i Austrije.

I. R.

### **POTROŠNJA PLINA U PORASTU**

Udio prirodnog plina u energetskej potrošnji u SR Hrvatskoj u stalnom je porastu. Tako je 1970. godine u ukupnoj energetskej potrošnji iznosio tek 5 posto, u 1980. oko 12 posto, a prošle godine ostvaren je potrošak gotovo 20 posto. Predviđa se da će do kraja stoljeća iznositi 31 posto. U 1989. predviđa se ostvarenje proizvodnje od 2,14 milijardi m<sup>3</sup> plina, 1995. 3,9 milijarde m<sup>3</sup>, a 2000. godine predviđa se proizvodnja 4,22 milijarde m<sup>3</sup>.

Za ostvarenje toga cilja »INA — Naftaplin« donijela je odluku da glavna raspoloživa sredstva ulaže za ostvarenje projekta »Podravina«. Tim projektom proizvodnja prirodnog plina će se na području Podravine u kratko vrijeme udvostručiti. Ostvarit će se plan o postupnom puštanju u proizvodnju 20 plinskih bušotina na poljima Molve, Kalinovica i Stari Gradac. Ukupna vrijednost ulaganja za realizaciju projekta »Podravina« iznosi oko 300 milijuna dolara, od čega devizna komponenta iznosi četvrtinu ukupnog ulaganja. Ulaganja u realizaciju toga projekta vratila bi se za dvije i pol

godine. Uz realizaciju projekta »Podravina« važno mjesto ima i korištenje plina iz ležišta u podmorju sjevernog Jadrana. Plin s tog područja namijenjen je plinifikaciji Istre i Kvarnera.

I. R.

### **OPREMA ZA PLINSKO POLJE MOLVE 3**

Između RO »Ina-Naftaplin« i »Đuro Đakovića« potpisan je novi ugovor o suradnji radi izrade i isporuke opreme za buduću centralnu plinsku stanicu »Molve 3«. Potpisivanju ugovora o zajedničkom poslu uz predstavnike tih dvaju kolektiva prisustvovao je i predsjednik Izvršnog vijeća Sabora Hrvatske Antun Milović.

Posao koji obuhvaća izradu oko 30 posuda, kolona spremnika i drugih elemenata, dobio je kolektiv »Đuro Đakovića« putem javnog natječaja. Vrijednost posla je oko 40 milijardi dinara. U izgradnji velikog objekta kao što je centralna plinska stanica »Molve 3« sudjelovat će i druge domaće proizvodne i izvođačke organizacije ostale opreme kao »Rade Končar«, TPK, »Jedinstvo«, »Đuro Đaković« itd. Osobito je aktivan isporučilac opreme kolektiv »Rade Končar« koji već osam godina za potrebe »INA-Naftaplin« isporučuje kompletnu opremu energetike za plinske stanice »Kalinovica«, »Molve 1 i 2«, »Stari Gradac« i dr.

I. R.

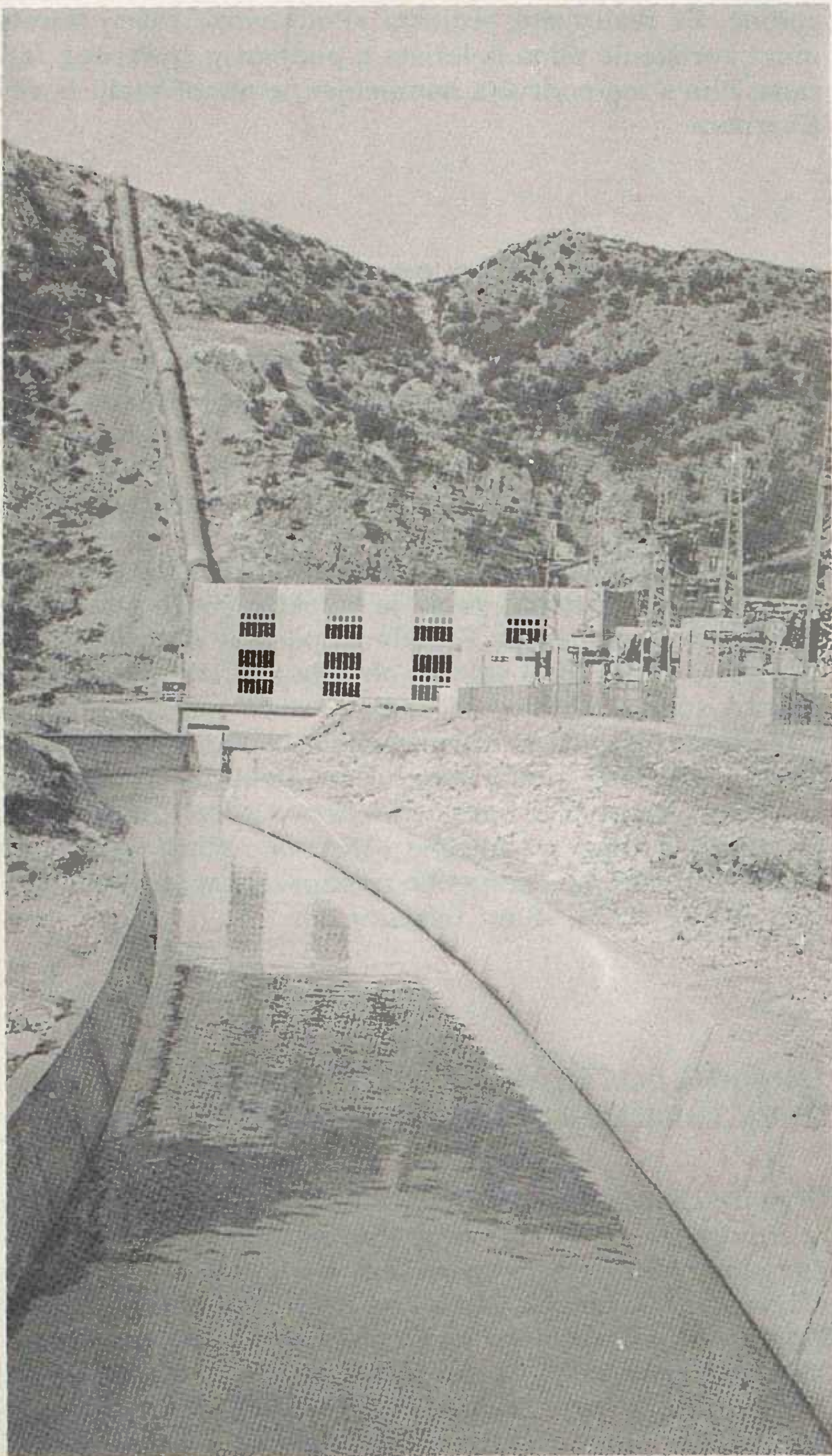
### **USKORO POČETAK GRADNJE NOVIH ELEKTROENERGETSKIH OBJEKATA**

Organizacija »Elektroprivreda Dalmacije« u Splitu uskoro će započeti s radovima na gradnji hidroenergetskog sistema »Čaprazlije«. To je druga faza HE »Orlovac« i gradnja dviju minielektrana — »Krčić« na Krčiću, sjeveroistočno od Knina i HE »Prančevići« na Cetini. Izgradnjom tih elektrana elektroenergetski sistem Hrvatske bit će obogaćen novom godišnjom proizvodnjom od 190 GWh električne energije. Odluku o njihovoj izgradnji — zajedno s početkom HE »Lešće« na Dobri, čiji je investitor »Elektroprivreda« Zagreb, donijeli su delegati Skupštine RSIZ-a potrošača i Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske.

Izgradnjom HE »Đale« rijeka Cetina je energetskej iskorištena, ali preostaju još neki zahvati na širem porječju Cetine. Retenzija »Čaprazlije« koristilo bi površinske vode Livanjskog polja. To je područje koje najvećim dijelom pripada SR Bosni i Hercegovini. Oborinske vode tih terena kanalima bi se usmjeravala u akumulaciju »Buško blato«. Dodatne količine vode iz povećane akumulacije koristila bi hidroelektrana »Orlovac«, u tom slučaju godišnja proizvodnja povećala bi se za novih 100 do 130 GWh električne energije. Nedavno je postignut konačni sporazum Socijalističkih Republika Hrvatske i Bosne i Hercegovine o zajedničkoj gradnji sistema »Čaprazlije«. Do sporazuma je došlo nakon višegodišnjih analiza i studija. Usaglašeni su svi uvjeti, što je sve definirano u »Protokolu za realizaciju programa korištenja prirodnih resursa Livanjskog polja«. Izrada investicijskog programa nastavka izgradnje HE »Orlovac« uglavnom je završena tako da gradnja već može početi, a treba biti završen potkraj 1991. godine.

HE »Prančevići« namijenjena je ispuštanju biološkog minimuma u nizvodno korito Cetine na brani »Prančevići« i njegovo energetskej korištenje za proizvodnju električne enrgije.

HE »Prančevići« će se ukomponirati u postojeće objekte brane kao dio postrojenja HE »Zakućac«. Izgradnja objek-



**Hidroelektrana Orlovac**

ta počet će već u 1989. godini, a trajala bi ukupno 29 mjeseci. Puštanje u pogon planirano je sredinom 1991. godine.

Osnovni podaci HE Prančevići:

— nazivni instalirani protok	6,0 m <sup>3</sup> /s
— maksimalan protok kod maksimalnog uspora	8,0 m <sup>3</sup> /s
— maksimalni raspoloživi pad	oko 24 m
— maksimalna snaga generatora	1500 kW
— godišnja proizvodnja	8,8 GWh.

Upravljanje elektranom predviđeno je s brane »Prančevići«, gdje postoji stalna posada.

HE »Krčić 2« treći je objekt koji će se uskoro početi graditi. Projektna dokumentacija u cijelosti je završena.

HE »Krčić«, sa snagom 6,11 MW i instaliranim protokom 15 m<sup>3</sup>/s, predstavlja najuzvodniju centralu s tzv. čeonom akumulacijom koja ne rješava, ali smanjuje mogućnost poplava i povećava proizvodnju na svim nizvodnim hidroelektranama na Krki. Gradnja objekta trajat će oko 2,5 godine.

### Značenje HE Lešće

Radna organizacija »Elektroprivreda« Zagreb ubrzano radi na izradi projektne dokumentacije potrebne za početak gradnje HE »Lešće«, snage 37,8 MW, s mogućom prosječnom proizvodnjom oko 92,6 GWh.

Hidroelektrana predstavlja drugu stepenicu u iskorištavanju vodnog potencijala Gojačke Dobre.

Uloga HE »Lešće« je proizvodnja električne energije u varijabilnom dijelu dnevnog dijagrama potrošnje, čime se u znatnoj mjeri povećava vrijednost hidroelektrane.

Hidrološka značajka Gojačke Dobre su visoke proljetne i jesenske vode, dakle i velika proizvodnja električne energije u to vrijeme. Lokacija HE »Lešće« je na toku Gojačke Dobre, na stacionaži 38 + 860, u blizini sela Goranci.

Glavni sastavni dijelovi HE »Lešće« jesu strojarnica s dvije glavne proizvodne grupe i agregatom biološkog minimuma, zatim pregrada, akumulacijski bazen, te šahtni preljev koji se veže na horizontalni odvodni kanal.

Strojarnica je smještena nizvodno od lučne pregrade u sredini riječnog korita. Dovod do turbine predviđen je s dva čelična cjevovoda promjera 3,95 m. Od desnog cjevovoda predviđen je odvojak promjera 0,70 m za turbinu biološkog minimuma.

Hidroelektrana »Lešće« je pribransko postrojenje s dvije glavne proizvodne grupe i jednom pomoćnom. Evakuacija velikih voda predviđena je kroz šahtni preljev priključen na obilazni tunel.

Hidroelektrana »Lešće« predviđena je kao objekt bez pogonske posade. Opremom elektrane upravljat će se daljinski iz komande porječja Kupe. Lokalno upravljanje u elektrani predviđeno je za slučaj zaposjedanje objekta, te u vrijeme upuštanja nakon izgradnje i remonta. Lokalno upravljanje je automatsko pojedinačno i ručno pojedinačno.

I. R.

## PRIMJENA SUNČANE ENERGIJE

Osnova dugoročnog razvoja energetike SR Hrvatske do 2000. godine s vizijom razvoja do 2020. godine predviđa i korištenje nekonvencionalnih izvora energije. U obzir zasnada dolazi samo iskorištavanje sunčane energije. Istina, sunčana energija nije pogodna za širu eksploataciju, ali se može koristiti za prostore s manjim gustoćama naseljenosti. Već su ostvareni početni praktički rezultati. U tu aktivnost uključeni su i domaći proizvođači odgovarajuće opreme.

Sunčana energija u našim krajevima koristi se za zagrijavanje turističkih naselja, bolnica i staklenika za potrebe povrtlarstva. U novije vrijeme radi se i na uvođenju sunčanih centrala.

Uskoro će na području šibenske općine biti instalirana prva centrala na sunčanu energiju snage 1 MW. Sredstva u iznosu otprilike 1 milijun dolara osigurava SOOUR »Rade Končar« iz Zagreba, Industrija aluminijska »Boris Kidrič« iz Šibenika i Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske. Takve centrale pogodne su za razvoj turizma. To su, naime postrojenja koja ne zagađuju okoliš. Posebno bi dobro došla na otocima gdje nedostaje električne energije.

### Domaća oprema

Na jesenskom Zagrebačkom velesajmu od 18. do 24. rujna 1989. nastupili su proizvođači opreme za korištenje sunčane energije. RO »Regeneracija« — radna jedinica »Edis« iz Zaboka izložila je model prve jugoslavenske solarne centrale.

Preko fotonaponskog modula elektrana pretvara solarnu energiju u električnu, koja se uskladišćuje u akumulatoru od 12 V. Tako dobivena energija može se koristiti za cjelovitu rasvjetu manjih kuća, vikendica, kamp-kućica, a pomoću pretvarača može se koristiti i za napajanje kućanskih aparata. Cijena solarne elektrane s kompletnom opremom iznosi otprilike 30 milijuna dinara. Prva serija ovih centrala već je rasprodana.



Na Velesajmu predstavljena je nova proizvodnja solarnih ćelija čiji je proizvođač splitski pogon »Rade Končar« u suradnji s američkom tvrtkom »Chronarom«. Ti su proizvodi po ocjeni stručnjaka najavili 21. stoljeće, pa ne čudi da je sva proizvodnja u prvoj godini rada predviđena za izvoz, čija je vrijednost oko milijun dolara.

I. R.

## GRADNJA PRIJENOSNIH OBJEKATA NA PODRUČJU ELEKTROSLAVONIJE

Plan izgradnje elektroenergetskih objekata za 1989. godinu na području »Elektroslavonije« Osijek, plan je obuhvatio izgradnju i prijenosnih objekata čija je gradnja u toku. Najvrijedniji su objekti: TS 110/35/10 kV Slavonski Brod — Bjeliš, zatim DV 110 kV Valpovo-Beli Manastir, proširenje TS 110/35/10 kV Beli Manastir i rekonstrukcija TS 110/35/10 kV Vinkovci.

Izgradnjom DV 110 kV Valpovo-Beli Manastir, dužine 26 km, zatvorit će se elektroenergetska petlja na naponskom nivou 110 kV i osigurati dobro napajanje potrošača električnom energijom na području općina Valpovo i Beli Manastir. Vod će biti izveden na čelično-rešetkastim stupovima tipa »jela«, a vodiči su AlFe uže  $3 \times 240/40$  mm<sup>2</sup>.

Projektну dokumentaciju i kompletnu izgradnju izveli su stručnjaci poduzeća »Dalekovod«, proizvođač stupova je »Energoinvest« iz Sarajeva. Radovi na izgradnji tog dalekovoda ulaze u završnu fazu. Prije puštanja u pogon dalekovoda izvest će se proširenje TS 110/35/10 kV Beli Manastir.

Na području »Elektroslavonije« važna je izgradnja TS 110/35/10 kV Slavonski Brod — Bjeliš. U industrijskom dijelu Slavanskog Broda, zvanom Bjeliš, dovršava se prva transformatorska stanica na području »Elektroslavonije«, projektirana po zahtjevima tipizacije ZEOH. U toku je montaža energetske i sekundarne opreme. Krupna oprema na objektu je montirana, a isporučen je i energetska transformator 40 MVA, proizvod MINELA. Radovi na objektu TS 110/35 kV Vinkovci započeti su u veljači 1989. godine — u sklopu tih radova obaviti će se rekonstrukcija i prilagođenje trafostanice za sistem daljinskog upravljanja.

I. R.

## PROIZVODNJA PLINA U PORASTU

U 1989. godini očekuje se da će biti proizvedeno 2,14 milijardi m<sup>3</sup> prirodnog plina. U razdoblju siječanj — kolovoz 1989. godine u Hrvatskoj je ostvarena proizvodnja jedne milijarde i 950 tisuća m<sup>3</sup>. Time je osmomjesečni plan proizvodnje premašen za dva posto. Do povećanja proizvodnje plina došlo je zbog proširenja i moderniziranja plinskih polja Molve 1 i Molve 2, te dvije nove plinske bušotine na poljima Kalinovac i Stari Gradac.

U istom razdoblju (siječanj — kolovoz) s naftnih polja dobiveno je oko milijun i 904,5 tisuća tona nafte i kondenzatora, što je tri posto manje od plana. Ocijenjeno je da će plan za 1989. godinu biti u potpunosti ostvaren.

I. R.

## SVJETSKA KONFERENCIJA ZA ENERGIJU

U Montrealu je 18. rujna 1989. održan 14. kongres Svjetske konferencije za energiju koji je trajao sedam dana. Na ovom skupu prisutni su najpoznatiji stručnjaci s tog pod-

ručja, kao i predstavnici vodećih transacionalnih koncerna, proizvođača energetske opreme. Na savjetovanju izneseno je 46 znanstvenih referata, a održane su i brojne popratne stručne manifestacije i izložbe.

Glavna tema s kojom se ovaj Kongres bavio je traženje odgovora na pitanje s kakvom se sve energijom može računati u 21. stoljeću. Raspravljano je i o zaštiti čovjekove okoline. O ovim pitanjima održano je više znanstvenih izlaganja i prikazan je rad istraživanja. Obradeni su znanstveni radovi autora koji se bave i rade na tzv. alternativnim energetskim izvorima.

Očito, u traženju mogućnosti za podmirenje sve većih energetske potreba čovječanstva više se olako ne odbacuju nikakvi izvori, ali prednost imaju oni projekti kojima se nudi najjeftinija energija. S posebnim zanimanjem prihvaćeno je izlaganje posvećeno budućnosti nuklearke i novim modelima, odnosno opremi nuklearnih elektrana.

Među sudionicima Kongresa je prisustvovala i jugoslavenska delegacija na čelu s predsjednikom Komiteta Svjetske konferencije za energiju dr. Nenadom Đajićem. U našoj delegaciji bili su i članovi Instituta za elektroprivredu Zagreb dr. Božo Udovičić i dr. Duško Čorak.

I. R.

## SPORAZUM O GRADNJI DRINSKE ELEKTRANE

Nakon dugotrajnog pregovaranja između SR Bosne i Hercegovine i SR Crne Gore potpisan je sporazum o zajedničkoj gradnji HE »Buk Bijala« na Drini kod Foče, instalirane snage 450 MW. Pripremni radovi početi će već 1989. a gradnja glavnih objekata u toku 1990. godine. Vrijednost investicije za gradnju ove hidroelektrane procijenjena je na oko 400 milijuna dolara. Za izgradnju planiranih objekata koristit će se inozemni kredit u visini 40 do 50 posto planiranih ulaganja koji će dobiti Međunarodna banka.

I. R.

## POVEĆANJE KORIŠTENJA VODOTOKA LIKA — GACKA

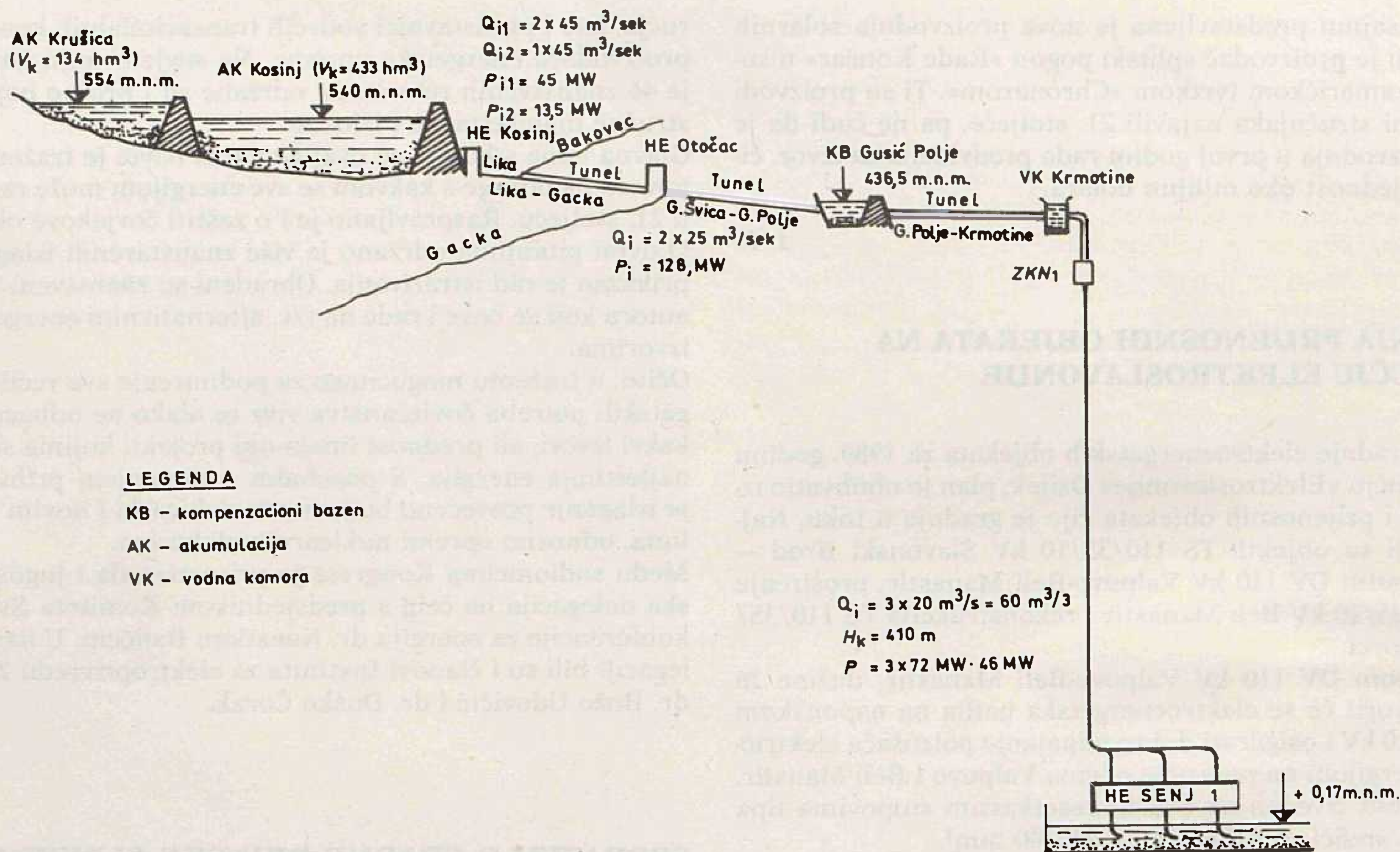
Ve 24 godine se koriste vode rijeke Like i Gacke u energetske svrhe. Godine 1965. puštena su u pogon dva agregata ( $2 \times 72$  MW) u HE Senj, da bi sljedeće 1966. godine bio pušten i treći. Dakle, ukupna instalirana snaga HE Senj iznosi  $3 \times 72 = 216$  MW.

Hydroenergetski sistem Lika — Gacka sastoji se od akumulacijskog bazena Kruščica, HE Sklope, snage 22,5 MW, tunela Lika — Gacka dužine 10 477 metara, tunela Gornja Švica — Gusić Polje 9 195 metara, kompenzacijskog bazena Gusić Polje, tunela Gusić Polje — Hrmatine dužine 13 577 metara, vodne komore Hrmatine, zasunske komore Hrmatine, tlačnog cjevovoda, dužine 614 metara, strojarne s tri agregata, odvodnog tunela i izlazne građevine.

U današnjem pogonu HE Senj registrirani su preljevi čiji je prosjek 360 hm<sup>3</sup> ili isto toliko energije s obzirom na to da je na padu HE Senj energetska ekvivalent m<sup>3</sup> — 1 kWh.

Budući da se radi o značajnim vodama i energiji, tražena su rješenja kako privesti korištenje tog potencijala.

Prije svega je ispitivano sa stajalište vododrživosti rješenje s većom akumulacijom koja bi zapravo uhvatila sve vode i omogućilo njihovo korištenje na postojećem HE Senj 1. Na taj bi način HE Senj 1 postala temeljna elektrana s obzirom na to da bi joj vrijeme korištenja poraslo godišnje na preko 6 000 sati. Istraživanja su potvrdila vododrživost velike akumulacije Kosinj (567 hm<sup>3</sup>).



Korištenje preljeva koje se javlja u pogonu HE Senj 1 odabrano je rješenje koje se predviđa realizirati u dvije etape:

- U prvoj etapi bi se izgradila velika akumulacija Kosinj i HE Kosinj, umjesto HE Sklope koje se potapa i koristit će se postojeći agregat HE Sklope, te se instaliraju i dva nova agregata.
- U drugoj etapi, kada se pokaže potreba za vršnom snagom, izgradila bi se paralelno HE Senj 1 — HE Senj 2 s istom ili većom snagom, već prema tome koliko se analiza pokaže energetsko-ekonomski opravdanim.

Osim toga postoji mogućnost izgradnje HE Otočac koja bi koristila pad od 25 m na kraju tunela Lika — Gacka, odnosno na ulazu u tunel Gornja Švica — Gusić Polje. Ovu je hidroelektranu moguće izgraditi i ranije, samo bi imala nešto manju proizvodnju. S velikom akumulacijom povećava se moguća proizvodnja HE Otočac.

Prema tome za korištenje preljernih voda rijeke Like i Gacke predviđeno je izgraditi: branu i akumulaciju Kosinj, HE Kosinj i HE Otočac. Priložena slika prikazuje navedeno buduće stanje izgradnje hidroenergetskog sistema Lika — Gacka. Izgradnja HE Senj 2 u drugoj etapi zahtijeva prekopavanje paralelnog tunela Gusić Polje — Krmotine, te izradu novog cjevovoda kao i strojarnice. Ovdje će se promatrati i valorizirati opravdanost izgradnje akumulacije i hidroelektrane Kosinj i hidroelektrane Otočac.

### Karakteristike HE Kosinj i HE Otočac

Prema konceptijskom rješenju hidroelektrana Kosinj će imati tri agregata. Od toga dva agregata će raditi između kota 515 mnm i 540 mnm. Ako se kota u jezeru spusti ispod 515 mnm, prethodna dva agregata se obustavljaju, a pušta

u pogon treći. Taj treći radi u rasponu od 496 mnm do 515 mnm. Prema tome HE Kosinj ima ukupnu veličinu izgradnje od  $3 \times 45 = 135 \text{ m}^3/\text{sek}$ . Međutim, ona može raditi maksimalno — sa  $2 \times 45 = 90 \text{ m}^3/\text{sek}$  u području 515 do 540 mnm, odnosno  $1 \times 45 \text{ m}^3/\text{sek}$  u području 496 do 515 mnm.

Hidroelektrana Otočac se nalazi nizvodno od HE Kosinj. Njena veličina protoka je  $2 \times 25 \text{ m}^3/\text{sek}$ .

Buduće stanje izgradnje HE Kosinj  
 Korisni volumen akumulacije Kosinj i akumulacije Krušice  $535,6 \text{ hm}^3$

Veličina izgradnje HE Kosinj:	
— između kota 515 i 540 mnm	90 m <sup>3</sup> /sek
— između kota 496 i 515 mnm	45 m <sup>3</sup> /sek.
Instalirana snaga HE Kosinj:	
— između kota 515 i 540 mnm	45,0 MW
— između kota 496 i 515 mnm	13,5 MW.

Za korištenje preljernih voda sistema Lika — Gacka glavni su objekti izgradnja brane i akumulacije Kosinj, te premještanje agregata iz HE Sklope u HE Kosinj i ugradnja dvaju drugih agregata.

Kako je rečeno, postoji mogućnost izgradnje hidroelektrane Otočac koja bi se koristila padom od 25 metara na kraju tunela Lika — Gacka, odnosno na ulazu u tunel Gornja Švica — Gusić Polje.

Osnovni podaci HE Otočac: instalirani protok  $2 \times 25 \text{ m}^3/\text{sek}$ ; instalirana snaga 12,8 MW; moguća godišnja proizvodnja 64,0 GWh; netopad 25,0 m. Realizacija plana o korištenju preljeva voda u hidroenergetskom sistemu Lika — Gacka uslijedit će iza 1995. godine. Izrada glavnih projekata povjerena je RO »Elektroprojekt« Zagreb.

I. R.

# IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

## PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U ZEMLJAMA EVROPSKE EKONOMSKE ZAJEDNICE U 1988.

Dvanaest zemalja EZ imalo je u 1988. godini ukupno neto proizvodnju električne energije od 1 610,5 TWh, što je 2,7% više nego prethodne 1987. godine. Od toga je 545,8 TWh proizvedeno u nuklearnim elektranama ili povećanje za 7,8% prema 1987. Udio električne energije proizvedene u nuklearnim elektranama porastao je od 1980. do 1985. od 12% na 31%. Zatim je stagnirao, da se u 1988. popne na 34%. Proizvodnja iz hidroelektrana i geotermičkih elektrana povećala se za 9,5%, a udio ove energije iznosio je 13%. Netouvoz električne energije, tj. saldo uvoza i izvoza, iznosio je 1988. 21,9 TWh. Time je ovisnost o uvozu, s obzirom na cijelu potrošnju, iznosila 1%. Ukupna potrošnja električne energije zemalja EZ povećala se također 2,9%. U tablici 1. prikazani su postoci porasta ukupne potrošnje energije, a posebno električne energije u posljednje 4 godine prema prethodnoj godini.

Tablica 1.

	1985.	1986.	1987.	1988.
Ukupna energija %	+3,9	+1,2	+0,9	+0,2
Električna energija %	+4,4	+2,2	+3,2	+2,9

Iz tablice se jasno vidi da je porast električne energije osjetno veći od porasta sveukupne energije.

U tablici 2. dan je porast potrošnje električne energije za svaku zemlju EZ posebno.

Tablica 2.

	1987.	1988.
EZ 12%	+3,2	+2,9
Belgija	+4,7	+3,3
Danska	+3,7	+1,3
SR Njemačka	+2,0	+2,2
Grčka	+4,0	+5,7
Španjolska	+3,3	+5,7
Francuska	+3,2	+1,3
Irska	+2,8	+1,8
Italija	+4,6	+4,8
Luksemburg	+1,9	+10,2
Nizozemska	+4,5	+3,3
Portugal	+4,5	+7,2
V. Britanija	+2,9	+2,4

Može se još dodati da je Austrija (zemlja izvan EZ) 1988. potrošila 3% manje električne energije nego 1987.

ÖZE, god. 42 (1989), br. 5

Mrk.

## PRVA ELEKTRANA NA VJETAR U NJEMAČKOJ DEMOKRATSKOJ REPUBLICI

U DDR sagrađena je prva elektrana na vjetar koja proizvedenu električnu energiju direktno daje u javnu mrežu. Elek-

trana je izgrađena kod Rostocka, a u prvoj etapi imat će snagu od 50 kW. Visoka je 25 m, promjer dvaju krila iznosi 23 m, a ukupne je mase 7,5 t.

ETZ, god. 110 (1989), br. 9

Mrk.

## HIDROELEKTRANA KAO TOPLANA

Austrijske dunavske elektrane isporučit će u zimskoj sezoni 1989/90. toplinsku energiju za grijanje stanova iz dunavske hidroelektrane Aschach. Toplinska će se energija proizvoditi u dvije stpenice. Prva je postrojenje za izgraranje biomase, gdje će izgarati drvo naplavljeno u Dunavu kao prvo. Nadalje će se koristiti toplina dobivena hladenjen hidrogenatora koju će toplinske pumpe podignuti na potrebnu temperaturu. U susjednim mjestima Aschachu i Hartkirchenu izgrađena je potrebna toplinska mreža o kojoj će se brinuti posebno poduzeće.

Elektrizitätswirtschaft, god. 88 (1989), br. 11

Mrk.

## ELEKTROPRIVREDA FINSKE U 1988. GODINI

Finska je nordijska zemlja nešto veće površine od Jugoslavije, sa blizu 5 milijuna stanovnika i potrošnjom od 11 900 kWh, godišnje po stanovniku. U zemlji se proizvodi 87% potrebne električne energije. Iz hidroelektrana dobiva se 23%, a nuklearnih elektrana 31%. Uvozi se ukupno 13% električne energije, i to 8% iz SSSR-a i 5% iz Švedske. Godišnji porast potrošnje 1987/88. iznosio je 4,2%. Buduće potrebe neće se moći zadovoljiti povećanim uvozom jer su mogućnosti uvoza iscrpljene. Računa se, međutim, na uvoz zemnog plina iz Norveške, ali to je dalja budućnost. Sada je u gradnji 1 100 MW novih proizvodnih kapaciteta. Zasada se ne bi gradile nove nuklearne elektrane, već klasične termoelektrane na ugljen, premda je javno mišljenje više naklonjeno nuklearnim elektranama.

### Proizvodnja električne energije 1988.

Hidroelektrane	13 358 GWh	22,6 %
Termoelektrane	19 491 GWh	33,0 %
Nuklearne	18 442 GWh	31,2 %
Uvoz iz SSSR	4 728 GWh	8,0 %
Uvoz iz Švedske	3 071 GWh	5,0 %
Ukupno	59 090 GWh	100
Izvoz u Švedsku	408 GWh	

Raspoloživo 58 682 GWh

IVO-Annual Report 1988.

Mrk.

## EVROPSKI OPLODNI BRZI REAKTOR

U veljači 1989. potpisan je u Bonnu ugovor između predstavnika Francuske, Engleske, Belgije, Italije i Njemačke o planiranju, razvoju i gradnji evropskog brzog oplodnog nuklearnog reaktora nazvanog EFR (European Fast Reac-

tor). Ovom će se skupu pridružiti i Velika Britanija. Svrha je pothvata da se konstruira standardni tip EFR električne snage 1 500 MW. Time bi se dugoročno riješila opskrba Evrope električnom energijom.

Brigu o koordinaciji u suradnji šest istraživačkih organizacija iz različitih zemalja vodit će posebna organizacija da se izbjegne udvostručavanje radova, ali i da se ne izostave pojedini problemi. I današnji razvojni radovi i projekti na takvim reaktorima provodeći su na međunarodnoj osnovi. Tako, francuski Superphenix predstavlja zajednički projekt francuskih, talijanskih, nizozemskih, belgijski i njemačkih poduzeća.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 88 (1989), br. 8

Mrk.

## HIDROELEKTRANA S CIJEVNIM TURBINAMA NA NILU

Egipat gradi na Nilu, 80 km južno od Luxora (Dolina kraljeva), hidroelektranu. Brana (Esna) neće služiti samo za potrebe elektrane već i za navodnjavanje i plodnost Nila. Austrijska tvrtka Elina zajedno s talijanskom tvrtkom Ansaldo dobavit će 6 cijevnih agregata snage 14,3 MW po jedinici. Hidroelektrana bi morala biti u punom pogonu 1993, a davala bi u mrežu 634 GWh električne energije godišnje.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 88 (1989), br. 8

Mrk.

## HYDRO QUEBEC POSTAJE UVOZNIK ELEKTRIČNE ENERGIJE

Kanadsko elektroprivredno poduzeće Quebec, koje je vrlo poznato kao izvoznik električne energije, sprema se da iduće zime postane uvoznik. Radi se o snazi do 1 000 MW. Tu bi snagu stavila na raspolaganje mala elektroprivredna poduzeća, od kojih se polovina nalazi u državi New York. Takav je korak učinjen iz tri razloga: ponajprije zbog slabe distributivne mreže, zbog pomanjkanja osoblja za održavanje i pogoršanja kvalitete dobave.

Hydro Quebec predviđa, zbog toga, da će utrošiti milijardu dolara za uređenje svoje distributivne mreže.

*RGE*, god. 1989, br. 5

Mrk.

## ALTERNATIVNI ENERGETSKI IZVORI U FRANCUSKOJ

Francuska je u vrhu industrijskih zemalja u kojima se proizvode vrlo opsežna istraživanja radi korištenja alternativnih izvora energije. Grijanje vode pomoću sunca vrlo je rašireno. Sunčani kolektori već su ugrađeni u 30 000 domaćinstava. Sadašnja nastojanja idu za tim da se stave na tržište što jeftiniji kolektori bez specijalnog ustaklenja s cijevima od umjetnih masa. U istočnim Pirinejima izgrađena je termodinamička ispitivanja elektrana Thémis kod Targassone. Konstruirano je, međutim, da cijena tako proizvedene električne energije još nije konkurentna.

U pogledu fotovoltaičkih ćelija Francuska je vodeći proizvođač. Razvijena je tehnologija ćelija s monooksidnim i polikristalnim silicijem, kao i s amorfnim silicijem. Osim samih ćelija razvijena je i ostala potrebna oprema, tako da francuska industrija može zadovoljiti sve zahtjeve u području fotovoltaike.

Elektrane na vjetar ispituju se kod Lastoursa i na bretonskom otoku Quassantu. Francuska je industrija spremna za izradu termopumpa jer ta vrsta grijanja još nije optimalno iskorištena.

*ÖZE*, god. 42 (1989), br 4

Mrk.

## ELEKTROPRIVREDA DANSKE

U Danskoj postoje dva javna elektroprivredna poduzeća koja se bave proizvodnjom i prijenosom električne energije. Poduzeće Elkraft ima mrežu vezanu na Norvešku, a Elsam na Norvešku, Švedsku (istosmjerni kabel) i na mrežu SR Njemačke. U Danskoj te dvije mreže nisu vezane.

Do početka sedamdesetih godina glavni nosilac primarne energije bila je nafta s udjelom od 93%. Od 1973. uvoz nafte nastoji se smanjiti zamjenom ugljena i forsiranjem obnovljenih izvora energije. U 1987. udio nafte pao je na 50%.

Kao što se događalo i u ostalim industrijskim zemljama, u posljednjih 10 godina rast primarne energije bio je usporen, ali je potrošnja električne energije u stalnom porastu. Potrošnja primarne energije koja je 1977. iznosila 812 PJ, rasla je do 1979, zatim padala, pa je 1987. iznosila tek 810 PJ. Naprotiv, potrošnja električne energije porasla je u tih 10 godina za 39%. U strukturi potrošnje vrlo su izražena domaćinstva, jer se u Danskoj 153 000 stanova grije pomoću elektrike.

Procentualno struktura potrošnje bila je sljedeća:

Domaćinstvo	33,3 %
Poljoprivreda	7,8 %
Industrija	27,4 %
Zanatstvo i javna potrošnja	28,1 %
Željeznice	0,6 %
Ostalo	2,8 %
	<hr/>
	100 %

Kudikamo najveći dio električne energije proizveden je u javnim i industrijskim termoelektranama. Struktura proizvodnje električne energije u Danskoj za 1987. godinu dana je tablično.

Netoproizvodnja javnih elektrana

Termoelektrane	25 841 GWh
Plinske i dizelske elektrane	20 GWh
Hidroelektrane	25 GWh
Elektrane na vjetar	4 GWh

Netoproizvodnja industrijskih (privatnih) elektrana

Termoelektrane	293 GWh
Hidroelektrane	4 GWh
Elektrana na vjetar	169 GWh
Elektrana na bioplin	9 GWh

Ukupno neto	26 366 GWh
Saldo uvoz-izvoz	3 576 GWh
Gubici	2 047 GWh

Isporučeno mreži	32 989 GWh
Vrh opterećenja (siječanj 1987)	6 098 GWh

Kao što se iz danog pregleda vidi Danska uvozi oko 12% svojih netopotreba na električnoj energiji. Primjetljiva je razmjerno velika proizvodnja elektrana na vjetar. U Danskoj ima više od 1600 vjetrenjača koje proizvode električnu energiju, ukupne snage 110 MW. Od toga 16 MW instalirano je u 11 parkova koji imaju 10 do 30 jedinica. Suma čitave obnovljive energije iznosi ipak tek 0,7% ukupne potrošnje. Treba napomenuti da je početkom osamdesetih godina državna subvencija za izgradnju elektrana na vjetar bila

vrlo velika, sada je snižena, ali još uvijek značajna. Svojevremeno je Danska imala u planu da do 1995. 10% potrebne električne energije proizvede pomoću vjetra. Za ostvarenje tog plana trebalo bi izgraditi oko 2 000 MW tavnih elektrana. Osim vjetra računa se i na neiskorištene slame iz poljoprivrede, smeće i bioplin i drvo. Na bazi spomenutih izvora trebalo bi izgraditi elektrane snage 450 MW.

U Danskoj se također raspravljalo i o upotrebi nuklearne energije, ali je tu mogućnost Parlament odbacio, pa se time više ne računa. Umjesto nuklearne energije proizvodnja se orijentirala na uvozni ugljen s malim postotkom sumpora. Od 1983. počeo se također upotrebljavati domaći zemni plin, čija upotreba stalno raste.

Velika se pažnja također poklanja štednji električne energije. Osim poboljšanog iskorištenja i odgovarajuće cijene upućuju na štednju. S obzirom na poduzete mjere vlada smatra da će godišnji porast potrošnje električne energije iznositi u sljedećem desetljeću 2,5%.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 88 (1989), br. 5

Mrk.

### SREDNJI GODIŠNJI POTROŠAK ELEKTRIČNE ENERGIJE U DOMAĆINSTVU

Domaćinstva u različitim industrijaliziranim zemljama imaju vrlo različit potrošak električne energije. Dok prosječno domaćinstvo u Švedskoj i SAD troši godišnje poprilično jednaku količinu električne energije, talijansko domaćinstvo troši tek 22% švedskog. Glavna razlika u prosječnoj potrošnji dolazi zbog grijanja i klima-uređaja. Srednji godišnji potrošači po domaćinstvu u 1989. godini su sljedeći:

Švedska	9 340 kWh/god.
SAD	9 038 kWh/god.
Velika Britanija	4 143 kWh/god.
Francuska	3 951 kWh/god.
SR Njemačka	3 618 kWh/god.
Japan	3 312 kWh/god.
Italija	2 067 kWh/god.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 88 (1989), br. 6

Mrk.

### ZAŠTITA OKOLIŠA TRAZI POVEĆANJE VLASTITE POTROŠNJE KLASIČNIH TERMOELEKTRANA

Prema izvještaju Saveza njemačkih elektrana, vlastiti potrošak klasičnih elektrana porastao je u 1988. godini za 11,4% ili 2 500 GWh zbog ugrađenih uređaja za zaštitu okoliša. Budući da je ovdje uzet postotak na sveukupnu vlastitu potrošnju elektrana, uključujući npr. i hidroelektrane, stvarno je postotak povećanja u termoelekttranama znatno veći. Treba reći da je u pogon ušlo u prošloj godini 148 uređaja za odsumporavanje, pa je vlastiti potrošak 1988. iznosio 24 400 GWh ili 6,7% brutoprodukcije.

ÖZE, god. 42 (1989), br. 5

Mrk.

### SVJETSKI SAVEZ PODUZEĆA KOJA IMAJU U POGONU NUKLEARNE ELEKTRANE

U Moskvi je u svibnju osnovan Svjetski savez poduzeća koja imaju u pogonu nuklearne elektrane pod službenim imenom »World Assotiation of Nuclear Operators«, kojemu je kratica WANO. Nakon dvodnevne konferencije, kojoj su

prisustvovali predstavnici 115 elektroprivrednih organizacija iz 31 zemlje svijeta, potvrđen je osnovni statut nove organizacije. Centar saveza je u Parizu uz centre u Atlanti (SAD), Moskvi i Tokiju.

*ETZ*, god. 110 (1989), br. 11

Mrk.

### TRANSRAPID ZA DISNEYWORLD

Ima mnogo izgleda da će prva brza magnetska pruga biti izgrađena u SAD, državi Florida. Odgovarajuće ugovore trebalo bi potpisati u siječnju 1990, a zatim početi s gradnjom na liniji dugoj 36 km, između aerodroma u Orlandu i Epcot-centra u području Disneyworld-a. Financiranje će biti potpuno privatno, u sumi od 500 milijuna USD. Za realizaciju Transrapid projekta osnovan je posebni japansko-njemačko-američki konzorcij »Maglev Transit Inc.« (MTI). Planeri su u SAD pronašli 22 koridora gdje bi se mogle izgraditi ovakve ultrabrze pruge, kao dodatni i nadopunjujući sistemi za pruge, ceste i zračne linije. Dolaze u obzir npr. pruge Las Vegas-Los Angeles, Harrisburg-Philadelphia i Boston-New York.

*ETZ*, god. 110 (1989), br. 12

Mrk.

### OPSKRBA ZEMNIM PLINOM U EZ

Prema podacima iz 1988. godine svjetske rezerve zemnog plina kretale su se oko 134 milijardi tona ekv. goriva, a dodatne oko 210 milijardi tona. Takve bi rezerve, prema predviđanju zadovoljile svjetske potrebe još barem stotinjak godina. Osim što je zemni plin energent visoke kalorične vrijednosti, njegova upotreba pridonosi smanjenju zagađenja okoliša i umanjuje opasnost efekta staklenika. Zemni je plin osobito prikladno gorivo s obzirom na stvaranje štetnih plinova SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>. Danas se među stručnjacima vodi široka diskusija o problemu ugljikovih spojeva nastalih izgaranjem zemnog plina. Pitanje je u kojoj mjeri ti plinovi pridonose razvoju efekta staklenika na zemlji.

U Evropskoj ekonomskoj zajednici smanjena je 1988. potrošnja zemnog plina za 4% i iznosila je 276 milijuna tona ekvivalentnog ugljena. Udio zemnog plina u ukupnoj potrošnji energije u EZ bio je 18%. Od toga je domaća proizvodnja, uključujući i uvoz iz Norveške, iznosila 74%, doba-va iz SSSR-a 15%, Alžira 10% i Libije 0,5%.

U ekonomskom planu EZ se predviđa da će se 1993. pristupiti povezivanju plinskih mreža Španjolske, Portugala i Grčke na srednjoevropsku plinsku mrežu. U SR Njemačkoj danas se već 30% od 26,6 milijuna stanova grije plinom. Svjetska proizvodnja zemnog plina iznosila je 1988. 2,3 milijarde tona ekvivalentnog goriva, a udjeli država u postocima bili su sljedeći:

Sovjetski Savez	39%
SAD	24%
Kanada	5%
Nizozemska	3%
Alžir	3%
Rumunjska	2%
Vel. Britanija	2%
Indonezija	2%
Meksiko	2%
Norveška	2%
SR Njemačka	1%
Ostali	15%

*Energija*, god. 41 (1989), br. 7

Mrk.

## ISKORIŠTAVANJE GEOTERMALNE ENERGIJE U NJEMAČKOJ DR

Geotermalna energija je regenerativna, šteti fosilna goriva i ne opterećuje okoliš. Kao izvori termalne energije koriste se u DR Njemačkoj termalni izvori s temperaturom dubinskih izvora 40°C do 90°C. Uklapanje geotermalne energije u konvencionalni sistem daljinskog grijanja osobito je korisno u temeljnom opterećenju toplinske mreže. Oko 25% stanova i znatan broj komunalnih i industrijskih potrošača u DR Njemačkoj priključeni su na toplane, koje su ložene ugljenom, naftom i zemnim plinom. Zbog znatnih troškova goriva, treba naći načina da se klasično gorivo što više šteti, a jedna je od mogućnosti i korištenje geotermalnih izvora, koji se nalaze na sjeveru zemlje. Do 1990. godine treba staviti u pogon 5 geotermalnih uređaja. Prvi takav uređaj stavljen je u DR Njemačkoj u pogon 1984. s potpunim uspjehom. Mora se istaknuti da ekonomičnost takvih uređaja ovisi uvijek o specifičnosti mjesta primjene. Pri upotrebom vremenu od 5000 sati specifični pogonski troškovi iznose tek 60% onih uz loženje plinom. Osim toga, zagađenje okoliša znatno se smanjuje.

*Energie*, god. 41 (1989), br. 7

Mrk.

## PRODUKTIVNOST KOPAČA UGLJENA

Zahvaljujući visokokvalificiranom osoblju i modernoj tehnici u industrijski razvijenim zemljama Evrope produktivnost u rudnicima ugljena znatno je porasla. Rudnici su mehanizirani i djelomično automatizirani uz punu primjenu kompjutora i kompjutorski upravljanih uređaja. To je naravno tražilo znatne investicije, ali se i isplatilo, jer je produktivnost znatno porasla. Kolika je produktivnost po čovjeku i satu izražena u kilogramima ekvivalentnog ugljena pokazano je za nekoliko evropskih država u sljedećem pregledu:

Država	kg. ekvivalentnog ugljena	
	1986.	1988.
SR Njemačka	564	592
Vel. Britanija	428	553
Francuska	368	478
Belgija	292	295
Španjolska	220	214

*Energie*, god. 41 (1989) br. 7

Mrk.

## PROJEKT »100 MW – VJETRA«

U SR Njemačkoj već je do sada izgrađeno nekoliko parkova vjetrenjača, o čemu je bilo pisano u ovoj rubrici (*Energija*, god 37 (1988), br. 4, 5, 6), no smatra se da nedostaje neki veći eksperiment elektrana na vjetar zanimljivih za elektroprivredu. Da se i to pitanje počne rješavati predviđen je projekt »100 MW-vjetra«, kojega je izradilo Savezno ministarstvo za istraživanja i tehnologiju. Trebalo bi izgraditi stotine vjetrenjača u sjevernom dijelu SR Njemačke, ukupne snage 100 MW u parkovima i pojedinačno. Ukupni bi investicijski troškovi iznosili 400 milijuna maraka od čega bi ministarstvo snosilo 130 milijuna. Osim toga će ministarstvo pripomoći da se provede opširni program mjerenja i procjena rada u pogonu, čime će ga i financijski pomagati 10

godina. Na svaki proizvedeni kWh ministarstvo će dati 8 pfeninga. Na taj bi se način mogla sakupiti dugogodišnja iskustva o upeješnosti rada elektrana na vjetar velike ukupne instalirane snage. Vjetrenjače bi bile građene i vođene u pogonu u različitim uvjetima, i to s obzirom na tip postrojenja, lokaciju, karakteristike vjetra i vrstu korisnika (elektroprivreda, poduzeća, privatnici).

Nastojat će se da se realizaciji tog projekta pride što prije, a moglo bi se ostvariti u roku od 5 godina.

U ovaj projekt uključena su istraživanja primjene novih materijala, pitanje fenomena umaranja materijala, uvrštenje novih komponentata, razvoj prototipa srednjih i velikih postrojenja, primjena u zemljama u razvoju itd. Najveći broj vjetrenjača izgradit će se u sjevernim obalnim dijelovima Njemačke, ali i neka područja unutrašnjosti dolaze u obzir. Dolazi u pitanje također i primjena npr. u Kini i Argentini kao i na otocima Azorima, Medeiri Kapverdskim otocima i slično. Kooperacija dolazi u obzir sa Španjolskom, Švedskom i Kanadom. Troškovi za ovaj opširni program iskorištavanja energije vjetra bit će namireni iz razvojnog programa Ministarstva za razvoj i tehnologiju, namijenjenog za istraživanja iz područja obnovljive energije i racionalne energetske potrošnje. Za ovu je svrhu, za razdoblje 1989–1992, predviđena svota od 1 milijarde DEM, a od toga samo za 1989. 270 milijuna. Na taj način SR Njemačka daje za navedeni razvoj više nego bilo koja zemlja Evrope, više nego sve zemlje Evropske zajednice zajedno i bitno više nego Japan, a po prilici jednako kao SAD.

*ETZ*, god. 110 (1989), br. 10

Mrk.

## STRUJA IZ DEPONIIJA SMEĆA

U ožujku 1989. stavljen je u pogon uređaj za iskorištenje plinova iz deponija smeća u mjestu Markt Indersdorf u bavarškoj (SR Njemačka). Između 1978. i 1986. na deponiju je odloženo 220.000 m<sup>3</sup> kućnog smeća pa se sada stvara po satu oko 200 m<sup>3</sup> plina. Sastav je plina 50% CO<sub>2</sub> (ugljičnog dioksida) i 50% CH<sub>4</sub> (metana). Pomoću ugrađenih bunara i cijevi plin se siše iz deponija i uvodi u plinski motor vezan na električni generator. Snaga generatora iznosi 170 kW, a računa se s mogućom godišnjom proizvodnjom od oko 1,5 GWh. Proizvedena električna energija bit će prihvaćena u javnu elektroprivrednu mrežu. Računa se da bi ova elektrana mogla raditi barem 15 godina. Ona je potpuno automatizirana, a upravlja se iz susjedne termoelektrane. Glavna svrha ovog uređaja ipak je ekologija, a ne ekonomija.

Na plin iz deponija smeća danas u SR Njemačkoj radi više od 100 motora.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 88 (1989), br. 9

Mrk.

## OSNOVAN »MOSKOVSKI KLUB«

U veljači 1989. osnovan je u Moskvi »Moscow International Energy Club« (MIEC) kojemu pripada 60 stručnjaka za energetiku i zaštitu okoliša iz cijeloga svijeta. Organizacija si je uzela kao zadatak da stručno razjašnjava probleme opskrbe energijom i probleme zaštite okoliša, te da inicira rješenja, bez obzira na državne granice.

Prvo savjetovanje ovog kluba održat će se od 21. do 25. svibnja 1990. u Dortmundu u SR Njemačkoj.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 88 (1989), br. 18

Mrk.

## POTROŠNJA ENERGIJE U NJEMAČKIM DOMAĆINSTVIMA

U SR Njemačkoj 43% ukupne energije predane potrošačima otpada na domaćinstva (1987. godine). Domaćinstvo je prosječno godišnje trošilo 4,4 tone SKE (ekvivalentnog ugljena) a prema trošilima u sljedećem postotku:

Grijanje	52%
Auto	34%
Topla voda	8%
Kućanski aparati	5%
Svjetlo	1%
	<hr/>
	100%

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 88 (1989), br. 18

Mrk.

## U SR NJEMAČKOJ SVE SE VIŠE INVESTIRA U FOKUSNE FOTOVOLTAIČKE ELEKTRANE

Uz pomoć Saveznog ministarstva za istraživanja i tehnologiju i velikih elektroprivrednih poduzeća, posljednjih godina se u SR Njemačkoj mnogo investira u pokusne fotovoltaičke uređaje različite veličine i namjene.

Premda je cijena tako proizvedene električne energije vrlo visoka, cilj je ovih elektrana stjecanje iskustva.

U Bavarskoj, nedaleko Münchena, na starom poljoprivrednom dobru Brunnenbach, udaljenom 2,5 km od najbliže javne mreže, instalirane su fotovoltaičke ćelije za opskrbu energijom. Površina ćelija iznosi 120 m<sup>2</sup>, a godišnja mogućnost proizvodnje je 900 kWh, što prosječno iznosi 25 kWh dnevno. Kao dopuna solarnom izvoru bit će postojeći dizelski agregat. Rad uređaja bit će brižljivo praćen uz odgovarajuća opsežna mjerenja kako bi se utvrdile mogućnosti i granice upotrebe.

U vezi s iskorištenjem solarne energije zanimljivo je spomenutioticu u časopisu »Energie« pod naslovom: Izgradili smo jednu do najekonomičnijih elektrana u Evropi, koju je dalo elektroprivredno poduzeće RWE (Rajnsko-vestfalska elektroprivreda). Poduzeće je 1988. stavilo u pogon najveću fotovoltaičku elektranu u Evropi vezanu na javnu mrežu. Sastoji se od 340.000 ćelija. U planu je i sljedeća solarna elektranu. Proizvedena električna energija 10 je puta skuplja od proizvodnje u termoelektranama na ugljen. Unatoč tome se smatra, da novac nije uzalud utrošen, jer su to investicije za budućnost. Radom ove elektrane poduzeće RWE stavilo si je u zadatak da iskuša u velikom stilu proizvodnju u fotovoltaičkim ćelijama i da pronađe putove kako takvu proizvodnju učiniti korisnom i ekonomičnom. Ono smatra da se moraju ostaviti otvorene mogućnosti razvoja tehnologije proizvodnje električne energije iz obnovljenih izvora kao i nuklearne energije.

*Energie*, god. 41 (1989), br. 8

Mrk.

## TRANSRAPIDNI VLAK U SR NJEMAČKOJ

U SR Njemačkoj zasada se predviđa izgradnja dviju brzih magnetskih linija i to Hamburg-Hannover i Essen-Bonn, gdje bi se razvijale brzine vlakova do 300 km na sat. Troškovi izgradnje prve linije iznosili bi 4,3 milijarde DEM, a druge 4,8 DEM. Smatra se da potpuno privatno financiranje ne bi bilo moguće, pa treba računati na državno sufinanciranje.

Državna uprava Druge Saksonije smatra da prednost treba dati pruzi Hamburg-Hannover, no stručnjaci misle da će visoka buka oštetiti vrijednost prirodnog parka Lüneburger Heide. Prihvatiti bi trebalo liniju Hannover-Berlin, gdje u svakom slučaju treba izgraditi novu vezu.

*ETZ*, god. 110 (1989) br. 13

Mrk.

## SOVJETSKI SAVEZ KUPUJE KOMPJUTORE U SR NJEMAČKOJ

Dan nakon službenog posjeta predsjednika Mihajla Gorbačova SR Njemačkoj potpisan je ugovor da tvrtka Siemens AG izveze u SSSR, u roku od 3 do 5 godina, najmanje 300.000 personalnih računala. Sovjetski ugovorni partner bilo je Ministarstvo za srednjoškolsku i stručnu izobrazbu i moskovska organizacija Orbita. Vrijednost posla procjenjuje se na oko 1,5 milijarde DEM.

Već u poslovnoj godini 1987/88. Siemens je izvezao u SSSR 40.000 personalnih kompjutora u vrijednosti od 170 milijuna DEM.

*ETZ*, god. 110 (1989), br. 13

Mrk.

## RAZMJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE U EEZ U 1988. GODINI

Potrošnja električne energije je u zemljama Evropske ekonomske zajednice u 1988. godini porasla za 2.9% u odnosu na prethodnu godinu. Najveći porast je ostvaren u manje razvijenim zemljama Grčkoj, Španjolskoj i Portugalu od 5.7 do 7.2%, a najmanji u najrazvijenijim SR Njemačkoj, Francuskoj i Velikoj Britaniji i niži je od prosjeka zajednice. Što se tiče međusobne razmjene, najmanji udio salda razmjene ima SR Njemačke oko 0.1% (osim Irske koja nije ni povezana s ostalim zemljama). Najveći uvoznici su Danska, gdje uvoz čini 17,8% ukupne potrošnje, zatim po količini tradicionalno najveći uvoznik Italija s udjelom od 14% i Velika Britanija gdje je udio uvoza 4.2%.

Zemlja	Brutopotrošnja		Saldo uvoza	
	1987.	1988.	1987.	1988.
—				
SR Njemačka	396.5	405.3	+3.0	+0.6
Belgija	57.9	59.8	-2.1	-2.1
Danska	29.9	30.3	+2.4	+5.4
Francuska	331.1	335.4	-29.7	-37.0
Grčka	28.5	30.1	+0.6	+0.2
Velika Britanija	294.1	301.3	+11.6	+12.8
Irska	12.2	12.5	0	0
Italija	241.0	242.2	+23.1	+31.2
Nizozemska	69.8	72.1	+3.6	6.0
Portugal	22.3	23.9	+3.0	+2.4
Španjolska	125.3	132.4	-1.5	-1.3

U tablici su svi iznosi u GWh, sa (+) je označen uvoz a sa (-) izvoz energije. Najveći izvoznik, kao što je poznato, jest Francuska. Kupci viškova francuske energije su Velika Britanija, Italija i Švicarska.

*Stromthemen*, 7/1989.

ŽC

## SMANJENJE POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U DOMAĆINSTVU U SR NJEMAČKOJ

Privatna upotreba električne energije sve je više u znaku štednje i racionalizacije. Dok je porast potrošnje u grupi domaćinstva u prošlom desetljeću iznosio 10% prosječno godišnje, od 1977. do 1987. godine pao je na samo 3%. U istom razdoblju je porast potrošnje po jednom domaćinstvu bio samo 1.5% (tablica 1).

U prošloj godini potrošnja domaćinstva smanjena je za 1%, a razlog za to nije samo toplija zima. Dok se povećava zastupljenost pojedinih električnih aparata, novi su uređaji mnogo ekonomičniji. Specifična potrošnja može se kod najvažnijih aparata znatno smanjiti — kod nekih i do 50%. Ujedno se poboljšava obaviještenost potrošača o ispravnom korištenju njihovih uređaja. Za to brinu centri za obuku koje organiziraju distribucije. Zbog svega toga SR Njemačka po potrošnji električne energije u domaćinstvu zauzima relativno nisko mjesto (tablica 2).

**Tablica 1. Prosječni godišnji porast potrošnje električne energije u domaćinstvu**

Period	Porast
—	%
1965 – 70.	12.7
1970 – 75.	9.3
1975 – 80.	4.9
1980 – 85.	2.6
1985 – 87.	1.6

**Tablica 2. Potrošnja električne energije prosječno u domaćinstvu u nekim razvijenim zemljama u 1986. godini**

Zemlja	Potrošnja
—	kWh
Švedska	9 340
SAD	9 038
Finska	5 483
Švicarska	4 490
Velika Britanija	4 143
Francuska	3 951
SR Njemačka	3 618
Japan	3 312
Izrael	2 904
Italija	2 067

Ukupna potrošnja električne energije u prošloj je godini ipak porasla za 1.7% na 400 GWh, prije svega kao posljedica rasta proizvodnje njemačke industrije. Udio električne energije u ukupnoj energiji predano industrijskim potrošačima stalno raste — u prošloj godini za 4%, dok specifična potrošnja ukupne energije opada. Od osnivanja SR Njemačke do danas smanjena je za više od 60% u odnosu na jedinicu bruto nacionalnog dohotka.

*Stromthemen*, 7/1989.

ŽC



## NOVE KNJIGE

### Erich Han WINDKRAFTANLAGEN

Izdavač: Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-London-Paris-Tokyo, 1988. 682 stranice, 505 slika, format 24 × 16,5 cm, tvrdo vezano, cijena 250 DEM.

Knjiga je u 18 opširnih poglavlja obuhvatila i vrlo sistematski prikazala tehnologiju modernih elektrana na pogon vjetrom, vjetroelektrana.

Autor počinje s povijesnim razvojem vjetrenjače i njihovom primjenom. Posebno se osvrće na prve konstrukcije vjetrenjače koja je služila za dobivanje električne energije i daje pregled njihovih osnovnih tipova. Zatim slijedi teorijski dio gdje su dane fizikalne osnove transformacije energije vjetra. Aerodinamici rotora i djelovanju vjetra na konstrukciju vjetrenjače posvećen je znatan dio teksta. Obradene su različite vrste rotora s obzirom na konstrukciju i materijal, kao i mehanički dijelovi rotora, ležajeva, prijenosni uređaji kao i uređaji strojarnice. Posebna je pažnja posvećena električnom sistemu vjetroelektrana. Izneseni su kriteriji za primjenu sinhronih odnosno asinhronih generatora, načini regulacije brzine i općenito električna oprema malih i velikih vjetrenjača. Nakon električne opreme obrađeno je vođenje pogona i problemi mehaničkih vibracija.

Stup odnosno toranj vjetrenjače obrađen je u posebnom poglavlju kao vrlo značajan konstruktivni dio.

Posebna je pažnja posvećena proizvodnji i predaji električne energije. Iznesene su pogonske karakteristike, stupanj iskoristivosti postrojenja, godišnja proizvodnja energije i glavni utjecajni faktori na ekonomičnosti pogona u različitim primjenama, kao i uklapanje u elektroenergetski sistem. U jednom od poglavlja autor se osvrće na utjecaj takvih elektrana na ekologiju. Na kraju knjige dan je pregled troškova po elementima vjetrenjače i ekonomičnost čitavog postrojenja.

Dodatak knjizi su fotografije izvedenih vjetroelektrana. Knjiga je vrlo korisna i zanimljiva i daje dobar pregled sveobuhvatne problematike elektrana na vjetar. Tko se zanima za takve elektrane općenito ili za neke detalje konstrukcije ili pogona, naći će u knjizi korisna objašnjenja.

B. M.

### J. S. T. Looms INSULATORS FOR HIGH VOLTAGES

Izdavač: Peter Peregrinus Ltd., London 1988.

Opseg: 276 stranica, 137 slika, 32 tablice, 279 referenci, indeksi pojmova i imena, format 32,5 × 15,5 cm, tvrdo uvez, cijena 48 £

Ova knjiga o izolatorima za visoke napone poznatog britanskog izdavača popunjava veliku prazninu na jednom od važnih područja visokonaponske tehnike. Pisana je iz pera jednog od najpoznatijih svjetskih eksperata na polju visokonaponskih izolatora, dugogodišnjeg rukovoditelja Izolatorske sekcije u Centralnom istraživačkom laboratoriju britanske elektroprivrede (CERL) u Leatherheadu pokraj Londona.

Knjiga predstavlja jedan suvremeni vodič za upoznavanje svih aspekata visokonaponskih izolatora koji se koriste u elektroenergetskim mrežama, elektrovuči i industriji. Ona pokriva širok spektar počevši od historijskog pregleda oblika, konstrukcija i materijala izolatora do suvremenog razvoja kojim se zadovoljavaju sve teži zahtjevi. Tako se daju fizikalni principi zagađenja, preskoka, te interferencije i šuma izolatora. Dani su opisi brojnih mjera za suzbijanje preskoka kod rada u zagađenoj atmosferi. Treba istaknuti opis metode slane magle koju je autor sa suradnicima razvio u CERL-u i sudjelovao u njoj internacionalnoj standardizaciji. Za projektiranje i korisnike dana su uputstva i primjeri za izbor izolatora za nadzemne vodove i postrojenja uz relevantne internacionalne standarde i brojne tabele sa karakteristikama materijala. Za studente i istraživače dani su sadašnji i vjerovatni budući trendovi istraživanja i razvoja na ovom polju.

Knjiga je pisana izvanrednim tečnim i jasnim stilom izbjegavajući konfuzne matematičke i tehničke kompleksnosti, ali ostajući uvijek na visokom stručnom nivou. Bilo bi veoma poželjno kada bi se knjiga pojavila u našem prijevodu (uz neka prilagođenja našim prilikama) i tako bila jezično i sa cijenom dostupna našim studentima, inženjerima i istraživačima.

A. S.

**VLATKO DABAC**  
(2. 3. 1902 – 22. 11. 1988)



Upravo je prošla godina dana od smrti inženjera Vlatka Dapca, skromnog čovjeka, neumornog radnika i stručnjaka za pitanja elektrotehničke i tehničke terminologije i vrsnog poznavaoca stranih jezika. Svestrano obrazovan, metodičan, uporan, nesebičan, požrtvovan i nekoristoljubiv, bio je predodređen da se prihvati posla oko terminoloških i lingvističkih nejasnoća koje su u poslijeratnom razdoblju otežvale veze sa svijetom.

Rođen je 2. 3. 1902. godine u Novoj Rači kod Bjelovara, u učiteljskoj obitelji. Maturirao je 1920. godine u Zagrebu gdje je iste godine počeo i studij. Na samom početku studija dobio je državnu stipendiju za studij na Kraljevskoj višoj tehničkoj školi slobodnog grada Danziga, gdje je i diplomirao 1926, elektrostrojarstvo, završivši ujedno seminar telefonije, tadašnje slabostrujno usmjerenje. Nakon studija radio je u centrali Siemens&Halske AG. u Berlin-Siemensstadtu, a nakon toga u tehničkom uredu S & H u Hamburgu odakle je 1929. otišao u Zagreb u filijalu Siemens. Do kraja 1931. radi kao projektant i montažni inženjer (Tt uređaji), a početkom 1932. postaje vođom grupe slabe struje, mjernih uređaja i toplinske kontrole. Tu ostaje do 1933, zatim odlazi u gradsku električnu centralu (GEC) grada Zagreba, a nakon toga radi u

Vodovodu grada Zagreba kao projektant gradskih vodovodnih mreža, a zatim mnogo godina kao uspješan tehnički direktor, zbog čega je bio odlikovan saveznim ordenom rada.

Iako vrlo zaposlen nalazi vremena i za rad na izradi elektrotehničkog njemačko-hrvatskog rječnika, kojega uz najsvestraniju pomoć Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu izdaje već 1952. godine. Baveći se sve više terminološkim pitanjima i proširujući rad izvan elektrostruke prelazi 1958. u Institut za elektroprivredu u Zagrebu, gdje su mu u tom smislu omogućeni povoljniji uvjeti. Uz rad na rukovođenju knjižnicom, dokumentacijom, te tehničkom redakcijom časopisa »Energija«, dalje proširuje mrežu suradnika i područje rječnika na cijelu tehniku. Dugogodišnji rad na terminološkim pitanjima rezultira 1969. velikim Tehničkim Njemačko-hrvatskosprskim i Hrvatskosrpsko-njemačkim rječnicima. Izdavač je bio Tehnička knjiga Zagreb, 1969.

Ni nakon izlaska tih rječnika ne napušta rad na tom području, već proširuje područje rada i izvan tehnike na čemu radi do kraja života. Ostavlja za sobom opsežan nepubliciran materijal, koji će, nadamo se, biti jednog dana iskorišten. Na terminološkim pitanjima surađuje s Hrvatskim mjeriteljskim društvom u Zagrebu, do kraja života, a bio je i aktivan kao tajnik u Savezu elektroinženjera i tehničara Hrvatske.

Završit ćemo sjećanje na inženjera Vlatka Dapca s osjećajem žaljenja i zahvalnosti. Mlađe generacije neće pamtit njegov lik, ali njegovo ime neće zaboraviti. Ono će zauvijek ostati među njima zajedno s njegovim rječnicima.

I. Šimunović