

UDK 621.31

ENJAAC 39 (1-6) 1-504

YU ISSN 0013-7448

# energija

ČASOPIS HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

Zagreb, prosinac 1990.

# SADRŽAJ »ENERGIJE« U 1990. GODINI

	str. br.		str. br.
<i>Babić S. — Tešnjak S. — Pavić I.:</i> Istraživanje prijelazne stabilnosti hidroelektrana u lancu . . .	275 4	<i>Pavišić V.:</i> Insolacija kao element procjene promjene onečišćenja zraka . . . . .	175 3
<i>Cvetković Z.:</i> Osvrt na Savjetovanje o razvoju elektroprivrede Jugoslavije od 1991. do 2000. godine . . . . .	303 4	<i>Pečvarac D.:</i> Određivanje faktora snage kategorije domaćinstvo u Jugoslaviji . . . . .	465 6
<i>Čavlina N.:</i> Novi aspekt u analizi posljedica loma cijevi napojne vode u nuklearnoj elektrani . .	31 1	<i>Perić A. — Plećaš I. — Kostadinović A.:</i> Ispitivanje određenih reoloških i fizičko-hemijskih osobina bitumensko-radioaktivnih otpadnih smeša, dobijenih šaržnim procesom imobilizacije RAO materijala srednjeg nivoa aktivnosti . . .	25 1
<i>Drezga I.:</i> Financijsko vrednovanje mjera za racionalno korištenje energije . . . . .	371 5	<i>Plećaš I. — Perić A. — Kostadinović A.:</i> Određivanje brzine procurivanja radionuklida na odlagalištu radioaktivnog otpada u realnim dinamičkim uslovima . . . . .	283 4
<i>Fuštar S.:</i> Razvoj heurističke metode za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama . . . . .	3 1	<i>Popović A.:</i> Iskustva u primeni metodologije STATIC za potrebe studijskih analiza statičke sigurnosti EES Jugoslavije . . . . .	259 4
<i>Jakl F.:</i> Konceptija razvoja i izgradnje 400 kV prijenosne mreže Austrije s problematikom zaštite okoline . . . . .	181 3	<i>Požar H.:</i> Razvoj proizvodnje električne energije u nuklearnim elektranama . . . . .	159 3
<i>Jakšić P.:</i> Primjer realizacije jednog ekspertnog sistema u rješavanju praktičnog problema — vođenja računala Instituta za elektroprivredu Zagreb . . . . .	115 2	<i>Puharić M.:</i> Zaštita modularnih trafostanica od atmosferskih prenapona . . . . .	193 3
<i>Jelavić V. — Tankosić Đ. — Škanata D.:</i> Preliminarna provjera sigurnosti odlagališta radioaktivnog otpada niske i srednje aktivnosti nuklearne elektrane Krško . . . . .	437 6	Rad Instituta za elektroprivredu u 1989. godini . .	309 4
<i>Jugovac M.:</i> Izolirani vodiči na sredjonaponskim vodovima napona 10 i 20 kV . . . . .	453 6	<i>Ravlić V. — Ferček B.:</i> Povezivanje trolnog, metalom oklopljenog sklopnog postrojenja izoliranog plinom SF <sub>6</sub> , tipa K8D.6, s ostalim elementima elektroenergetskog sistema . . . . .	109 2
<i>Kalan B.:</i> Trendovi u primjeni računala za nadzor procesa u nuklearnoj elektrani . . . . .	287 4	<i>Staničić L.:</i> Akumulativna i reproduktivna sposobnost elektroprivrede Hrvatske . . . . .	251 4
<i>Knapp V.:</i> Globalno zagrijavanje i razvoj energetike . . . . .	361 5	<i>Subašić D.:</i> Uloga i značaj nadoknade u lociranju kontraverznih objekata . . . . .	355 5
<i>Krajcar S.:</i> Interaktivno optimalno planiranje razdjelnih mreža — strukturiranje prstenaste mreže . . . . .	387 5	<i>Šimunić J.:</i> Prostor vjerojatnosti skupa procesnih informacija elektroenergetskog postrojenja . . . . .	269 4
<i>Lang-Kosić N. — Radeka I.:</i> Planiranje razvoja sredjonaponske mreže grada Zagreba pomoću računala . . . . .	459 6	<i>Šimunić J.:</i> Trodimenzionalni prikaz skupa procesnih informacija prijenosnog elektroenergetskog postrojenja . . . . .	75 2
<i>Mahmutćehajić R.:</i> Vakuumski prekidač . . . . .	199 3	<i>Štahan I.:</i> Ekološki pogledi na novi asortiman sklopnih aparatura visokog napona . . . . .	447 6
<i>Mahmutćehajić R. — Hajdin S.:</i> Fizika električnog luka u sklopnim aparatima . . . . .	297 4	<i>Tešnjak S. — Marušić A.:</i> Digitalni simulacijski model zaštite sinhronog generatora od asinhronog rada pri nestanku uzbune . . . . .	89 2
<i>Mahmutćehajić R. — Hajdin S.:</i> Sklopne pojave . .	475 6	<i>Tonković Z.:</i> Nove veze 110 kV između Hrvatske i Bosne i Hercegovine . . . . .	169 3
<i>Majstrovic M.:</i> Analiza slučajnih vrijednosti struje kratkog spoja u elektroenergetskom sistemu . . . . .	381 5	<i>Vujević D.:</i> Novi referentni etaloni za volt i om od 1. 1. 1990. . . . .	37 1
<i>Markovčić B.:</i> Tendencija razvoja istosmjernih visokonaponskih sistema . . . . .	393 5	<i>Vuković V.:</i> Problem generatora pare u PWR-sistemima . . . . .	89 2
<i>Mihalek E.:</i> Doprinos proračunu opterećenja u niskonaponskoj mreži . . . . .	19 1	<i>Vuković V.:</i> Zavisnost snage reaktora od protoka rijeke Save pri niskim vodostajima . . . . .	427 6
<i>Nikolovski S. — Mravak I.:</i> Tehnoekonomski pristup dimenzioniranju nadzemnih prenosnih vodova . . . . .	397 5	<i>Žutobradić S.:</i> Doprinos proračunu impulsnih impedancija složenih uzemljivača . . . . .	291 4
<i>Ožegović M.:</i> Projektiranje baznih i izvedenih relacija za osnovne analize mreže EES . . . . .	81 2	Vijesti iz elektroprivrede . . 1—6 41, 123, 213, 327, 403 i 486	
<i>Pašić Z. — Imamović F. — Pašić J.:</i> Aspekti razvoja distantne zaštite . . . . .	471 6	Savjetovanja i konferencije . . . . . 2, 3, 6, 126, 216 i 490	

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Godište 39 (1990)

Zagreb 1990

Br. 1

Zajednica elektroprivrednih  
organizacija Hrvatske

Institut za elektroprivredu, Zagreb

SIZ za znanstveni rad Hrvatske

## SADRŽAJ

<i>Fuštar S.</i> : Razvoj heurističke metode za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama (Originalni znanstveni rad) . . . . .	3
<i>Mihalek E.</i> : Doprinos proračunu opterećenja u niskonaponskoj mreži (Originalni znanstveni rad) . . . . .	19
<i>Perić A.</i> — <i>Plećaš I.</i> — <i>Kostadinović A.</i> : Ispitivanje određenih reoloških i fizičko-hemijskih osobina bitumensko-radioaktivnih otpadnih smeša, dobijenih šaržnim procesom imobilizacije RAO materijala srednjeg nivoa aktivnosti (Originalni znanstveni rad) . . . . .	25
<i>Čavlina N.</i> : Novi aspekt u analizi posljedica loma cijevi napojne vode u nuklearnoj elektrani (Originalni znanstveni rad) . . . . .	31
<i>Vujević D.</i> : Novi referentni etaloni za volt i om od 1. 1. 1990. (Pregledni rad) . . . . .	37
<b>Vijesti iz elektroprivrede</b> . . . . .	41
<b>Iz strane stručne literature</b> . . . . .	44
<b>Oglasi</b> . . . . .	47

## 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., »Elektroslovanija« Osijek — Dragutin Stanić, dipl. ecc., »Elektroprivreda Dalmacije« Split — mr Damir Subašić, dipl. ecc., Republički komitet za energetiku — Zdenka Jelić, prof., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Mladen Zeljko, dipl. inž., Institut za elektroprivredu, 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.

Redakcija završena 1989 — 12 — 18

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)

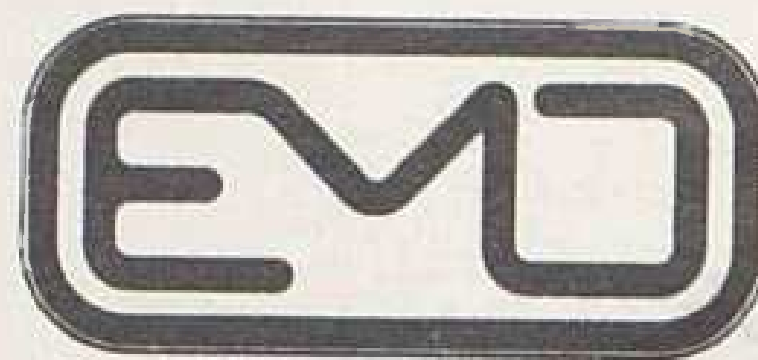
Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 180,00 dinara, a za poduzeća i ustanove 300,00 dinara (za studente 120,00).  
Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišeji — Print: TIZ »Zrinski«, Čakovec



**EMO OHRID**

Elektroindustrija i inženjering

**PROJEKTIRANJE**

**INŽENJERING**

**KONSALTING**

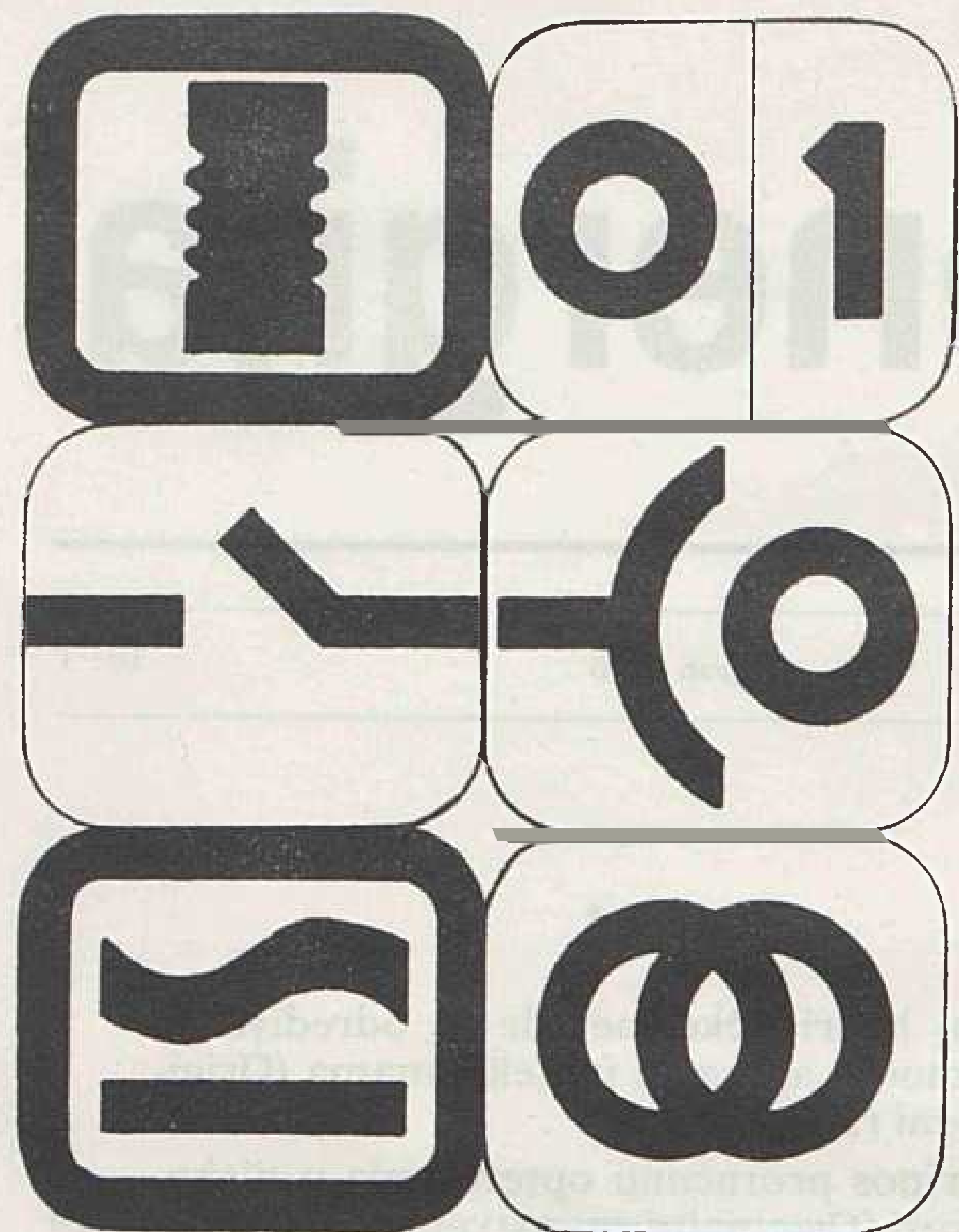


96000 OHRID, P. Fah 118  
JUGOSLAVIJA

Tel. (096) 34-944

Telex: 53829 YU EMOOH

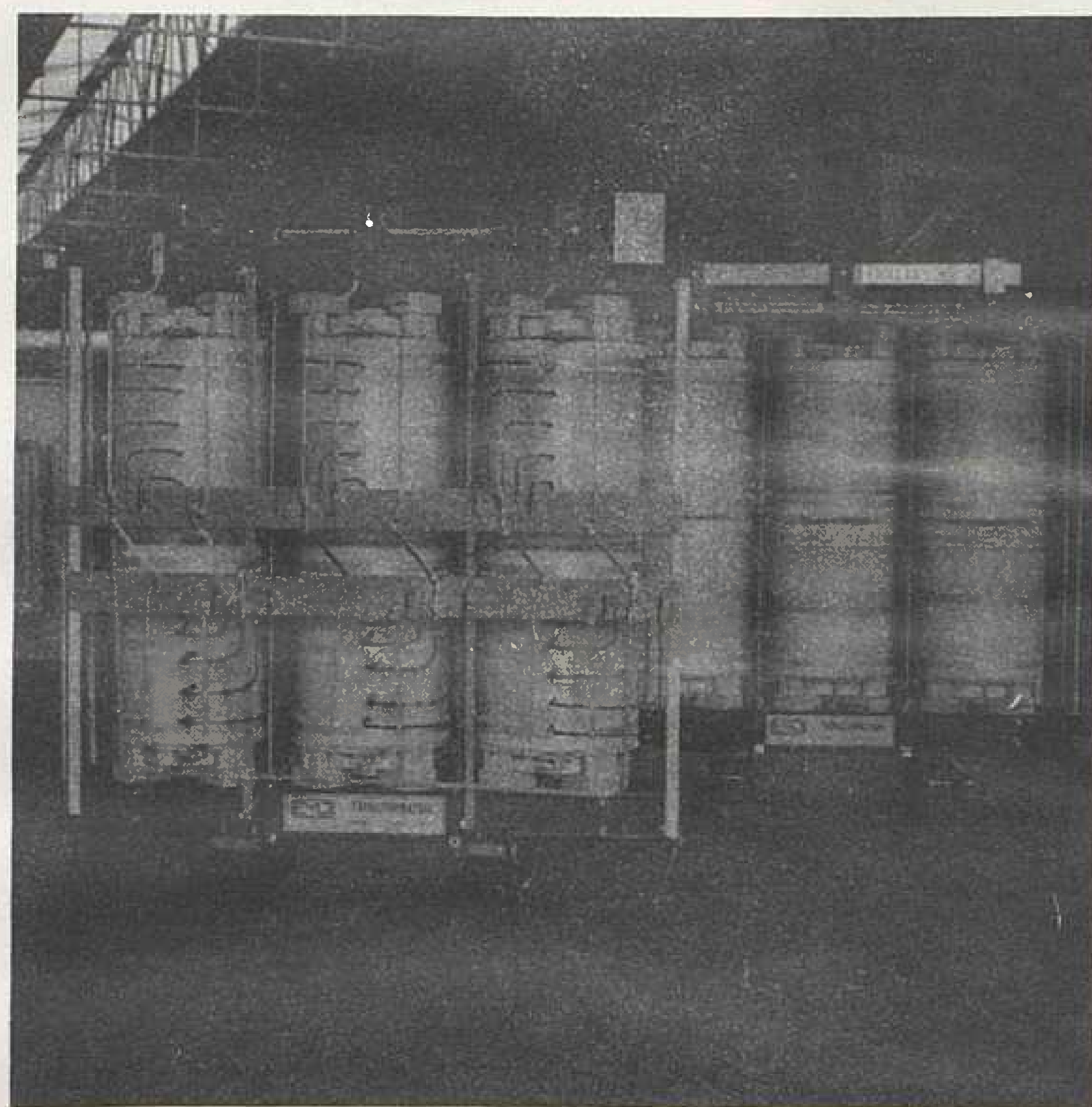
Telefax: 33690



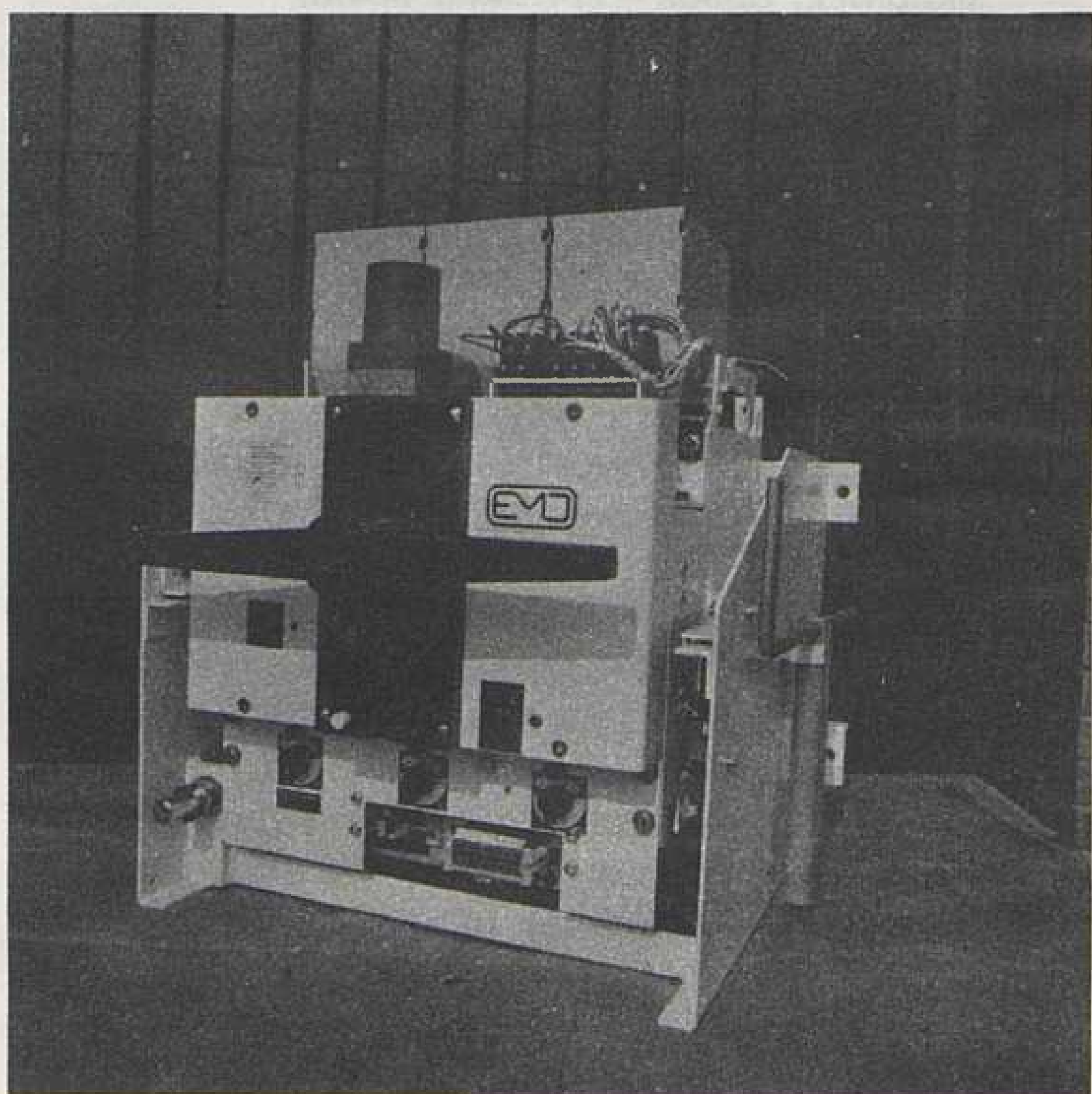
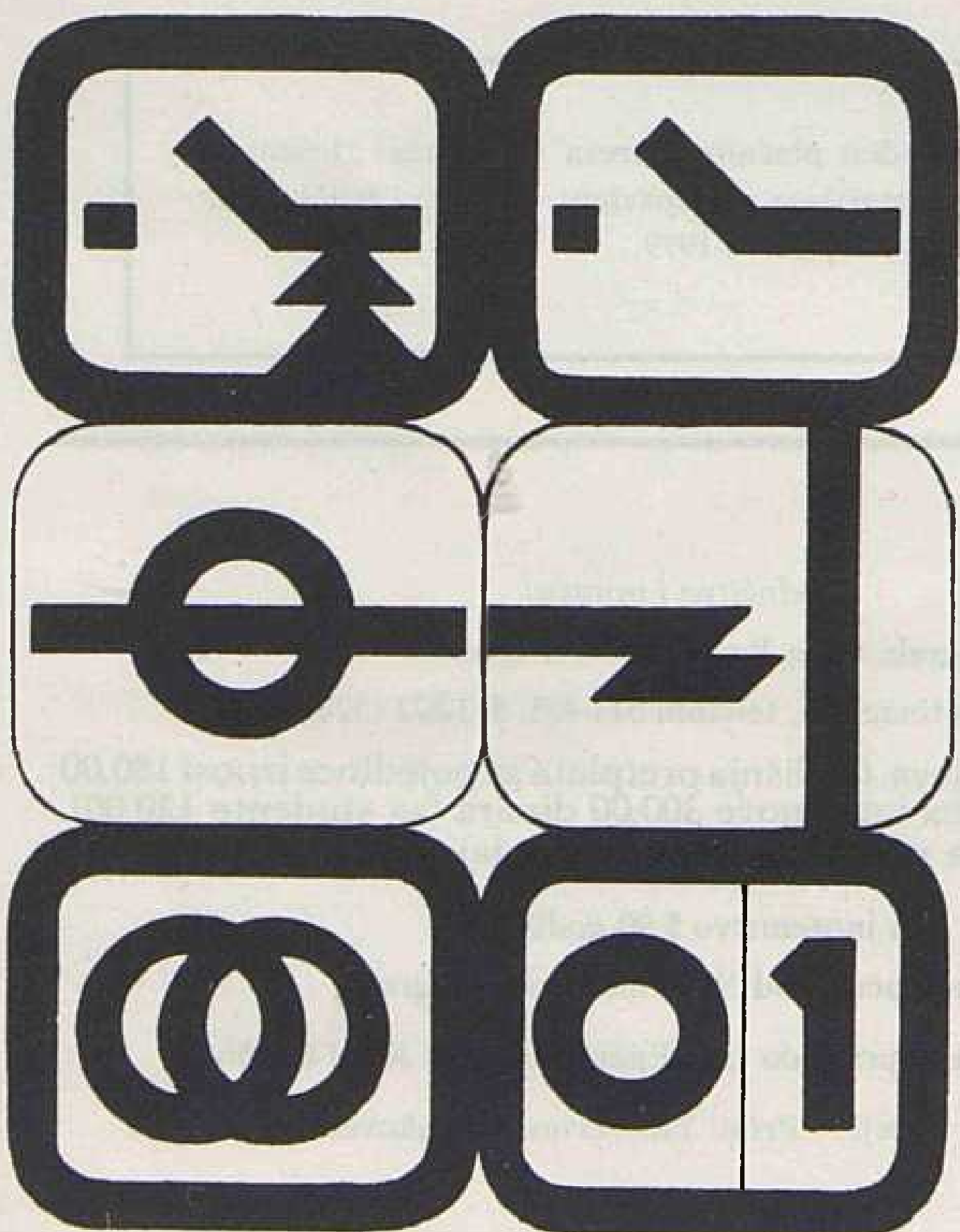
EMO OHRID projektira, proizvodi i montira elektroopremu i izvodi elektroenergetske i industrijske objekte po sistemu „ključ u ruku”.

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.

Pretstavljajne na ovaj način trebalo bi doprineti da se zajednički interesi sa dosadašnjim i budućim partnerima lakše identificiraju, u cilju uspješnije saradnje.



Suhi transformator, 630 kVA  
Termička klasa izolacije H



Niskonaponski prekidač, 2000 A

# RAZVOJ HEURISTIČKE METODE ZA ODREĐIVANJE RASPOREDA REMONTA AGREGATA U ELEKTRANAMA

Dr. Stipe Fuštar, Split

UDK 621.313.12.005

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Opisana je heuristička metoda za određivanje rasporeda remonata termo i hidro agregata u elektranama EES-a. Metoda može funkcionirati i kao linearno 0-1 programiranje i kao metoda organiziranog pretraživanja. Definirane su nepoznanice, ograničenja i funkcije cilja. Heuristička pravila za određivanje rasporeda remonata su eksplicitno prezentirana za niz kriterija.

**Ključne riječi:** agregat, elektroenergetski sustav, raspored remonata, minimum troškova.

## 1.0. UVOD

U godišnjim planovima rada EES-a veoma važno mjesto pripada postupku određivanja rasporeda remonta svih agregata. Remont agregata sam po sebi je veoma skupa, ali i neophodna rutina koja se za svaki agregat organizira jednom godišnje. Uobičajeno je da se u posljednjem tromjesečju svake godine određuje raspored remonta svih agregata EES-a za sljedeću kalendarsku godinu. Važnost određivanja rasporeda remonta agregata proizlazi iz činjenice da se remontom svakog agregata znatno utječe na sve energetske pokazatelje. Osnovni je cilj postupka određivanja rasporeda remonta održavati visok nivo pouzdanosti rada EES-a i minimizirati troškove.

Dosada je razvijeno niz postupaka za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama EES-a. Mnogi od njih su navedeni u literaturi [5]. Ovdje će se navesti i prokomentirati najkarakterističniji pristupi. Teorijski je problem određivanja rasporeda remonta moguće riješiti dinamičkim programiranjem (DP). Međutim, velik broj agregata kombiniran s mogućim počecima remonta dovodi do toga da je potrebno ispitati velik broj kombinacija, što praktično onemogućava primjenu DP-a. U radu [8] problem velikog broja kombinacija rješava se tzv. sukcesivnim aproksimacijama. Osnovna ideja postupka je da se agregati podijele u niz grupa, te se raspored remonta svake grupe određuje DP-em, poštivajući pritom raspored remonta agregata prethodno analiziranih grupa. Takvim postupkom problem velikog broja kombinacija ne rješava se, već samo djelomično ublažava. Yamayee i Sindeblad [9] su dalje razvili ovu metodu na način da su za računanje nekih energetske-ekonomskih pokazatelja primijenili metodu kumulata. Može se kazati da su metode [8, 9] neefikasne u smislu potrebnog vremena za računanje na računskom stroju a također ne uzimaju u obzir i niz

praktičnih ograničenja. Dopazzo i Merrill [4] su problem planiranja remonta riješili linearnim 0-1 programiranjem. Proračun se izvodi veoma brzo, ali u razmatranje nisu uzeti u obzir energetske-ekonomski pokazatelji kao što su vjerojatnost neisporuke snage (LOLP), troškovi goriva itd. Billinton i El-Sheikhi su predložili heuristički algoritam [6] koji je predviđen da ujednačava rizik odnosno sigurnost rada EES-a. Metoda ne uvažava brojna praktična ograničenja i ne garantira pronalaženje rješenja koje zadovoljava ograničenja. U radu [7] metoda je proširena za analizu sustava u interkonekciji.

U ovom radu predlaže se jedan novi algoritam koji objedinjuje mogućnosti heurističke metode, linearnog 0-1 programiranja i metode sistematskog pretraživanja zasnovane na sukcesivnim aproksimacijama. Predložena su i eksplicitno prezentirana nova heuristička pravila kojima se usmjerava remont svakog agregata u periode u kojima je i doprinos promatranog agregata najmanji u smislu sigurnosti rada i troškova EES-a. Definirano je specijalno heurističko pravilo za hidroelektrane. Osim toga metoda uzima u obzir interkonekciju sa susjednim sustavima. Kao kriterij optimalnosti razvijen je niz funkcija cilja kao što su ujednačavanje pokazatelja pouzdanosti rada EES-a (rezerva, LOLP, EUE), minimiziranje troškova goriva i troškova remonta. Za proračun troškova goriva i pokazatelja pouzdanosti korištena je metoda kumulata [11, 12]. Metoda kumulata je proširena i adaptirana na način da uzima u obzir proizvodnju u hidroelektranama EES-a, te planiranu i neplaniranu razmjenu sa sustavima u interkonekciji. Brojna praktična ograničenja koja se mogu izraziti u linearnoj formi uzimaju se u obzir. Algoritam je testiran na IEEE RTS sustavu [10] i na primjeru realnog EES-a SR Hrvatske. Rezultati dobiveni predloženim algoritmom za primjer IEEE RTS-a uspoređeni su s rezultatima dobivenim heurističkom metodom [6] za isti primjer.

## 2.0. OPIS PROBLEMA

Postupak određivanja rasporeda remonta agregata u elektranama EES-a može se formulirati kao optimizacijski zadatak, koji je riješen kada su poznati periodi (tjedni) u kojima se odvija remont svake elektrane u sustavu. Problem je potrebno formulirati na način koji, kao prvo, omogućava računanje svih neophodnih energetske-ekonomskih pokazatelja, a zatim i da zadovoljava zahtjeve u pogledu brzine rješavanja i zauzeća memorije elektroničkog računala. Čini se najjednostavnije, s obzirom na diskretnu prirodu problema, formulirati problem određivanja rasporeda remonta agregata kao tzv. 0-1 programiranje. Tome treba dodati činjenicu da takva formulacija ne postavlja praktično nikakve zahtjeve na funkciju cilja, te se njezina vrijednost može izračunati bilo kojim prikladnim postupkom. Tako se npr. za računanje troškova goriva kao funkcije cilja može upotrijebiti metoda kumulana.

Zadatak se 0-1 programiranja može općenito formulirati na način:

Nadi  $m$ -vektor  $x$  koji minimizira ili maksimizira funkciju cilja:

$$F = f(x) \quad (2.1)$$

uz ograničenja

$$g(x) \leq b \quad (2.2)$$

uz

$$x_k = 0 \text{ or } 1; k = 1, \dots, M \quad (2.3)$$

gdje su

- $x$  — vektor nepoznanica
- $g(x)$  — ograničenja
- $b$  — vektor ograničenja
- $M$  — ukupni broj nepoznanica.

Svaki vektor  $x$  koji zadovoljava (2.3) predstavlja moguće rješenje. Ono moguće rješenje koje zadovoljava (2.2) naziva se dozvoljeno rješenje. Optimalno je ono dozvoljeno rješenje za koje se dobije minimalna ili maksimalna vrijednost funkcije cilja (2.1).

### 2.1. Nepoznanica

Budući da je trajanje remonta svakog agregata poznata veličina, na temelju poznavanja perioda u kojem počinje remont nekog agregata može se lako zaključiti u kojim periodima će promatrani agregat biti izvan pogona zbog redovnog remonta. Proizlazi da je stvarna nepoznanica pri određivanju rasporeda remonta agregata u EES-u, određivanje početka njihova remonta. Zbog toga se nepoznanice kod problema rasporeda remonta definiraju kao periodi u kojima remont svakog pojedinog agregata može početi. Svaki  $x_k$  ( $k = 1, \dots, M$ ) označava početak remonta određenog agregata u određenom periodu, pri čemu  $x_k$  može poprimiti isključivo vrijednosti 0 ili 1. Nepoznanice se pridružuju svakom agregatu po listi agregata. Broj nepoznanica pridružen svakom agregatu može biti različit i proporcionalan je broju vremenskih perioda u kojima je dozvoljen početak remonta. Ukupni broj nepoznanica je jednak sumi nepoznani-

ca pridruženih svakom agregatu. potrebno je također naglasiti da od svih nepoznanica pridruženih nekom agregatu samo jedna može imati vrijednost 1. Drugim riječima, remont nekog agregat može početi samo jednom u promatranom intervalu.

Za ilustraciju neka posluži mali primjer od dva agregata. Neka agregat 1 može početi remont od perioda 2 do perioda 4, a za agregat 2 neka su dozvoljeni periodi za početak remonta periodi 3 i 4. Broj nepoznanica pridruženih agregatu 1 je 3 ( $x_1, x_2$  i  $x_3$ ), dok se agregatu 2 pridružuju 2 nepoznanice ( $x_4$  i  $x_5$ ). Pritom  $x_1 = 1$ , i  $x_2 = x_3 = 0$  odnosno  $x_4 = 0$  i  $x_5 = 1$  znači da remont agregata 1 počinje u periodu 2 odnosno agregata 2 u periodu 4. Uz pretpostavku da je trajanje remonta za oba agregata dvije vremenske jedinice proizlazi da će agregat 1 biti neraspoloživ zbog remonta u periodima 2 i 3, odnosno agregat 2 u periodima 3 i 4.

### 2.2. Ograničenja

Zahtjevi eksploatacije i prilike u elektroenergetskom sustavu, a i šire, mogu se uzeti u obzir kao ograničenja u optimizacijskom zadatku. Na temelju navedene definicije nepoznanica kao perioda u kojima počinje remont nekog agregata može se formirati niz ograničenja.

#### a) Ograničenja snage dozvoljene za remont

Ovo ograničenje definira gornju granicu snage dozvoljene za remont u svakom periodu, te onemogućuje stavljanje u remont agregata ukupne snage veće od dozvoljene. Jedno ograničenje formira se za svaki period te ih ukupno ima koliko i perioda, tj. 52 ako je tjedan osnovna vremenska jedinica, odnosno godina dana interval koji se promatra (planira).

#### b) Ograničenja koja onemogućuju istovremeni remont dvaju ili više agregata

Praksa je pokazala da su pri planiranju rasporeda remonta moguće situacije u kojima je potrebno onemogućiti istovremeni remont dvaju ili više agregata. Takve su situacije npr. kada je zbog nedostatka kadra ili opreme (npr. dizalice) ili uvoznih dijelova ili nedostatak kompletnih ekipa itd. nemoguće istovremeno obavljati remont dvaju ili više agregata na određenom području. Nadalje, radi sigurnosti opskrbe potrošača ili zbog ekonomskih razloga često se nastoje izbjeći situacije u kojima su veliki agregati istovremeno u remontu. Ograničenja ovog tipa ima onoliko koliko i perioda u kojima je moguće istovremeno odvijanje remonta dvaju ili više agregata.

#### c) Ograničenja koja uspostavljaju određeni raspored remonta dvaju ili više agregata

Ovaj tip ograničenja može se koristiti ako postoji potreba za sukcesivnim remontom dvaju ili više agregata. Takve su npr. situacije kada se nastoje jedan za drugim ostvariti određene uštede jer radove obavlja praktično ista ekipa. Ograničenja ovog tipa ima ono-

liko koliko ima i perioda u kojima je moguć početak remonta bilo kojeg od agregata za koje želimo da se remont obavlja uzastopno, tj. kada se završi remont jednog agregata, počinje remont drugog agregata itd.

d) *Ograničenja koja onemogućavaju da ukupni broj agregata istovremeno u remontu bude veći od zadanog*

Ograničenja ovog tipa sprečavaju da se u remontu u određenom periodu nađe više agregata od određenog dozvoljenog broja. To je ograničenje u vezi s ukupnim brojem raspoloživih ekipa za obavljanje remonta. Ograničenja ovog tipa ima koliko i perioda tj. 52, ako se radi o godišnjem planiranju remonta i ako je tjedan izabran kao osnovni vremenski period.

Već je pokazano [3, 4] da se ograničenja a, b, c za navedenu definiciju nepoznanica mogu formulirati u linearnom obliku (2.4). Na sličan način se i ograničenja d mogu formulirati u linearnom obliku. Slijedi:

$$Ax \leq b \quad (2.4)$$

gdje su

- $A$  — matrica ograničenja
- $b$  — vektor ograničenja

Linearni oblik ograničenja predstavlja bitno pojednostavnjenje jer se time znatno olakšava postupak pretraživanja mogućih rješenja i pretraživanje se brzo usmjerava na analizu samo dozvoljenih rješenja. Postupak formiranja ograničenja detaljno je opisan u literaturi [3, 4] te se ovdje ispušta.

### 2.3. Funkcija cilja

Za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama EES-a u ovom se radu koristi nekoliko funkcija cilja:

- maksimiziranje pouzdanosti rada EES-a (5 kriterija)
- minimiziranje troškova goriva (1 kriterij)
- minimiziranje troškova remonta (1 kriterij).

Maksimiziranje pouzdanosti rada EES-a, odnosno sigurnosti opskrbe potrošača, postiže se ujednačavanjem pokazatelja pouzdanosti rada EES-a. Pokazatelji pouzdanosti rada EES-a pritom su: netorezerva, vjerojatnost neisporuke snage (LOLP) i neisporučena energija (EUE). Za proračun LOLP-a i EUE-a koristi se metoda kumulanaata.

Funkcija cilja za minimiziranje troškova uzima u obzir, osim troškova goriva svakog agregata, i penale za neisporučenu energiju. Na taj način se u proračun uključuju i štete koje su posljedica situacije kada potrošači ostaju bez potrebe električne energije.

Minimiziranje troškova remonta zasniva se na pretpostavci da svaki agregat treba da ide u remont jednom godišnje. Troškovi remonta dijele se na dva dijela, konstantni i varijabilni dio.

### 3.0. OSNOVE HEURISTIČKOG ALGORITMA

Praktično najveći problem na koji se nailazi kod računanja rasporeda remonta agregata u EES-u jest velik broj neophodnih proračuna nelinearne funkcije cilja, tako da su određena pojednostavnjenja nužna. Npr., za proračun remonta od 30 agregata, s mogućim počecima remonta u 12 perioda, broj potrebnih računanja nelinearne funkcije cilja je  $12^{30}$  odnosno  $2,37 \cdot 10^{32}$ , što je na postojećim računalima neizvedivo. Ako se 30 agregata podijeli u 5 grupa po 6 agregata, potrebni broj računanja funkcije cilja je  $5 \cdot 12^6$ , tj.  $1,49 \cdot 10^7$ , što je znatno manji broj, ali još uvijek praktično neprihvatljiv. Taj je problem prisutan kod sljedećih funkcija cilja:

- maksimiziranja pouzdanosti rada EES-a
- minimiziranja troškova goriva.

Kao što se vidi, problem velikog broja neophodnih proračuna nije prisutan jedino kod funkcije cilja koja minimizira troškove remonta, i to zbog njezina linearnog oblika. Navedene funkcije cilja nije moguće aproksimirati linearnom funkcijom s dovoljno točnosti, te primjena linearnog 0-1 programiranja nije moguća.

Navedene poteškoće u rješavanju optimizacijskog zadatka određivanja rasporeda remonta agregata u EES-u mogu se praktično izbjeći jedino primjenom heurističkih metoda. Heurističke metode i pravila nastala su kao rezultat stanovitog iskustva u rješavanju pojedinog problema, fizikalnom poznavanju i razumijevanju problema. Vrlo često se heurističke metode temelje isključivo na osjećaju stručnjaka koji rješava problem, te im se ponekad zamjera matematička neegzaktost. Najčešću zamjerku kod heurističkog optimiranja predstavlja činjenica da se ne može matematički garantirati optimum. Kod problema probalističke prirode, kao što je planiranje rasporeda remonta, zbog niza aproksimiranih parametara — kao što su predviđanje potrošnje, hidrološka neizvjesnost, vjerojatnost ispada agregata itd. — taj problem nije toliko izražen.

Da bi se omogućilo pronalaženje najboljeg mogućeg početka remonta svakog agregata u EES-u, predlaže se niz heuristika koje će se opisati i eksplicitno definirati za svaki kriterij.

#### 3.1. Maksimiziranje pouzdanosti rada EES-a

Maksimiziranje pouzdanosti rada dobiva se odgovarajućim optimiranjem pokazatelja pouzdanosti rada EES-a kao što su rezerva, LOLP i EUE. Uočeno je da se optimiranje navedenih pokazatelja postiže ujednačavanjem njihova nivoa u intervalu promatranja (obično godina dana). Osnova je heurističke metode za određivanje rasporeda remonta da se remont planira agregat po agregat te da se za svaki agregat posebno odredi najbolje vrijeme za remont, odnosno da se razriješi konflikt između više mogućih početka remonta. Pritom se u svakom koraku za svaki agregat definira optimalan početak remonta za određeni kriterij. Svaki agregat u postupku razmatranja mora uvažavati rješenja za sve prethodno razmatra-

ne agregate. Jednostavno rečeno, problem određivanja rasporeda remonta agregata u elektranama EES-a transformiran je u niz problema u kojima se određuje remont samo jednog agregata.

Redoslijed razmatranja najpovoljnije je formirati po opadajućim snagama agregata, jer je i njihov utjecaj na osnovne parametre EES-a kao što su rezerva, LOLP, EUE, proporcionalan sa snagom agregata. Na taj način postiže se monotono približavanje optimalnom rješenju. Slikovito se osnovna ideja heurističkog algoritma može prikazati na primjeru »zatrpavanja velike rupe u cesti«, gdje se na raspolaganju ima isključivo kamenje različite veličine. Zatrpavanje treba započeti s najvećim kamenjima (agregati najveće snage), da bi se završilo s najmanjim kamenjima (agregati najmanje snage). Navedena strategija omogućava najbolje odnosno najfinije poravnavanje ceste. Slično se događa i u heurističkom algoritmu za određivanje rasporeda remonta gdje se »slaganje« agregata odvija u prostoru ili rezerve ili LOLP-a ili EUE-a. Time se postiže praktično najfinije ujednačavanje promatranog parametra EES-a, tj. rezerve, LOLP-a, ili EUE-a u čitavom intervalu planiranja, najčešće 52 tjedna.

Za optimiranje pouzdanosti rada EES-a formalno se koristi funkcija cilja u linearnom obliku

$$F = c^t x \quad (3.1)$$

Pritome vektor koeficijenta  $c$  ovisi o odabranom kriteriju i određuje se posebno za svaki kriterij. Budući da je stvarna funkcija cilja za optimiranje pouzdanosti rada EES-a nelinearna, koeficijenti funkcije cilja  $C_k$  redovito se mijenjaju u svakom koraku.

### 3.1.1. Kriterij ujednačavanja rezerve: heurističko pravilo 1

Osnovni je cilj ovog kriterija da odredi raspored remonta agregata tako da se postigne maksimalno ujednačavanje rezerve u intervalu koji se promatra. Na taj način znatno se pridonosi pouzdanosti rada EES-a i sigurnosti opskrbe potrošača električnom energijom. Za svaki agregat potrebno je odrediti vrijeme za remont u periodima s najvećom rezervom. Kako trajanje remonta obično ne traje jednu vremensku jedinicu, najbolje vrijeme za početak remonta definira se kao najveća suma rezervi u onoliko uzastopnih perioda koliko je trajanje remonta promatranog agregata. Na taj način određuje se najveća »udolina u prostoru snage« za »smještaj« agregata. Potrebno je, dakle, izračunati za svaki mogući (dovoljni) početak remonta agregata  $j$ , sumu rezervi kako slijedi:

$$\text{suma rezervi } k = \sum_i^{i+d_j-1} R_{ij} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} i &= p_j, \dots, q_j \\ k &= f_j, \dots, l_j \end{aligned}$$

gdje su

- $R_{ij}$  — rezerva u periodu  $i$  mjerodavna za određivanje remonta agregata  $j$
- $p_j$  — najraniji mogući period za početak remonta agregata  $j$

- $q_j$  — najkasniji mogući period za početak remonta agregata  $j$
- $f_j$  — prva u nizu nepoznanica pridruženih agregatu  $j$
- $l_j$  — posljednja u nizu nepoznanica pridruženih agregata  $j$
- $d_j$  — trajanje remonta agregata  $j$  izraženo u cjelobrojnim vrijednostima osnovne vremenske jedinice
- $j$  — indeks agregata
- $i$  — indeks perioda
- $k$  — indeks nepoznanice.

Pritome je rezerva  $R_{ij}$  definirana kako slijedi:

$$R_{ij} = S - PM_i - \sum_{j=1}^N P_j y_{ij} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} i &= 1, \dots, T \\ j &= 1, \dots, N \end{aligned}$$

gdje su

- $S$  — instalirana snaga EES-a
- $PM_i$  — vršno opterećenje EES-a u periodu  $i$
- $P_j$  — snaga agregata  $j$
- $N$  — ukupni broj agregata
- $T$  — ukupni broj perioda
- $y_{ij} = 0$  — agregat  $j$  nije u remontu u periodu  $i$
- $y_{ij} = 1$  — agregat  $j$  je u remontu u periodu  $i$

pri čemu je

$$y = f(x) \quad (3.4)$$

Nakon određivanja perioda za remont svakog agregata u nizu, očigledno je, u skladu s jednadžbom (3.3), potrebno odrediti trenutni nivo rezerve u svim periodima koji se promatraju. Pretpostavimo da je za  $(J - 1)$  agregata već određen plan remonta. Nivo rezerve mjerodavan za određivanje vremena za remont agregata  $j$  je:

$$R_{i,j} = R_{i,j-1} - P_{j-1} \quad (3.5)$$

$$i = j_{j-1}, \dots, l_{j-1}, \dots, l_{j-1} + d_{j-1} - 1$$

odnosno za sve ostale periode

$$R_{i,j} = R_{i,j-1} \quad (3.6)$$

gdje je

- $l_{j-1}$  — period u kojem počima remont agregata  $(j - 1)$ .

Lako se uočava da se za računanje trenutnog nivoa rezerve u periodima gdje je agregat  $(j - 1)$  u remontu primjenjuje jednadžba (3.5), a za ostale periode jednadžba (3.6). Dakle, trenutni nivo rezerve potrebno je korigirati nakon razmatranja svakog agregata u nizu.

Odgovarajući koeficijenti  $c_k$  funkcije cilja za kriterij kojim se ujednačava nivo rezerve jesu

$$c_k = \text{suma rezervi } k \quad (3.7)$$

$$k = f_j, \dots, l_j$$

Osim određivanja trenutnog nivoa rezerve potrebno je u toku postupka također odrediti i pripadajuće koeficijente  $c_k$ .



Heurističko pravilo 1: ujednačavanje rezerve

AKO je nepoznanici  $x_k$ ,  $f_j \leq k \leq l_j$  pridružen najveći koeficijent funkcije cilja  $c_k$  u skladu sa jednadžbom (3.7),

TADA postavi  $x_k = 1$ , a vrijednost svih ostalih nepoznanica pridruženih agregatu  $j$  postavi na nulu.

Može se uočiti da heurističko pravilo 1 omogućava pronalaženje perioda za početak remonta s najvećom sumom rezervi u  $d_j$  uzastopnih perioda. Na taj način definira se najpovoljniji plan remonta pojedinog agregata u intervalu promatranja.

Za ilustraciju neka posluži primjer: Neka je trajanje remonta agregata od 100 MW, za koji je potrebno odrediti remont, 2 vremenske jedinice, uz dozvoljeni početak remonta u periodima 1, 2 i 3. Trenutni vektor rezerve neka je

$$R^t = (100 \ 120 \ 160 \ 80).$$

Vektor koeficijenta funkcije cilja tada je:

$$c^t = (220 \ 280 \ 240).$$

Budući da je najveći koeficijent funkcije cilja  $c_2$ , na temelju heurističkog pravila 1, optimalni početak remonta promatranog agregata je u periodu 2. Vektor rezerve mjerodavan za određivanje početka remonta sljedećeg agregata u nizu, primjenom (3.5) i (3.6) je:

$$R^t = (100 \ 20 \ 60 \ 80).$$

### 3.1.2. Kriterij ujednačavanja LOLP-a: heurističko pravilo 2

Kriterij ujednačavanja LOLP-a u intervalu promatranja ima kao cilj da minimizira sveukupni LOLP, koji se definira kao suma LOLP-a, svih pojedinih perioda. Na taj način maksimalno se povećava sigurnost opskrbe potrošača, odnosno minimizira vjerojatnost neisporuke snage, što je jedan od prioritarnih zadataka pri planiranju pogona EES-a. Kao što je prethodno kazano, postupak se odvija od agregata do agregata. Heurističko pravilo za ujednačavanje LOLP-a funkcionira tako da se za svaki agregat  $j$  definira onaj period za početak remonta za koji se dobije najmanja suma LOLP-a u  $d_j$  uzastopnih perioda. Pripadni koeficijenti funkcije cilja jesu:

$$c_k = \sum_i^{i+d_j+1} \text{LOLP}_{ij} \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned} i &= p_j, \dots, q_j \\ k &= f_j, \dots, l_j \end{aligned}$$

gdje su

$\text{LOLP}_{ij}$  — vjerojatnost neisporuke snage u periodu  $i$  prije razmatranja agregata  $j$ .

Budući da se postupak odvija agregat po agregat, nakon razmatranja svakog agregata, trenutni LOLP je potrebno u svakom koraku ponovno izračunati za periode u kojima je za promatrani agregat određeno da bude u remontu. U svim ostalim periodima zadržava se vrijednost LOLP-a iz prethodnog koraka. Koeficijenti funkcije cilja mjerodavni za određivanje remonta sljedećeg agregata u nizu određuju se u četiri koraka, primjenom metode kumulanata, kako slijedi:

1. Oduzmi odgovarajuće kumulantne agregata  $j$  od kumulanata distribucije vjerojatnosti raspoložive

snage EES-a u svim periodima gdje je agregat  $j$  u remontu, tj. za periode  $i$  iz intervala  $l_j \leq l_j + d_j - 1$

2. Izračunaj LOLP u svim navedenim periodima metodom kumulanata.

3. U svim ostalim periodima zadržava se vrijednost LOLP-a iz prethodnog koraka, tj.

$$\text{LOLP}_{i,j+1} = \text{LOLP}_{i,j} \quad (3.9)$$

4. Izračunaj odgovarajuće koeficijente funkcije cilja  $c_k$  pomoću jednadžbe (3.8), pri čemu je  $j = j + 1$ .

Na taj su način određeni koeficijenti  $c_k$ , na temelju kojih će se primjenom heurističkog pravila 2 odrediti period za početak remonta sljedećeg agregata u nizu.

Heurističko pravilo 2: ujednačavanje LOLP-a

AKO je nepoznanici  $x_k$ ,  $f_j \leq k \leq l_j$  pridružen najmanji koeficijent cilja  $c_k$  u skladu sa jednadžbom (3.8). TADA postavi  $x_k = 1$ , a vrijednost svih ostalih nepoznanica pridruženih agregatu  $j$  postavi na nulu.

### 3.1.3. Kriterij ujednačavanja EUE-a

Zadatak je kriterija ujednačavanja EUE-a da u intervalu promatranja minimizira sveukupnu neisporučenu energiju EUE, odnosno sumu EUE-a svih pojedinih perioda. Time se povećava sigurnost opskrbe potrošača, odnosno smanjuje vjerojatnost eventualnih redukcija uz odgovarajuće uštede zbog izbjegavanja dodatnih troškova koji su posljedica neisporučene energije (penali zbog neisporučene energije, štete u privredi itd.). Osnovna je heuristička ideja da se remont svakog agregata usmjerava u one periode gdje je najmanja neisporučena energija EUE.

Za ujednačavanje EUE-a predlažu se dvije varijante kriterija.

#### 3.1.3.1. Varijanta 1: heurističko pravilo 3

Heurističko pravilo za ujednačavanje EUE-a potrebno je definirati na način da se za svaki agregat  $j$ , u promatranom nizu agregata, odredi onaj period za početak remonta za koji se dobije najmanja suma EUE-a u  $d_j$  uzastopnih perioda. Tako se postiže ujednačavanje odnosno minimiziranje EUE-a u intervalu promatranja, što je i cilj ovog kriterija. Odgovarajući koeficijenti funkcije cilja, mjerodavni za određivanje početka remonta agregata  $j$ , jesu:

$$c_k = \sum_i^{i+d_j+1} \text{EUE}_{ij} \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} i &= p_j, \dots, q_j \\ k &= f_j, \dots, l_j \end{aligned}$$

gdje su

$\text{EUE}_{ij}$  — neisporučena energija u periodu  $i$  prije razmatranja agregata  $j$ .

Slično kao i kod prethodnog kriterija ujednačavanja LOLP-a, nakon određivanja početka remonta svakog agregata, potrebno je trenutni EUE ponovno izračunati, i to za periode u kojima je promatrani agregat u remontu. Za ostale periode zadržava se vrijednost EUE-a iz prethodnog koraka. Koeficijenti funkcije ci-

lja mjerodavni za određivanje remonta sljedećeg agregata u nizu određuju se u pet koraka primjenom metode kumulanata, kako slijedi:

1. Oduzmi odgovarajuće kumulante agregata  $j$  od kumulanata ekvivalentne krivulje trajanja opterećenja (ELDC) u svim periodima gdje je agregat  $j$  u remontu, tj. za periode  $i$  iz intervala  $l_j \leq i \leq l_j + d_j - 1$ .
2. Za sve periode iz intervala  $l_j \leq i \leq l_j + d_j - 1$  odredi ukupno raspoloživu snagu EES-a, odnosno sumu snaga svih agregata sposobnih za pogon, tj. agregata koji nisu u remontu u promatranom periodu. Ukupno raspoloživa snaga može se odrediti pomoću sljedeće jednadžbe:

$$RS_{ij} = S - \sum_{j=1}^N P_j y_{ij} \quad (3.11)$$

$$i = l_j \dots l_j + d_j - 1$$

$$j = 1, \dots, N$$

gdje su

$RS_{ij}$  — ukupno raspoloživa snaga EES-a u periodu  $i$ .

Budući da se postupak određivanja rasporeda remonta odvija od agregata do agregata, ukupno raspoloživu snagu  $RS_{ij}$  je zgodnije određivati u svakom koraku na način da se oduzme snaga promatranog agregata  $P_j$ , za koji je upravo određen početak remonta, od raspoložive snage EES-a na određenom nivou razmatranja. Slijedi:

$$RS_{ij} = RS_{i,j-1} - P_j \quad (3.12)$$

$$i = l_j \dots l_j + d_j - 1$$

pri čemu za  $j = 1$  važi:

$$RS_{i0} = S \quad (3.13)$$

3. Izračunaj EUE u svim navedenim periodima metodom kumulanata.
  4. U svim ostalim periodima zadržava se vrijednost EUE-a iz prethodnog koraka, tj.
- $$EUE_{i,j+1} = EUE_{i,j} \quad (3.14)$$
5. Izračunaj odgovarajuće koeficijente funkcije cilja  $c_k$  pomoću jednadžbe (3.10), pri čemu je  $j = j + 1$ .

Na taj su način određeni koeficijenti  $c_k$ , na temelju kojih će se primjenom heurističkog pravila 3 odrediti period za početak remonta sljedećeg agregata u nizu.

Heurističko pravilo 3: ujednačavanje EUE-a (1)

AKO je nepoznanici  $x_k$ ,  $f_j \leq k \leq l_j$  pridružen najmanji koeficijent funkcije cilja  $c_k$  u skladu sa jednadžbom (3.10),

TADA postavi  $x_k = 1$ , a vrijednost svih ostalih nepoznanica pridruženih agregatu  $j$  postavi na nulu.

### 3.1.3.2. Varijanta 2: heurističko pravilo 4

Ujednačavanje EUE-a u intervalu promatranja može se postići tako da se remont svakog agregata usmjerava u periode gdje remont promatranog agregata najmanje povećava EUE. U tom cilju potrebno je u svakom periodu od interesa izračunati EUE sa promatranim agregatom  $i$  bez njega, te odrediti razliku. Za početak remonta se definira onaj period u koje-

mu je najmanja suma od  $d_j$  uzastopnih razlika EUE-a. Pripadni koeficijenti funkcije cilja jesu:

$$c_k = \sum_i^{i+d_j+1} (EUE_{ij} - EUE_{i,j+1}) \quad (3.15)$$

$$i = p_j, \dots, q_j$$

$$k = f_j, \dots, l_j$$

gdje su

$EUE_{ij}$  — neisporučena energija u periodu  $i$  prije razmatranja agregata  $j$ ; agregat  $j$  je uračunat u ELDC i  $RS$

$EUE_{i,j+1}$  — neisporučena energija u periodu  $i$  agregat  $j$  nije uračunat; kumulanti oduzeti od kumulanata ELDC i snage  $P_j$  oduzeta od  $RS$  prema jednadžbi (3.12).

Heurističko pravilo se definira slično kao i za verziju 1. Slijedi:

Heurističko pravilo 4: ujednačavanje EUE-a (2)

AKO je nepoznanici  $x_k$ ,  $f_j \leq k \leq l_j$  pridružen najmanji koeficijent funkcije cilja  $c_k$  u skladu sa jednadžbom (3.15),

TADA postavi  $x_k = 1$ , a vrijednost svih ostalih nepoznanica pridruženih agregatu  $j$  postavi na nulu.

### 3.1.4. Kriterij za određivanje rasporeda remonta hidro-agregata: heurističko pravilo 5

Osnovni zahtjev pri planiranju proizvodnje hidroelektrana u EES-u jest maksimalno iskorištavanje raspoloživih vodnih snaga, jer se na taj način bitno smanjuju troškovi goriva. Naime, kao što je poznato, kada je hidroelektrana već izgrađena, troškovi proizvodnje su vrlo niski. Remont hidroagregata traje relativno kratko i potrebno ga je planirati u periodima kada je doprinos promatranog agregata u EES-u najmanji. Drugim riječima, remont je potrebno obaviti u razdoblju malih voda, odnosno kada je  $i$  očekivana moguća proizvodnja najmanja. Proizvodnja svake hidroelektrane u EES-u dobije se postupkom određivanja moguće proizvodnje koji je detaljno opisan u literaturi [1, 2] i uspješno se primjenjuje u našoj elektroenergetskoj praksi. Stohastička priroda pojave hidroloških stanja nameće potrebu određivanja očekivane proizvodnje hidroelektrane, tj. one proizvodnje koja ima najviše mogućnosti da se pojavi u budućnosti. Budući da praktično ne postoji korelacija hidroloških stanja iz perioda u period, očekivana proizvodnja svakog agregata određuje se za svaki period kao aritmetička sredina svih hidroloških uzoraka. Slijedi:

$$\mu HE_{,ji} = \frac{1}{H} \sum_{h=1}^H W_{jih} \quad (3.16)$$

$$j = 1, \dots, T$$

gdje su

$\mu HE_{,ji}$  — očekivana proizvodnja hidro-agregata  $j$  u periodu  $i$

$W_{jih}$  — proizvodnja (MWh) hidro-agregata  $j$  u periodu  $i$ , za hidrološki uzorak  $h$

$H$  — ukupni broj hidroloških uzoraka

$h$  — indeks hidrološkog uzorka.

Koeficijenti  $c_k$  funkcije cilja određuju se prema jednadžbi:

$$c_k = \sum_i^{i+d_j+1} \mu HE_{,ji} \quad (3.17)$$

$$i = p_j, \dots, q_j$$

$$k = f_j, \dots, l_j$$

Heurističko pravilo za određivanje rasporeda remonta za hidroagregate definira se kao:

Heurističko pravilo 5: remont hidroagregata

AKO je nepoznanici  $x_k$ ,  $f_j \leq k \leq l_j$  pridružen najmanji koeficijent funkcije cilja  $c_k$  u skladu sa jednadžbom (3.17),

TADA postavi  $x_k = 1$ , a vrijednost svih ostalih nepoznanica pridruženih agregatu  $j$  postavi na nulu.

Određivanje rasporeda remonta hidroagregata na temelju heurističkog pravila 5 vrši se prije svih ostalih agregata jer se želi postići maksimalno moguća proizvodnja hidroelektrana. Maksimalno iskorištenje vodnih snaga osnova je planiranja pogona svakog hidro-termo EES-a, te se navedeno heurističko pravilo primjenjuje i za kriterije ujednačavanja rezerve, LOLP-a i EUE-a.

### 3.2. Kriterij minimiziranja troškova goriva

Za minimiziranje troškova goriva potrebno je pretraživati sve moguće kombinacije, te za one koje zadovoljavaju ograničenja računati troškove goriva. Optimalno je ono rješenje za koje se dobiju najmanji troškovi goriva. Za proračun troškova goriva koristi se metoda kumulanata koja je detaljno opisana u poglavlju 3. Već je u uvodnom dijelu ovog poglavlja ilustrirano da je za svaki realni EES broj potrebnih proračuna vrlo velik, te da za praktičnu primjenu pretraživanje svih mogućih kombinacija ne dolazi u obzir. Potrebno je, dakle, koliko je god moguće, smanjiti broj kombinacija koje će se eksplicitno pretražiti, tj. za koje će se primjenom metode kumulanata izračunati troškovi goriva. U tu svrhu se predlaže niz uputa.

#### 3.2.1. Upute za grupiranje agregata

Broj kombinacija rasporeda remonta agregata za koje je eksplicitno, tj. metodom kumulanata potrebno računati troškove goriva može se znatno smanjiti ako se ukupni broj agregata podijeli u nekoliko manjih grupa, koje se tada rješavaju svaka za sebe. Na taj način jedan veliki problem je podijeljen na niz manjih. Podjelom u grupe jedan se algoritam eksplicitnog pretraživanja svih mogućih rješenja transformira u jedan novi, zasnovan na sukcesivnim aproksimacijama. Pritome kvaliteta rješenja u znatnoj mjeri ovisi o načinu na koji se vrši podjela agregata u grupe. Drugim riječima, podjela na grupe ne smije se obaviti na osnovi slučajnog uzorka, tj. bilo kako, već je potrebno da se poštuju, koliko god je to moguće, sljedeće upute (smjernice):

1. Agregate s različitim vremenskim intervalima u kojima je moguć početak remonta potrebno je

staviti u različite grupe. Pritome je potrebno da mogući počeci remonta npr. dvaju agregata budu toliko različiti da nije moguć scenario po kojemu bi se dva promatrana agregata mogla nalaziti u remontu u istom periodu. Vrijedi i obrnuto, tj. agregate za koje, s obzirom na moguće početke remonta, postoji mogućnost istovremenog remonta potrebno je staviti u istu grupu. Ova uputa temelji se na činjenici da remont agregata u određenom vremenskom intervalu ne može utjecati na troškove goriva u drugim intervalima.

2. Agregate koji su povezani ograničenjima o zabrani istovremenog remonta i (ili) ograničenjima koja uspostavljaju određeni raspored remonta potrebno je staviti u istu grupu.

3. Ako su grupe dobivene podjelom na temelju upute 1 i 2 relativno velike, potrebno ih je podijeliti u još manje grupe. Ukupni broj grupa kao i broj agregata u grupi određuje se na sljedeći način:

Pretpostavimo da je za sustav od  $N$  agregata broj kombinacija koje želimo eksplicitno ispitati  $M$ , pri čemu je  $M$  iskustvena veličina. Tada se maksimalni broj agregata u svakoj grupi  $y$  definira kao maksimalna cjelobrojna veličina koja zadovoljava sljedeću nejednadžbu:

$$s^y * (N/y) \leq M \quad (3.16)$$

gdje je

$s$  — ukupni broj perioda u kojima je moguć početak remonta svakog agregata.

Za ilustraciju neka posluži sljedeći primjer: Neka je ukupni broj agregata 12 i neka je za svaki agregat mogući početak remonta u dva perioda, tj.  $s = 2$ . Uz pretpostavku da je broj kombinacija koje je potrebno eksplicitno pretražiti za svaku grupu 50, tada je najveći cijeli broj koji zadovoljava nejednadžbu (3.16) broj 4, tj.  $y = 4$ . Sljedi da je ukupni broj grupa 3.

Podjelu na grupe potrebno je izvršiti po listi agregata, koja se, kako je već spomenuto, formira kao opadajući niz snaga agregata. Proizlazi da se prije grupiraju agregati većih snaga.

#### 3.2.2. Kriterij za eliminiranje suvišnih kombinacija

Zadatak je ovog kriterija da eliminira odnosno da izbjegne proračun troškova goriva za one kombinacije (rješenja) za koje se sa sigurnošću može kazati da nemaju velike šanse da budu optimalne. Takve kombinacije su npr. one za koje se predviđa remont svih agregata određene grupe u veoma kratkom intervalu ili čak u istom periodu. Potrebno je, dakle, postupak pretraživanja mogućih rješenja usmjeriti u područje u kojem se vrlo vjerojatno nalazi optimalno rješenje. U tu svrhu se koriste ograničenja snage dozvoljene za remont. Naime, za svaki period definira se snaga dozvoljena za remont na sljedeći način:

Odredi se osnovno rješenje koje zadovoljava sva ograničenja. Budući da je cilj minimizirati troškove goriva, za određivanje osnovnog rješenja najprikladnije je upotrijebiti kriterij ujednačavanja EUE-a. Za osnovno rješenje, za svaki period odredi se ukupna snaga u remontu. Ukupnoj snazi u remontu svakog

perioda doda se jedan iznos snage, npr. 50 MW, čime se ustvari proširuje prostor za remont. Snaga dozvoljena za remont sada je:

$$SR_i = RP_i + \theta \quad (3.18)$$

$$i = 1, \dots, T$$

gdje su

- $SR_i$  — snaga dozvoljena za remont u periodu  $i$
- $RP_i$  — ukupna snaga u remontu u periodu  $i$ , iz osnovnog rješenja
- $\theta$  — iznos snage kojim se proširuje prostor za pretraživanje.

### 3.3. Kriterij minimiziranja troškova remonta

Kriterij minimiziranja troškova remonta zasniva se na poznavanju troškova remonta u zavisnosti od vremenskog razmaka između dva remonta. Do takvih podataka je u praksi gotovo nemoguće doći, te se stoga koeficijenti funkcije cilja procjenjuju. Koeficijenti linearne funkcije cilja uzimaju u obzir činjenicu da svaki agregat treba da ide u remont jednom godišnje. Pritome je za većinu agregata poželjno da vremenski razmak između dva uzastopna remonta bude godina dana odnosno 52 tjedna. Ako se remont izvrši prije tog roka, troškovi remonta se povećavaju. Naime, dugoročno gledano, bi se svake godine realizirao prijevremeni remont, ukupni broj remonata u nizu godina bi se povećao. Npr., ako bi za neki agregat svake godine remont počinjao dva tjedna ranije, u 26 godina bi se promatrani agregat remontirao 27 puta umjesto 26, te bi se na taj način, dugoročno gledano, povećali i ukupni troškovi remonta. Ta činjenica se koristi pri procjenjivanju koeficijenata funkcije cilja za one koeficijente koji se odnose na periode »prijevremenog remonta«. U tu svrhu se izračunaju prosječni tjedni troškovi remonta da se troškovi godišnjeg redovnog remonta (poznata veličina) podijele sa 52. Slijedi

$$I = B/52 \quad (3.19)$$

gdje su

- $B$  — troškovi redovnog godišnjeg remonta
- $I$  — prosječni tjedni troškovi redovnog remonta.

Prosječni tjedni troškovi remonta predstavljaju ujedno i povećanje godišnjih troškova remonta ako bi remont nekog agregata svake godine počinjao ranije za jedan tjedan. Naime, u tom bi slučaju u vremenskom nizu od 52 godine ukupan broj redovnih remonata bio 53, te bi se godišnji troškovi redovnog remonta svake godine prosječno povećali za vrijednost  $I$ .

S obzirom na izneseno, može se općenito kazati da će se za slučaj kada remont počne  $w$  tjedana ranije od idealnog razmaka između dva uzastopna remonta (52 tjedna), prosječni godišnji troškovi remonta, dugoročno gledano, povećati za iznos  $w * I$ .

Ako remont počinje kasnije od idealnog početka, tj. 52 tjedna nakon prethodnog remonta, sljedeći logiku koja je prethodno iznesena za prijevremeni remont, dugoročno gledano, prosječni godišnji troškovi remonta trebali bi biti općenito manji. Kod odgođenog početka remonta dolazi do dodatnog trošenja i ošte-

ćivanja svih dijelova, odnosno do povećane opasnosti od neočekivanih ispada i ozbiljnih kvarova. Zbog toga je procijenjeno da se troškovi redovnog remonta ipak povećavaju. Pritome je procijenjeno da je efekt dugoročnog smanjenja troškova remonta jednak povećanim troškovima remonta zbog odgođenog remonta.

Koeficijenti linearne funkcije cilja pridruženi agregatu  $j$  mogu se pisati kao:

$$c = (\dots B + 2I, B + I, B, B_1, B_2, \dots)^t \quad (3.20)$$

idealni početak

pri čemu je

$$B < B_1 < B_2 \quad (3.21)$$

Koeficijenti  $B_1, B_2$  itd. neznatno su veći od  $B$  da bi se u funkciji cilja matematički razlikovalo rješenje za idealni početak remonta od odgođenog početka. Tj.

$$B_1 = B + T \quad (3.22)$$

$$B_2 = B + 2\tau \quad (3.23)$$

gdje je

$$\tau = 0,00001 B.$$

### 3.4. Postupak pretraživanja

Algoritam za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama EES-a organiziran je tako da se, ovisno o kriteriju, primjenjuju različiti postupci pretraživanja. Svi postupci pretraživanja i svi kriteriji dio su jedinstvenog algoritma. Postupci pretraživanja uz pripadne kriterije jesu:

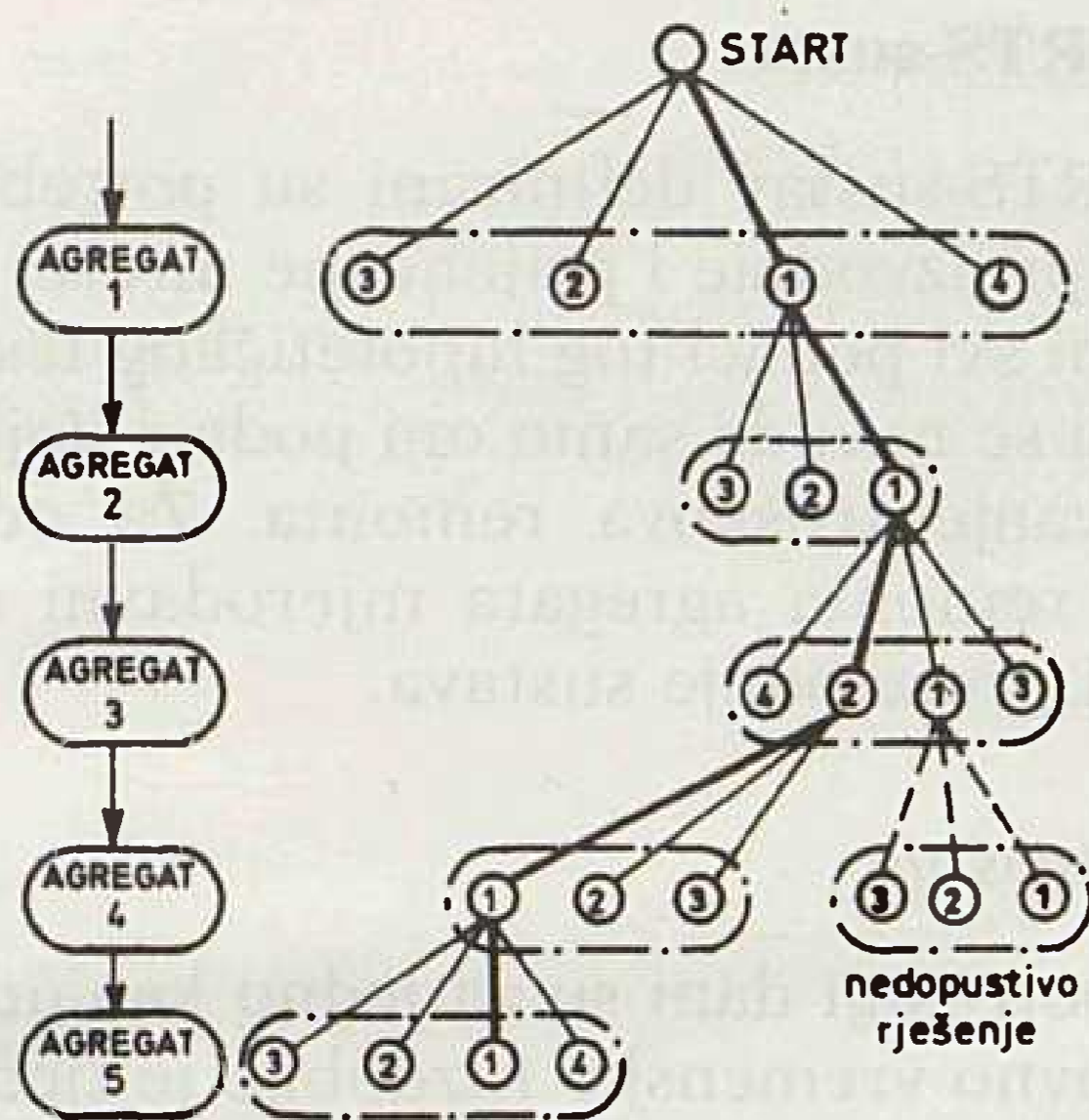
- (1) heurističko pretraživanje; kriteriji ujednačavanja pokazatelja pouzdanosti rada EES-a,
- (2) linearno 0-1 programiranje; kriterij minimiziranja troškova remonta,
- (3) sistematsko pretraživanje: kriterij minimiziranja troškova goriva.

#### Heurističko pretraživanje

Za kriterije ujednačavanja pokazatelja pouzdanosti rada EES-a, tj. rezerve, LOLP-a i EUE-a koristi se heurističko pretraživanje. Postupak heurističkog pretraživanja organiziran je hijerarhijski tako da se analizira agregat po agregat. Pritome je redoslijed pretraživanja agregata utvrđen listom prioriteta. U EES-u s hidroelektranama i termoelektranama, hidroagregati se stavljaju u vrh liste prioriteta jer je cilj kod svakog planiranja pogona mješovitog EES-a maksimalno iskoristiti potencijalnu energiju vode. Hidroagregati su u listi prioriteta redovito postavljani kao opadajući niz ukupnih mogućih proizvodnja. Termoagregati sljede na listi iza hidroagregata i poredani su kao opadajući niz instaliranih snaga agregata jer je i doprinos svakog agregata u smislu pouzdanosti rada EES-a ponajviše ovisan o snazi agregata.

Prostor pretraživanja mogućih rješenja može se prikazati stablom rješenja prema slici 1.

Čvorovi na svakom nivou predstavljaju skup svih mogućih rješenja, odnosno mogućih početaka remonta za određeni agregat. Čvorovi u jednom skupu, pridruženi svakom agregatu, poredani su slijeva nad-



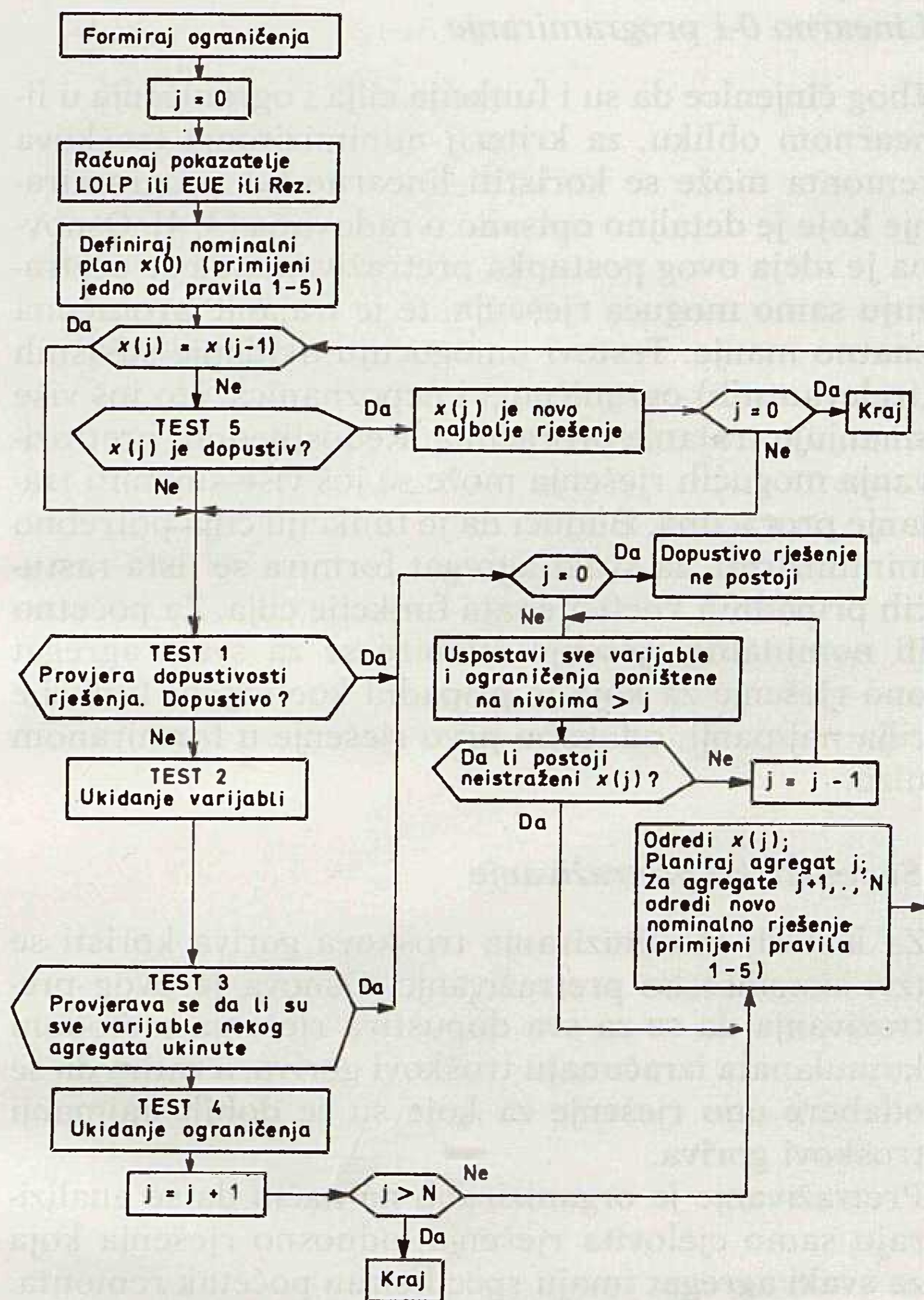
Slika 1. Stablo rješenja

esno, odnosno od najranijeg do najkasnijeg perioda u kojem je moguć početak remonta. Takvih skupova općenito ima više, ali se kod heurističkog pretraživanja razmatra samo jedan, i to onaj koji se nadovezuje na odluku u prethodnom koraku odnosno za prethodni agregat (nivo). Na svakom nivou analizira se pripadni agregat i donosi odluka o početku remonta promatranog agregata u skladu s odgovarajućim heurističkim pravilima koja su prethodno detaljno opisana. Svaki čvor odnosno staza kojom se do konkretnog čvora došlo definira djelomično rješenje (period u kojem počinje remont) za promatrani, kao i za sve prethodne agregate. Cjelovito rješenje rasporeda remonta agregata može se ilustrirati kao staza od vrha do dna stabla rješenja. Također se može zaključiti, na temelju slike, da u slučaju većeg broja agregata i (ili) većeg broja mogućih početaka remonta za svaki agregat dolazi do eksplozije ukupnog broja svih mogućih rješenja. Zahvaljujući heurističkoj metodi i pravilima, postupak pretraživanja je bitno pojednostavnjen.

Za razliku od dosada poznatih heurističkih algoritama heuristička metoda razvijena u ovom radu garantira pronalaženje dopustivog rješenja ako takvo rješenje postoji. Provjera dopustivosti rješenja odnosno izbjegavanje »slijepih staza« na stablu rješenja izvodi se pomoću testova koji su prvi put uvedeni u lit. [4]. Definicija nepoznanica kao perioda u kojem počinje remont nekog agregata, kao i ograničenja u linearnom obliku omogućavaju upotrebu navedenih testova za brzu provjeru dopustivosti rješenja. Svi testovi su detaljno opisani u radovima [3, 4]. Valja napomenuti da se testovi kod heurističkog pretraživanja u ovom radu koriste u bitno drugačijem kontekstu postupka pretraživanja.

Čitav postupak heurističkog pretraživanja može se prikazati dijagramom toka na slici 2.

Proračun počinje formiranjem matrice ograničenja i vektora uvjeta. Zatim se izračunaju pokazatelji pouzdanosti EES-a (rezerva, LOLP, EUE) za situaciju u kojoj nijedan agregat nije u remontu. Nakon toga slijedi određivanje nominalnog rješenja na temelju jednog od heurističkih pravila 1-4. Nominalno rješenje je redovito nedopustivo. Ako je nominalno rješenje dopustivo, tada je nominalno rješenje ujedno i opti-



Slika 2. Dijagram toka metode heurističkog pretraživanja

malno rješenje, te se postupak pretraživanja završava. Ako nije, postupak se nastavlja. U nastavku se analizira agregat po agregat i određuje najbolje rješenje za svaki agregat na temelju određenog heurističkog kriterija. Pritome se svi mogući počeci remonta odnosno sva rješenja za određeni agregat poređaju u odgovarajući niz u kojem je najbolje rješenje prvo u nizu. Testovima se provjerava dopustivost rješenja za svaki nivo odnosno za svaki agregat. Zahvaljujući testovima izbjegavaju se slijepa staza. Naime, testovi »pravovremeno« upućuju na nedopustivost rješenja za neki agregat, te povratak uz stablo rješenja, s ciljem da se pronade dopustivo rješenje, nije potreban. Testovi ustvari zabranjuju određena rješenja za neke agregate. Neka rješenja mogu biti i najbolja s obzirom na postavljene kriterije, ali su nedopustiva. U tom slučaju se uzima sljedeće nezabranjeno najbolje rješenje iz niza mogućih rješenja. Kada je za određeni agregat definiran optimalni početak remonta, uvijek je potrebno ponovno računati pokazatelje pouzdanosti rada EES-a. Na temelju korigiranih pokazatelja pouzdanosti donosi se odluka o optimalnom početku remonta sljedećeg agregata u nizu. Postupak se završava kada se za posljednji agregat odredi najbolje dopustivo rješenje. U postupku pretraživanja svaki agregat mora uvažavati rješenja svih prethodno analiziranih agregata.

### Linearno 0-1 programiranje

Zbog činjenice da su i funkcija cilja i ograničenja u linearnom obliku, za kriterij minimiziranja troškova remonta može se koristiti linearno 0-1 programiranje koje je detaljno opisano u radovima [3, 4]. Osnovna je ideja ovog postupka pretraživanja da se pretražuju samo moguća rješenja, te je trajanje proračuna znatno manje. Testovi omogućuju ukidanje suvišnih (irelevantnih) ograničenja i nepoznanica, što još više smanjuje trajanje proračuna. Redoslijedom pretraživanja mogućih rješenja može se još više smanjiti trajanje proračuna. Budući da je funkciju cilja potrebno minimizirati, za svaki agregat formira se lista rastućih pripadnih koeficijenata funkcije cilja. Za početno ili nominalno rješenje odabire se za svaki agregat ono rješenje za koje je pripadni koeficijent funkcije cilja najmanji, odnosno prvo rješenje u formiranom nizu.

### Sistematsko pretraživanje

Za kriterij minimiziranja troškova goriva koristi se tzv. sistematsko pretraživanje. Osnova je ovog pretraživanja da se za sva dopustiva rješenja metodom kumulanata izračunaju troškovi goriva, a zatim da se odabere ono rješenje za koje su se dobili najmanji troškovi goriva.

Pretraživanje je organizirano na način da se analiziraju samo cjelovita rješenja, odnosno rješenja koja za svaki agregat imaju specificiran početak remonta. Pritome se polazi od lijeve staze sa stabla rješenja. Dopustivost svakog rješenja provjerava se testovima. Samo za dopustiva rješenja računaju se troškovi goriva. Na taj način se većina rješenja pretražuje implicitno, tj. bez računanja troškova goriva.

## 4.0. TESTIRANJE

Za metodu određivanja rasporeda remonta agregata u elektranama EES-a, koja je prethodno detaljno opisana, napisan je program za elektroničko računalno. Program je nazvan OPMAIN i napisan je u jeziku FORTRAN 77.

Pri razvoju različitih metoda za primjenu u elektroenergetici jedan od problema je testiranje, odnosno verifikacija metode. Da bi se različite metode mogle uspoređivati s različitih aspekata, kao što su kvaliteta rješenja, brzina proračuna itd., nužno je da se sve nove metode testiraju na istom test primjeru. Na taj način se metode mogu međusobno uspoređivati, a eventualni znanstveni doprinos može se argumentirati rezultatima. Iz tog razloga ustanovljen je tzv. IEEE Reliability Test System lit. [10], test elektroenergetski sustav kojim se definira referentni EES. Radi verifikacije rezultata i usporedbe predložena metoda za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama EES-a testirana je na primjerima koji se baziraju na IEEE RTS-sustavu.

Svaki primjer prezentiran je na način da se najprije daje opis problema, zatim slijedi prikaz rezultata, a na kraju se daje analiza rezultata.

## 4.1. IEEE RTS-sustav

Za IEEE RTS-sustav definirani su potrebni podaci potrošnje, proizvodnje i prijenosne mreže. U lit. [10] su navedeni svi podaci tog hipotetičkog test sustava. U nastavku se navode samo oni podaci koji su nužni za određivanje troškova remonta. Za određivanje rasporeda remonta agregata mjerodavni su podaci potrošnje i proizvodnje sustava.

### Podaci potrošnje

Podaci o potrošnji dani su za jednu kalendarsku godinu. Osnovno vremensko razdoblje je tjedan. Godišnje vršno opterećenje IEEE RTS sustava je 2850 MW.

Podaci tjednog vršnog opterećenja u postotnoj vrijednosti godišnjeg vršnog opterećenja dani su u tablici 1. Mogu se primijetiti dva sezonska vršna opterećenja, i to u tjednima 23 i 51. U ovom radu uzima se da prvi tjedan u tablici 1. odgovara prvom tjednu u godini, tj. prvom tjednu u siječnju, i da godina započinje prvim danom u tjednu.

Dnevno vršno opterećenje u postotku od tjednog vršnog opterećenja dano je u tablici 2. Isti ciklus dnevnog opterećenja u tjednu vrijedi za sve tjedne u godini.

Srednje satno opterećenje za radni i neradni dan dano je za svaku sezonu u tablici 3. Pritome je pretpostavljeno da su dnevne promjene opterećenja jednake za proljeće i jesen.

Uvidom u tablice 1, 2, i 3. može se zaključiti da računaska godina ima  $52 \times 7 = 364$  dana, odnosno  $364 \times 24 = 8736$  sati, što predstavlja vrlo malu pogrešku u odnosu prema stvarnoj vrijednosti.

Tablica 1. Tjedno vršno opterećenje u postotnoj vrijednosti godišnjeg vršnog opterećenja za IEEE RTS

Tjedan	Vršno opterećenje	Tjedan	Vršno opterećenje
1	86,2	27	75,5
2	90,0	28	81,6
3	87,8	29	80,1
4	83,4	30	88,0
5	88,0	31	72,2
6	84,1	32	77,6
7	83,2	33	80,0
8	80,6	34	72,9
9	74,0	35	72,6
10	73,7	36	70,5
11	71,5	37	78,0
12	72,7	38	69,5
13	70,4	39	72,4
14	75,0	40	72,4
15	72,1	41	74,3
16	80,0	42	74,4
17	75,4	43	80,0
18	83,7	44	88,1
19	87,0	45	88,5
20	88,0	46	90,9
21	85,6	47	94,0
22	81,1	48	89,0
23	90,0	49	94,2
24	88,7	50	97,0
25	89,6	51	100,0
26	86,1	52	95,2

Tablica 2. Dnevno vršno opterećenje u postotku tjednog vršnog opterećenja

Dan	Vršno opterećenje
ponedjeljak	93
utorek	100
srijeda	98
četvrtak	96
petak	94
subota	77
nedjelja	75

### Proizvodnja

Svi podaci o agregatima IEEE RTS sustava navedeni su u tablici 4. Svi agregati snage 50 MW u tabeli 4 su hidroagregati čiji su prosječni troškovi goriva po MWh nula.

#### 4.1.1. Primjer 1.

##### a) Opis problema

Ovaj primjer izabran je za testiranje da bi se predložena metoda mogla usporediti sa rezultatima metode iz lit. [6]. Podaci o agregatima IEEE RTS sustava dani su u tablici 4. Na ovaj primjer odnose se samo prva dva stupca tablice 4. Remont svakog agregata može početi u bilo kojem periodu unutar godine, uz zahtjev da je remont svakog agregata potrebno u cijelosti obaviti u promatranoj godini. To praktično znači da ni u slučaju kada remont započinje u pro-

Tablica 3. Satno opterećenje u postotku dnevnog vršnog opterećenja za IEEE RTS

Sat	Zima tjedni		Ljeto tjedni		Proljeće/Jesen tjedni	
	1-8 RD	44-52 NDV	18-30 RD	NDV	9-17 RD	& 31-43 NDV
ponoć-1	67	78	64	74	63	75
1-2	63	72	60	70	62	73
2-3	60	68	58	66	60	69
3-4	59	66	56	65	58	66
4-5	59	64	56	64	59	65
5-6	60	65	58	62	65	65
6-7	74	66	64	62	72	68
7-8	86	70	76	66	85	74
8-9	95	80	87	81	95	83
9-10	96	88	95	86	99	89
10-11	96	90	99	91	100	92
11-podne	95	91	100	93	99	94
podne-1	95	90	99	93	93	91
1-2	95	88	100	92	92	90
2-3	93	87	100	91	90	90
3-4	94	87	97	91	88	86
4-5	99	91	96	92	90	85
5-6	100	100	96	94	92	88
6-7	100	99	93	95	96	92
7-8	96	97	92	95	98	100
8-9	91	94	92	100	96	97
9-10	83	92	93	93	90	95
10-11	73	87	87	88	80	90
11-12	63	81	72	80	70	85

RD — radni dan

NDV — neradni dan (vikend)

Tablica 4. Podaci o agregatima IEEE RTS-a

Agregat	Snaga MW	Neraspolo- živost	Troškovi goriva j/MWh	Početak remonta od	do	Početak zadnjeg remonta	Trajanje remonta (tjedni)	Troškovi remonta j/kW/god.
1	400	0,12	0,30	5	16	10	6	5,0
2	400	0,12	0,30	30	41	35	6	5,0
3	350	0,08	0,70	25	36	31	5	4,5
4	197	0,05	0,70	5	16	6	4	5,0
5	197	0,05	0,70	33	44	39	4	5,0
6	197	0,05	0,70	11	22	11	4	5,0
7	155	0,04	0,80	4	15	14	4	7,0
8	155	0,04	0,80	13	24	15	4	7,0
9	155	0,04	0,80	26	37	36	4	7,0
10	155	0,04	0,80	30	41	40	4	7,0
11	100	0,04	0,80	5	16	9	3	8,5
12	100	0,04	0,80	35	46	41	3	8,5
13	100	0,04	0,80	36	47	46	3	8,5
14	76	0,02	0,90	7	18	11	3	10,0
15	76	0,02	0,90	10	21	14	3	10,0
16	76	0,02	0,90	26	37	34	3	10,0
17	76	0,02	0,90	28	39	31	3	10,0
18	50	0,01	0,00	29	40	31	2	0,10
19	50	0,01	0,00	31	42	34	2	0,10
20	50	0,01	0,00	31	42	41	2	0,10
21	50	0,01	0,00	33	44	38	2	0,10
22	50	0,01	0,00	3	14	9	2	0,10
23	50	0,01	0,03	5	16	10	2	0,10
24	20	0,10	5,00	3	14	12	2	0,30
25	20	0,10	5,00	7	18	14	2	0,30
26	20	0,10	5,00	12	23	16	2	0,30
27	20	0,10	5,00	31	42	31	2	0,30
28	12	0,02	0,90	9	20	9	2	10,0
29	12	0,02	0,90	10	21	11	2	10,0
30	12	0,02	0,90	34	45	42	2	10,0
31	12	0,02	0,90	36	47	44	2	10,0
32	12	0,02	0,90	37	48	46	2	10,0

matranoj godini, nije dozvoljeno da se odvijanje remonta nastavi u sljedećoj godini. Tako je npr. za agregat čije je trajanje remonta 4 tjedna najraniji mogući početak remonta, u prvom tjednu godine, a najkasniji u tjednu (52 – 4 + 1), odnosno u tjednu 49. Ako remont počne u tjednu 49, završit će se zaključno s tjednom 52, tj. u promatranoj godini. Može se zaključiti da je najraniji mogući početak remonta svakog agregata u prvom tjednu, a najkasniji mogući početak remonta ovisi o trajanju remonta svakog agregata i dan je izrazom

$$t_{kj} = 52 - d_j + 1. \quad (4.1)$$

Od ograničenja postavlja se jedino zahtjev da rezerva u svakom periodu bude veća od nule, tj.

$$\begin{aligned} & \text{instalirana snaga} - \text{ukupno u remontu}_i > \\ & > \text{vršnog opterećenja}_i \\ & i = 1, \dots, 52. \end{aligned} \quad (4.2)$$

Izrazom (4.2) definirana su ograničenja snage dozvoljene za remont u svakom periodu.

Primjer je riješen heurističkom metodom po kriterijima ujednačavanja rezerve, LOLP-a i EUE-a. Zbog uspoređivanja predočeni su i neki rezultati iz lit. [6] gdje su kao kriteriji primijenjeni ujednačavanje rezerve i ujednačavanje tzv. efektivne prijenosne snage (Equivalent Load Carrying Capability – ELCC).

#### b) Prikaz rezultata

Za određivanje rasporeda remonta agregata u IEEE RTS sustavu heurističkom metodom korišteno je pet kriterija odnosno pripadnih heurističkih pravila za ujednačavanje pokazatelja pouzdanosti, i to:

Netorezerva: koristi heurističko pravilo 1 koje je opisano u odjeljku 3.1.1.

LOLP(D): koristi heurističko pravilo 2 (opisano u odjeljku 3.1.2). Računanje LOLP-a zasniva se na dnevnom vršnom opterećenju. Broj potrebnih proračuna LOLP-a u svakom tjednu je 7.

LOLP(S): koristi heurističko pravilo 2 koje je detaljno opisano u odjeljku 3.1.2. Proračun LOLP-a temelji se na srednjem satnom opterećenju. U svakom tjednu nužno je stoga LOLP izračunati 168 puta.

EUE(1): koristi heurističko pravilo 3 iz odjeljka 3.1.3.1.

EUE(2): koristi heurističko pravilo 4 prema odjeljku 3.1.3.2.

Detaljni rezultati određivanja rasporeda remonta agregata prikazani su za kriterij ujednačavanja rezerve (tablica 5) zbog štednje prostora. Agregati u remontu u svakom periodu dani su u trećem stupcu, i to na način da se prvo navodi snaga agregata, a u zgrada-ma je dan i pripadni redni broj iz liste agregata. Također su prezentirani za svaki period rezerva (bez agregata i sa njima u remontu), LOLP, EUE i troškovi goriva.

U tablici 6. je za sve kriterije dan prikaz pokazatelja na temelju kojih se ocjenjuje kvaliteta svakog pojedinog kriterija, tj. suma kvadrata rezervi, sveukupni LOLP, sveukupni EUE i sveukupni troškovi goriva. Računanje svih navedenih pokazatelja realizirano je kao sastavni dio algoritma za određivanje rasporeda remonta. Pri računanju troškova goriva računato je s

penalima za neisporučenu energiju u iznosu od \$ 50 / MWh. Budući da je LOLP računat na dva načina, tj. na temelju srednjeg satnog opterećenja odnosno dnevnog vršnog opterećenja, u tablici 10. su prezentirane i dvije vrijednosti sveukupnog LOLP-a.

Radi uspoređivanja, dva rasporeda remonta agregata za IEEE RTS sustav, uz identične ulazne podatke kao za primjer 1, uzeta su iz lit. [6]. Prvi plan je dobiven ujednačavanjem efektivne prijenosne snage (ELCC) a drugi je dobiven ujednačavanjem rezerve u periodu promatranja. Na temelju rezultata, odnosno rasporeda remonta agregata prezentiranih u lit. [6], algoritmom iz ovog rada su izračunati svi prije navedeni pokazatelji. Dobiveni rezultati prikazani su u posljednjem redu tablice 6.

Vrijednosti pokazatelja pouzdanosti sveukupnog LOLP-a i sveukupnog EUE-a za IEEE RTS sustav bez agregata u remontu su: LOLP(D) = 1,44793 dana / godina, LOLP(S) = 9,80112 sati / godina i EUE = 122925,9 MWh.

#### c) Analiza

Analizom rezultata metode za određivanje rasporeda remonta agregata IEEE RTS-sustava, mogu se izvesti sljedeći zaključci:

- (1) Za sve kriterije predloženi algoritam je uspješno i efikasno riješio postavljeni problem, odnosno odredio raspored remonta agregata IEEE RTS-sustava. Tendencija ujednačavanja pripadnog pokazatelja pouzdanosti evidentna je za sve kriterije. Vrijeme rada centralne procesorske jedinice računala IBM 31 za sve scenarije iznosi između 30 i 60 sekunda.
- (2) Iz tablice 6. može se vidjeti da su svi kriteriji dosljedno postigli postavljene ciljeve pripadnih heurističkih pravila. Tako se npr. za kriterij ujednačavanja rezerve vidi da je dobivena najmanja suma kvadrata rezervi u odnosu na druge kriterije. Slično se može zaključiti i za druge kriterije, gdje su najbolje vrijednosti pripadnog pokazatelja dobivene upravo za kriterije koji minimiziraju promatrani pokazatelj. Također se može vidjeti da nema osjetnih razlika između pojedinih kriterija, što se i moglo očekivati s obzirom na to da su svi upotrijebljeni kriteriji odnosno heuristička pravila zamišljena za ujednačavanje pouzdanosti rada EES-a.
- (3) Iz posljednjeg retka može se vidjeti da su praktično svi kriteriji s obzirom na se prezentirane pokazatelje pouzdanosti dali bolja rješenja od metode iz lit. [6], gdje je funkcija cilja bila ujednačavanje efektivne prenosne snage (ELCC).
- (4) Rezultati dobiveni ujednačavanjem rezerve na temelju u heurističkog pravila definiranog u ovom radu uspoređeni su s rezultatima ujednačavanja rezerve iz lit. [6]. Usporedba je pokazala da heurističko pravilo za ujednačavanje rezerve predloženo u ovom radu daje bolje rezultate od kriterija za ujednačavanje rezerve iz lit. [6]. Iz tablice 6. vidi se da za IEEE RTS sustav za kriterij ujednačavanja rezerve ukupna suma kvadrata rezervi iznosi 33.726.784 MW<sup>2</sup>. Ako se taj iznos usporedi s



Tablica 5. Raspored remonta za primjer 1. (IEEE RTS) za kriterij rezerve

Tjedan	Vršno opter.	Net. rez.	U remontu	Uk. sn. snaga u rem.	Res.	LOLP $10^{-1}$	EUE $10^2$	Troš. gor. $10^6$
1	2457	948	50(22)	50	898	0,32764	2,275	0,1866
2	2565	840	50(22)	50	790	0,71845	6,267	0,2172
3	2502	903	100(13), 12(22)	112	791	0,70054	4,657	0,2028
4	2377	1028	100(13), 12(29)	112	916	0,27451	1,639	0,1755
5	2508	897	100(13)	100	797	0,67125	4,770	0,2039
6	2397	1008	197(5)	197	811	0,56888	2,699	0,1850
7	2371	1034	197(5), 76(16)	273	761	0,80435	3,070	0,1841
8	2297	1108	197(5), 76(16)	273	835	0,47948	1,950	0,1713
9	2109	1296	197(5), 155(9), 76(16)	428	868	0,35250	1,174	0,1493
10	2100	1305	400(1), 155(9)	555	750	0,27931	1,103	0,1737
11	2038	1367	400(1), 155(9)	555	812	0,13455	0,7282	0,1657
12	2072	1333	400(1), 155(9)	555	778	0,20317	0,8990	0,1698
13	2006	1399	400(1), 50(20), 20(25), 12(32)	482	917	0,03629	0,3089	0,1605
14	2138	1268	400(1), 50(20), 20(25), 12(32)	482	786	0,20466	0,8951	0,1769
15	2055	1350	400(1), 155(7), 76(17)	631	719	0,38281	1,363	0,1703
16	2280	1125	155(7), 100(11), 76(17)	331	794	0,66394	1,632	0,1660
17	2149	1256	155(7), 100(11), 76(17)	331	925	0,2394	0,7166	0,1490
18	2385	1020	155(7), 100(11)	255	765	0,80420	4,310	0,1893
19	2480	926	155(10)	155	771	0,78481	5,991	0,2069
20	2508	897	155(10)	155	742	0,93991	7,209	0,2157
21	2440	965	155(10)	155	810	0,60074	4,584	0,1961
22	2311	1094	155(10), 50(23)	205	889	0,33637	2,522	0,1735
23	2565	840	50(23)	50	790	0,71845	7,376	0,2225
24	2528	877	12(30)	12	865	0,42190	4,772	0,2057
25	2554	851	12(30)	12	839	0,50936	6,250	0,2156
26	2454	951	197(6)	197	754	0,83703	5,870	0,2062
27	2152	1253	197(6), 100(12), 12(28)	309	944	0,18539	1,405	0,1544
28	2326	1079	197(6), 100(12), 12(28)	309	770	0,74235	3,838	0,1834
29	2283	1122	197(6), 100(12)	297	825	0,50470	2,867	0,1744
30	2508	897	76(15), 20(27)	96	801	0,65877	5,882	0,2089
31	2507	1347	350(3), 76(15), 20(17)	446	901	0,12866	0,6201	0,1431
32	2212	1193	350(3), 76(15)	426	767	0,48567	1,598	0,1631
33	2280	1125	350(3), 20(26)	370	755	0,53097	1,513	0,1695
34	2078	1327	350(3), 20(26)	370	957	0,06667	0,3963	0,1440
35	2069	1336	400(2), 350(3)	750	586	0,57313	1,918	0,1795
36	2009	1396	400(2), 76(14)	476	920	0,03495	0,3432	0,1609
37	2223	1182	400(2), 76(14)	476	706	0,46723	1,701	0,1887
38	1981	1424	400(2), 76(14), 50(18), 50(21)	576	848	0,09728	0,5351	0,1592
39	2063	1342	400(2), 50(18), 50(21)	500	842	0,10681	0,6925	0,1682
40	2063	1342	400(2), 197(4)	597	745	0,26337	1,186	0,1732
41	2118	1287	197(4), 155(8), 50(19), 20(24),	434	853	0,39407	1,051	0,1496
42	2120	1285	12(31)	434	851	0,40315	1,170	0,1505
43	2280	1125	197(4), 155(8), 50(19), 20(24),	352	773	0,71542	1,740	0,1689
44	2511	894	12(31)	155	739	0,95661	5,984	0,2101
45	2522	883	197(4), 155(8)	0	883	0,36815	3,337	0,1982
46	2591	814	155(8)	0	814	0,60653	5,401	0,2152
47	2679	726		0	726	1,0653	8,408	0,2388
48	2537	869		0	869	0,41076	3,981	0,2029
49	2685	720		0	720	1,1021	8,726	0,2409
50	2765	641		0	641	1,7381	12,40	0,2669
51	2850	555		0	555	2,7531	17,91	0,3026
52	2713	692		0	692	1,3019	9,359	0,2468

rezultatom koji se dobije na temelju rasporeda remonta iz lit. [6] i koji iznosi 33.789.100 MW<sup>2</sup>, može se zaključiti da je iznos poboljšanja 62.316 MW<sup>2</sup>. To je naročito važno jer je osnovna heuristička logika za ujednačavanje rezerve primijenjena i za kriterije ujednačavanja LOLP-a i EUE-a.

#### 4.1.2. Primjer 2.

##### a) Opis problema

U ovom primjeru razmatra se također IEEE RTS-sustav uz dodatna ograničenja. Ovisno o početku zadnjeg remonta za svaki agregat je definiran mogući

početak remonta kao interval od 12 perioda između najranijeg i najkasnijeg mogućeg početka. Naime, u realnom životu nelogično je da svaki agregat može početi remont u bilo kojem periodu unutar godine. Ovaj primjer riješen je heurističkom metodom, linearnim 0-1 programiranjem i metodom organiziranog pretraživanja koja se zasniva na sukcesivnim aproksimacijama. Za metodu linearnog 0-1 programiranja odnosno za kriterij minimiziranja troškova goriva, podatak o posljednjem remontu svakog agregata predstavlja kritičku informaciju za rezultat proračuna. Budući da za IEEE RTS sustav takva informacija ne postoji, za ovaj primjer je ona dana u petom stup-

**Tablica 6. Prikaz sumarnih pokazatelja za primjer 1. (IEEE RTS)**

Funkcija cilja	$\sum_{i=1}^{52} R_i$	$\sum_{i=1}^{52} LOLP_i$	$\sum_{i=1}^{52} EUE_i$	Trošk. goriva	
Kriterij	10 <sup>7</sup> MW <sup>2</sup>	sat/god dan/g.	10 <sup>4</sup> MWh	\$ 10 <sup>6</sup>	
Rezerva	3,372 6784	19,888	2,9656	1,8907	9,8009
LOLP (D)	3,390 9744	%	2,8307	1,7849	9,7527
LOLP (S)	3,400 3504	18,248	%	1,7771	9,7487
EUE (1)	3,428 8032	19,853	3,1370	1,7523	9,7350
EUE (2)	3,420 9744	19,615	3,0918	1,7511	9,7343
ELCC lit. [31]	3,433 6624	20,537	3,1969	1,8205	9,7689

cu tablice 4. Do tih podataka nije se došlo slučajno. Oni su dobiveni rješavanjem problema rasporeda remonta heurističkom metodom za kriterij ujednačavanja EUE-a (prva verzija) uz vršno opterećenje od 2000 MW umjesto izvornog od 2850 MW.

Pored ograničenja snage dozvoljene za remont koja su postavljena za prvi primjer, u primjeru 2. su postavljena ograničenja koja onemogućuju istovremeni remont dvaju ili više agregata i ograničenja koja uspostavljaju određeni raspored remonta dvaju ili više agregata (specijalna ograničenja). Ovaj primjer izabran je zato da se demonstriraju sposobnosti metode uz prisutnost specijalnih zahtjeva.

Ograničenja su:

- I. Sljedeći agregati ne smiju biti u remontu u isto vrijeme:  
agregat 1 i agregat 4  
agregat 2 i agregat 13.
- II. Agregati 15, 23, 25, 26, 29, 31, 32 moraju početi remont 3, 1, 2, 2, 2, 2 perioda nakon početka remonta agregata 14, 22, 24, 25, 28, 30, 31, respektivno.

Za rješavanje ovog primjera upotrijebljeni su sljedeći kriteriji: rezerva, LOLP(D), LOLP(S), EUE(1), EUE(2), te kriteriji minimiziranja troškova goriva i minimiziranja troškova remonta.

Za kriterij minimiziranja troškova goriva agregati su podijeljeni u dvije grupe u skladu sa uputama za grupiranje opisanim u odjeljku 3.2.1. U prvoj grupi se nalazi 15 agregata, i to agregati: 1, 4, 6, 7, 8, 11, 15, 22, 23, 24, 25, 26, 28 i 29. Druga grupa ima 17 agregata. To su agregati: 2, 3, 5, 9, 10, 12, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 27, 30, 31 i 32. U skladu s kriterijem za eliminiranje suvišnih kombinacija (odjeljak 3.2.2) osnovno rješenje je dobiveno rješavanjem problema pomoću heurističkog kriterija EUE(1). Snaga dozvoljena za remont u svakom peirodu je određena na temelju osnovnog rješenja i vrijednosti »margine« delta kojom se proširuje prostor snage dozvoljene za remont. Vrijednosti »margine« delta iznose za prvu grupu 50 MW a za drugu grupu 20 MW.

#### b) Prikaz rezultata

Tablica 7. prikazuje rezultate rasporeda remonta agregata za primjer 2, za scenario ujednačavanja

LOLP-a. U tablici 8. dan je prikaz sumarnih pokazatelja karakterističnih vrijednosti promatranog IEE RTS-sustava. Osim sume kvadrata rezervi, sume LOLP-a, sume EUE-a, troškova goriva u godini dana, prikazani su i ukupni troškovi remonta. Ukupni troškovi koji su dobiveni kao suma ukupnih troškova goriva i troškova remonta prezentirani su za sve scenarije u posljednjem stupcu tablice 8.

#### c) Analiza rezultata

- (1) Problem je uspješno riješen za sve scenarije. Svi zahtjevi zadani u vidu ograničenja su ispunjeni. Problem ima 173 ograničenja i 384 nepoznanice. Vrijeme rada centralne procesorske jedinice za sve scenarije iz tablice 8, osim kriterija minimiziranja troškova goriva, iznosi od 36 do 138 sekundi. Za kriterij minimiziranja troškova goriva vrijeme rada centralne procesorske jedinice iznosi 78 minuta. Pritome je istraženo 1785 dopustivih rješenja u prvoj grupi i 5554 dopustiva rješenja u drugoj grupi.
- (2) Iz tablice 8. može se zaključiti da su sva dobivena rješenja ispravna i korektna u smislu da svaki scenarij daje najbolja rješenja s obzirom na primijenjeni kriterij. Također se može vidjeti da su se za kriterij organiziranog pretraživanja dobili neznatno niži troškovi goriva u odnosu na heurističke kriterije EUE(1) i EUE(2). Na temelju rezultata kriteriji ujednačavanja odnosno minimiziranja EUE-a mogu se interpretirati kao heuristički kriteriji za minimiziranje troškova goriva. Dobiveni rezultati također afirmiraju osnovnu heurističku ideju o ujednačavanju pokazatelja pouzdanosti EES-a. Naime, vrijeme trajanja proračuna za heurističke kriterije ujednačavanja EUE-a osjetno je manje u odnosu na metodu organiziranog pretraživanja, dok je kvaliteta rješenja gotovo identična.
- (3) Najniži ukupni troškovi dobiveni su za kriterij kojim se minimiziraju troškovi remonta. Takav rezultat je vjerojatno posljedica činjenice da su koeficijenti funkcije cilja za kriterij troškova remonta precijenjeni. U svakom slučaju može se zaključiti da su troškovi remonta jedan od vrlo važnih pokazatelja za planiranje rasporeda remonta.
- (4) Kriteriju minimiziranja troškova goriva trebalo je da riješi postavljeni problem samo 36 sekunda. U odnosu na druge kriterije to je najkraće trajanje proračuna, što se može protumačiti činjenicom da kriterij minimiziranja troškova goriva (funkcija cilja u linearnom obliku) funkcionira kao linearno 0-1 programiranje.
- (5) Vrijeme trajanja proračuna po kriteriju minimiziranja troškova goriva koji se zasniva na sukcesivnim aproksimacijama destimulira primjenu ovog kriterija to više što ne daje bitno bolje rezultate od heurističkih kriterija koji ujednačavaju EUE.
- (6) Budući da nijedna funkcija cilja nije dala najbolja rješenja s obzirom na sve promatrane pokazatelje, izbor kriterija će ovisiti o zahtjevima i prioritetima u konkretnom EES-u.

Tablica 7. Raspored remonta za primjer 2. (IEEE RTS) za kriterij LOLP(D)

Tjedan	Vršno opter.	Net. rez.	U remontu	Uk. sn. snaga u rem.	Res.	LOLP 10 <sup>-1</sup>	EUE 10 <sup>2</sup>	Troš. gor. 10 <sup>6</sup>
1	2457	948		0	948	0,21319	1,792	0,1841
2	2565	840		0	840	0,50680	5,137	0,2114
3	2502	903		0	903	0,31413	2,914	0,1942
4	2377	1028	50(22)	50	978	0,16328	1,216	0,1735
5	2508	897	50(22), 50(23)	100	797	0,69041	4,836	0,2047
6	2397	1008	197(4), 50(22)	247	761	0,80512	3,395	0,1887
7	2371	1034	197(4)	197	837	0,47151	2,151	0,1798
8	2297	1108	197(4), 76(14)	273	835	0,47948	1,950	0,1713
9	2109	1296	197(4), 100(11), 76(14), 20(24)	393	903	0,26638	0,9571	0,1482
10	2100	1305	400(1), 100(11), 76(14), 20(24)	596	706	0,43598	1,415	0,1750
11	2038	1367	400(1), 197(6), 100(11), 76(15), 20(25)	793	574	1,2002	2,849	0,1783
12	2072	1333	400(1), 197(6), 76(15), 20(25)	693	640	0,72453	1,909	0,1773
13	2006	1399	400(1), 197(6), 76(15), 20(26)	693	706	0,39185	1,191	0,1672
14	2138	1268	400(1), 197(6), 20(26)	617	651	0,66011	1,998	0,1845
15	2055	1350	400(1), 155(7), 155(8)	710	640	0,74315	2,091	0,1741
16	2280	1125	155(7), 155(8)	310	815	0,55999	1,437	0,1652
17	2149	1256	155(7), 155(8)	310	946	0,19037	0,6174	0,1486
18	2385	1020	155(7), 155(8)	310	710	1,1149	5,320	0,1943
19	2480	926	12(28)	12	914	0,28768	3,515	0,1947
20	2508	897	12(28)	12	885	0,36198	4,320	0,2015
21	2440	965	12(29)	12	953	0,20381	2,605	0,1863
22	2311	1094	12(29)	12	1082	0,05502	1,019	0,6605
23	2565	840		0	840	0,50680	6,178	0,2164
24	2528	877		0	877	0,38477	4,560	0,2047
25	2554	851		0	851	0,46659	5,984	0,2143
26	2454	951	155(9)	155	796	0,66235	5,090	0,2000
27	2152	1253	155(9), 76(16)	231	1022	0,09592	0,9658	0,1503
28	2326	1079	155(9), 76(16)	231	848	0,45806	2,840	0,1761
29	2283	1122	155(9), 76(16)	231	891	0,32785	2,203	0,1689
30	2508	897	76(17)	76	821	0,58086	5,500	0,2072
31	2507	1347	350(3), 76(17), 20(27)	446	901	0,12866	0,6201	0,1431
32	2212	1193	350(3), 76(17), 20(27)	446	747	0,5663	1,766	0,1638
33	2280	1125	350(3), 50(19)	400	725	0,68934	1,797	0,1712
34	2078	1327	350(3), 50(19)	400	927	0,09845	0,4946	0,1446
35	2069	1336	400(2), 350(3), 12(30)	762	574	0,65907	2,053	0,1801
36	2009	1396	400(2), 100(12), 50(21), 12(30)	562	834	0,11082	0,6256	0,1624
37	2223	1182	400(2), 100(12), 50(21), 12(31)	562	620	0,94576	2,640	0,1937
38	1981	1424	400(2), 100(12), 50(18), 50(20), 12(31)	612	812	0,14621	0,6744	0,1599
39	2063	1342	400(2), 197(5), 50(18), 50(20), 12(32)	709	633	0,79299	2,291	0,1790
40	2063	1342	400(2), 197(5), 155(10), 12(32)	764	578	1,1570	2,986	0,1820
41	2118	1287	197(5), 155(10), 100(13)	452	835	0,44680	1,158	0,1501
42	2120	1285	197(5), 155(10), 100(13)	452	833	0,45679	1,287	0,1510
43	2280	1125	155(10), 100(13)	255	870	0,37932	1,079	0,1635
44	2511	894		0	894	0,33650	3,201	0,1965
45	2522	883		0	883	0,36815	3,337	0,1982
46	2591	814		0	814	0,60653	5,401	0,2152
47	2679	726		0	726	1,0653	8,408	0,2388
48	2537	869		0	869	0,41076	3,981	0,2029
49	2685	720		0	720	1,1021	8,726	0,2409
50	2765	641		0	641	1,7383	12,40	0,2669
51	2850	555		0	555	2,7531	17,91	0,3026
52	2713	692		0	692	1,3019	9,359	0,2468

Tablica 8. Prikaz sumarnih pokazatelja za primjer 2. (IEEE RTS)

Kriterij	Funkcija cilja	$\sum_{i=1}^{52} R_i$	$\sum_{i=1}^{52} LOLP_i$		$\sum_{i=1}^{52} EUE_i$	Trošk. goriva	Trošk. remon.	Ukupni trošk. M + P
		10 <sup>7</sup> MW <sup>2</sup>	sat/god	dan/g.	10 <sup>4</sup> MWh	\$ 10 <sup>6</sup>	\$ 10 <sup>6</sup>	\$ 10 <sup>6</sup>
Rezerva		3,396 4064	21,116	3,1253	1,8990	9,8050	19,643	29,448
LOLP (D)		3,414 7824	%	3,0583	1,8015	9,7596	19,537	29,297
LOLP (S)		3,428 4352	20,241	%	1,7972	9,7569	19,559	29,316
EUE (1)		3,457 8848	21,745	3,3827	1,7897	9,7510	19,205	28,957
EUE (2)		3,457 2144	21,730	3,3818	1,7888	9,7506	19,206	28,954
Troškovi goriva		3,449 9328	21,042	3,2953	1,7802	9,7464	19,254	29,000
Troškovi remonta		3,473 0156	22,975	3,5385	1,8168	9,7660	19,114	28,880

## 5.0. ZAKLJUČAK

Razvijena je i testirana metoda za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama EES-a. Ovisno o željama korisnika metoda može da funkcioniše kao heuristička metoda, linearno 0-1 programiranje ili kao metoda sistematskog pretraživanja zasnovanog na sukcesivnim aproksimacijama. Metoda može koristiti sljedeće funkcije cilja:

- maksimiziranje pouzdanosti rada EES-a (5 kriterija)
- minimiziranje troškova goriva (1 kriterij)
- minimiziranje troškova remonta (1 kriterij).

Predložen je niz heurističkih pravila:

- pravilo za ujednačavanje rezerve
- pravilo za ujednačavanje LOLP-a (s obzirom na satno opterećenje i s obzirom na dnevno vršno opterećenje)
- pravilo za ujednačavanje EUE-a (2 verzije)
- pravilo za planiranje remonta hidroagregata.

Izbor kriterija ovisi o prilikama i situaciji u svakom konkretnom EES-u.

Testiranja na IEEE RTS-u pokazala su da razvijena metoda može biti vrlo efikasno sredstvo za planiranje rasporeda remonta agregata EES-a. Prednosti metode su ove.

1. U razmatranje se uzimaju u obzir energetske-ekonomski pokazatelji EES-a, kao što su LOLP, EUE, rezerva, troškovi goriva i troškovi remonta.
2. Zahtjevi i prilike u EES-u uzimaju se u obzir putem ograničenja.
3. Metoda garantira pronalaženje dopustivog rješenja ako makar jedno takvo rješenje postoji.
4. Hidroagregati su uključeni u razmatranje.
5. Uvažava se interkonekcija sa susjednim sustavima.
6. Vrijeme trajanja proračuna je prihvatljivo.
7. Univerzalnost metode; objedinjuje mogućnosti heurističkog algoritma, linearnog 0-1 programiranja i metode sistematskog pretraživanja zasnovane na sukcesivnim aproksimacijama.
8. Proširena metoda kumulata je sastavni dio metode.
9. Uspoređivanje je pokazalo da predložena metoda, u istim uvjetima, daje bolje rezultate od metode [6].

## LITERATURA

- [1] H. POŽAR: »Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima«, Informator, Zagreb 1983.
- [2] B. UDOVIČIĆ: »Elektroenergetika«, Školska knjiga, Zagreb 1983.
- [3] S. FUŠTAR: »Optimalni raspored remonta termoagregata u godišnjoj bilanci«, *Energija* br. 5, 1984. pp. 377-395.
- [4] J. F. DOPAZZO, H. M. MERRILL: »Optimal Maintenance Scheduling Using Integer Programming«, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS — 94, No. 5, September/October 1975, pp. 1537-1545.

- [5] Z. A. YAMAYEE: »Maintenance Scheduling: Description, Literature Survey, and Interface with overall Operations Scheduling«, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-101, No. 8, August 1982, pp. 2770-2779.
- [6] R. BILLINTON, F. A. EL-SHEIKHI: »Preventive Maintenance Scheduling in Power Generation Systems Using a Quantitative Risk Criterion«, *Can. Elec. Eng. J.*, Vol. 8, No. 1, 1983, pp. 28-39.
- [7] F. A. SHEIKHI, R. BILLINTON: »Generating Unit Maintenance Scheduling for Single and Two Interconnected Systems«, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-103, No. 5, May 1984, pp. 1038-1044.
- [8] H. H. ZURN, V. H. QUINTANA: »Generator Maintenance Scheduling via Successive Approximation Dynamic Programming«, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-94, March/April 1975, pp. 665-671.
- [9] Z. YAMAYEE, K. SIDENBLAD: »A Computationally Efficient Optimal Maintenance Scheduling Method«, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-102, No. 2, February 1983, pp. 330-338.
- [10] Reliability test system Task Force of the Application of Probability Methods Subcommittee, »IEEE Reliability Test System«, *IEEE PES Winter Meeting*, New York, NY, February 4-9, 1979.
- [11] J. P. STREMEL, N. S. RAU: »The Cumulant Method of Calculating LOLP«, *IEEE PES Summer Meeting*, Vancouver, Canada, July 15-20, 1979, Paper No A79 506-7.
- [12] J. P. STREMEL, R. T. JENKINS, R. A. BABB, W. D. BAYLESS: »Production Costing Using the Cumulant Method of Representing the Equivalent Load Curve«, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-99, No. 5, Sept/Oct 1980, pp. 1947-1955.

### DEVELOPMENT OF HEURISTIC METHOD FOR DETERMINATION OF MAINTENANCE SCHEDULE FOR PP's

In the article is described a heuristic method for determination of TPP's and HPP's maintenance schedule. The method can be applied as linear 0-1 programming or as systematical searching. Defined are unknowns, constraints and target function. Heuristic rules for determination of maintenance schedule are presented for several criteria.

### ENTWICKLUNG DER HEURISTISCHEN METHODE ZUR BESTIMMUNG DER ÜBERHOLUNGSARBEITEN DER AGGREGATE IN KRAFTWERKEN

Hier wird die heuristische Methode zur Bestimmung der Überholungsarbeiten der Thermo und Hydroaggregate in EE Kraftwerken beschrieben. Diese Methode kann auch als lineares 0-1 Programmieren und als Methode einer organisierten Untersuchung funktionieren. Es wurden unbekannte Größen, Beschränkungen und Funktionen des Zieles definiert. Heuristische Regeln zur Bestimmung der Reihenfolge der Überholungsarbeiten wurden explizite an einer Reihe von Kriterien präsentiert.

### СТАНОВЛЕНИЕ ЭВРИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСПОРЯДКА РЕМОНТА АГРЕГАТОВ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Описан эвристический метод определения распорядка ремонта тепловых и гидравлических агрегатов на электростанциях ЭЭС. Метод может функционировать и как линейное 0-1 программирование и как метод организованного обследования. Даны определения неизвестных, ограничения и целевые функции. Эвристические правила определения распорядка ремонта ясно представлены для ряда критериев.

Naslov pisca:

**Dr. Stipe Fuštar, dipl. inž.**  
**Fakultet elektrotehnike,**  
**strojarstva i brodogradnje**  
**58000 Split, Rudera Boškovića bb,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis  
 1989-10-02

# DOPRINOS PRORAČUNU OPTEREĆENJA U NISKONAPONSKOJ MREŽI

Mr. Ernest Mihalek, Zagreb

UDK 621.316.11

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Ukratko je prikazan način proračuna opterećenja u NN-mreži do danas i suvremenijim načinom i pomoću kompleksnijih normativa opterećenja za kućanstva. Izveden je točni teorijski i praktični izraz za proračun složenog konzuma kućanstva. Objašnjena je razlika pristupa proračunu za dimenzioniranje dijelova mreže i proračunu gubitka (pada) napona. Priloženo je nekoliko primjera proračuna.

**Ključne riječi:** NN-mreže, složeni konzum, proračun gubitka napona.

## 1. OPĆENITO

Proračun opterećenja u javnoj NN-mreži, koja napaja uglavnom široku potrošnju, nije još kod nas jedinstveno riješen. Uglavnom je, barem do danas, bilo uobičajeno da se na neki način odredi vršno opterećenje pojedinog potrošača, a za grupu potrošača, koja se priključuje na isti niskonaponski izvod zatim aplicira faktor istodobnosti, ovisan o njihovom broju. U tom smislu poznat je tzv. Rusckov faktor istodobnosti koji je ovaj autor razvio na temelju pretpostavki o statističkom karakteru pojave opterećenja malog potrošača (kućanstva).

Služeći se mjerenjem u mreži dokazao je da se ovakvi potrošači ponašaju po tzv. normalnoj statističkoj razdiobi, pa njegov izraz za faktor istodobnosti glasi [1]:

$$k_n = k_\infty + (1 - k_\infty) \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Prema tome ovaj je faktor funkcija dviju veličina, i to

$$k_\infty = \text{faktor istodobnosti za vrlo velik broj potrošača jednak je omjeru } k_\infty = P_o / P_m \text{ tj. srednje i maksimalne vrijednosti opterećenja od »n« normalno distribuiranih jednakih opterećenja potrošača}$$
$$n = \text{broj potrošača.}$$

Nadalje se opterećenje u mreži (misli se na vršno opterećenje) dobije tako da se koristi sljedeći izraz:

$$P_{vk} = k_n \cdot n \cdot P_{vl} \quad (\text{kW}). \quad (2)$$

Tu je  $P_{vl}$  vršno opterećenje pojedinog tipičnog potrošača (kućanstva) koje je dobiveno proračunom koji općenito nije standardiziran.

Najčešće se do ove veličine dolazi na taj način da se izračuna prosječna instalirana snaga tipičnog kućanstva i odredi njegovo maksimalno opterećenje uvođenjem tzv. faktora potražnje:

$$P_{vl} = f_p \cdot P_{inst} \quad (\text{kW/kuć}). \quad (3)$$

Faktor potražnje određivan je iz iskustva ili mjerenjem kod potrošača.

Na ovakvom načinu proračuna bazirali su se poznati normativi iz [2], koji su u međuvremenu zastarjeli. Novi normativi na bazi adekvatnog proračuna nisu doneseni, nego su pojedine distributivne organizacije, samo za svoje potrebe, određivale nove veličine vršnih opterećenja pojedinih tipova kućanstava i ostalih potrošača. Tako smo danas došli do toga da u Hrvatskoj nemamo jedinstvenih normativa potrošnje ili barem jedinstvenih tablica za ovakve proračune.

## 2. SUVREMENI OBLIK NORMATIVA POTROŠNJE KUĆANSTVA

Osnovna ideja za točan proračun potječe svakako od samog Ruscka, koji je u istom citiranom radu izveo izraz za istodobno vršno opterećenje grupe malih potrošača koji (izraz) proizlazi iz promatranja normalne razdiobe i koji glasi (uz uniformnu raspodjelu vjerojatnosti pojave svakog trošila):

$$R = n \cdot P_0 + (P - P_0) \cdot \sqrt{n}. \quad (4)$$

Za određivanje opterećenja ovakve grupe treba znati, dakle, srednje i maksimalno opterećenje, tj.  $P_0$  i  $P_m$  pojedinog tipskog potrošača iz normalne raspodjele (tj. srednje i maksimalno opterećenje od »n« normalno distribuiranih jednakih opterećenja). Drugačije rečeno, ako poznamo te dvije veličine, dobili smo konkretan izraz za opterećenje homogene grupe tipskih potrošača, tj. njihov »normativ« za daljnji proračun. Postavlja se, dakle, pitanje kako se određuju te dvije veličine a da bi postupak bio što točniji, pregledan i prihvatljiv?

Uobičajen postupak počinje od anketiranja potrošača, pa se anketom snima sljedeće:

- podatak o godišnjoj potrošnji električne energije
- broj i vrsta aparata u kućanstvu
- veličina stana, broj članova kućanstva i sl.

Prosječna potrošnja svakog zastupljenog aparata računa se metodom deferenciranja. Ovo u pravilu znači da se iz osnovnog anketiranog skupa izdvajaju dva podskupa kućanstva: jedan se od drugog razlikuju samo za neki određeni aparat. Usporedbom ova dva podskupa dobije se niz različitih potrošaka iz kojeg (niza) se odredi prosječan potrošak ( $W$ ) tog diferenciranog aparata.

Često je pogodnije da se koriste drugi postupci, npr. mjerenje potrošaka pojedinih aparata ili simulacija i sl.

Odavde se zatim jednostavno određuje vjerojatnost upotrebe pojedinog aparata dijeljenjem njegove godišnje potrošnje i maksimalno moguće godišnje potrošnje:

$$p = W / (P_{ia} \cdot 8760), \quad (5)$$

gdje je  $P_{ia}$  — instalirana snaga promatranog aparata (trošila).

Pomoću te veličine ( $p$ ) relativno jednostavno se računaju karakteristične vrijednosti iz normalne razdiobe, kako ćemo nadalje vidjeti. Naime, uz pretpostavku da je vjerojatnost upotrebe pojedinog aparata u granicama ([3] koju citiramo u širem izvodu, da bi se dobilo na preglednosti za kasnija razmatranja):

$$\frac{1}{n+1} < p < \frac{n}{n+1}, \quad (6)$$

kao i da vrijedi da je

$$n \cdot p \cdot (1-p) < 9 \quad (7)$$

(gdje je  $n$  = broj istovrsnih aparata),

onda se binomna raspodjela, po kojoj se događa ukapčanje aparata, može aproksimirati normalnom. Pojedine karakteristične vrijednosti normalne razdiobe mogu se u tom slučaju odrediti kao u binomnoj, tj:

$$\mu = n \cdot p \quad i \quad \sigma^2 = n \cdot p \cdot (1-p). \quad (8)$$

To znači da se, nadalje, prosječno opterećenje grupe istovrsnih aparata i srednje kvadratno odstupanje može odrediti iz izraza kao u [3]:

$$P_{asr} = p_{ia} \cdot n \cdot p \quad \text{kW} \quad (9)$$

$$\sigma^2 = P_{ia}^2 \cdot n \cdot p \cdot (1-p) \quad \text{kW}^2. \quad (10)$$

Opterećenje svih grupa pojedinih aparata (odnosno opterećenje promatrane grupe kućanstva) dobije se korištenjem poznatog adicionog teorema za normalne razdiobe koji kaže da ako zbrojimo više normalno raspodijeljenih nezavisnih komponenti (ovdje opterećenja), rezultatna krivulja će opet biti u obliku normalne raspodjele. Ako su nezavisne varijable  $x_1$  i  $x_2$  distribuirane po normalnim razdiobama ( $N_1(\mu_1, \sigma_1^2)$  i  $N_2(\mu_2, \sigma_2^2)$ ), onda je varijabla  $x_1 + x_2$  distribuirana po normalnoj razdiobi u obliku  $N(\mu_1 + \mu_2, \sigma_1^2 + \sigma_2^2)$ . Odatle je neka linearna kombinacija nezavisnih normalnih varijabli:

$$a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_k \cdot x_k \quad (11)$$

također raspoređena po zakonu normalne razdiobe, i to s očekivanjem

$$\mu_z = a_1 \cdot \mu_1 + a_2 \cdot \mu_2 + \dots + a_k \cdot \mu_k$$

i varijancom

$$\sigma_z^2 = a_1^2 \cdot \sigma_1^2 + a_2^2 \cdot \sigma_2^2 + \dots + a_k^2 \cdot \sigma_k^2, \quad (12)$$

gdje su  $a_1, a_2$  do  $a_k$  proizvoljne konstante.

Dakle, odavde je srednje opterećenje i varijanca opterećenja grupe kućanstava:

$$P_{gsr} = P_{ia1} \cdot n_1 \cdot p_1 + P_{ia2} \cdot n_2 \cdot p_2 + \dots + P_{iak} \cdot n_k \cdot p_k \quad (\text{kW}) \quad (13)$$

$$\sigma_g^2 = P_{ia1}^2 \cdot n_1 \cdot p_1 \cdot (1-p_1) + \dots + P_{iak}^2 \cdot n_k \cdot p_k \cdot (1-p_k) \quad (\text{kW}^2) \quad (14)$$

Ako se analizira »n« tipičnih kućanstava koja sva imaju »k« jednakih aparata (po broju i vrsti), onda se može nadalje pisati:

$$P_{gsr} = n \cdot \sum_{j=1}^k P_{iaj}^2 \cdot p_j \quad (15)$$

$$\sigma_g^2 = n \cdot \sum_{j=1}^k P_{iaj}^2 \cdot p_j \cdot (1-p_j) \quad (16)$$

Uz vjerojatnost od 99.73% da ne bude premašeno, vršno opterećenje grupe kućanstava iznosi općenito:

$$P_g = P_{gsr} + 3 \cdot \sigma_g. \quad (17)$$

Kad se uvrste prijašnje vrijednosti, dobivamo za opterećenje ove grupe:

$$P_g = \sum_{j=1}^k P_{iaj} \cdot n_j \cdot p_j + 3 \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^k P_{iaj}^2 \cdot n_j \cdot p_j \cdot (1-p_j)} \quad (18)$$

odnosno, ako ovaj izraz svedemo na osnovni Rusckov, dobivamo da pojedine veličine imaju sljedeće vrijednosti:

$$P_o = \sum_{j=1}^k P_{iaj} \cdot p_{iaj} \cdot i$$

$$P_m - P_o = 3 \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^k P_{iaj}^2 \cdot p_j \cdot (1-p_j)} \quad (19)$$

Na taj način moguće je jednostavnim računskim postupkom izračunati normative opterećenja kućanstva s bilo kakvim izborom aparata. Ako vrijednosti označimo kao npr:

$$P_o = A \quad i \quad P_m - P_o = B, \quad (20)$$

dobivamo opći oblik normativa opterećenja koji je predložio i autor u [3]:

$$P_{vn} = A \cdot n + B \cdot \sqrt{n}. \quad (21)$$

Odavde se za svaki tip kućanstva vrlo lako odredi istodobno vršno opterećenje grupe s »n« kućanstava bez posebnog proračuna ili poznavanja faktora istodobnosti, dakako ako su prethodno određene na navedeni način konstante  $A$  i  $B$ . Tako je u [4] predložen niz normativa potrošnje za gradski i seoski konzum ovisno o karakterističnim aparatima primjenjenim u danom standardu potrošnje. Svaki od ovih standarda označen je karakterističnom oznakom, npr. gradska kućanstva sa GA i GB, a seoska sa SA i SB, kao i određenom brojčanom oznakom, tako da možemo imati standard GA1, GA2 itd. kao i GB1, GB2 itd., a analogno je i sa seoskim SA1, SA2, ..., SB1, SB2 itd.

Niz normativa u [4] predložen je za opću namjenu, kao i za proračun opterećenja u perspektivi (budućnosti). Budući da se konzum kućanstava s vremenom mijenja (mijenja se broj aparata, njihov specifični potrošak, uvode se novi aparati i sl.), treba stalnim analizama i anketama pratiti promjenu vrijednosti karakterističnih konstanti  $A$  i  $B$  pojedinog tipa standarda.

### 3. PRORAČUN OPTEREĆENJA U NN-MREŽI KOD HOMOGENOG SASTAVA POTROŠNJE

Ako je u području zahvata NN-mreže prisutan samo jedan tip kućanstva, onda govorimo o homogenom sastavu potrošnje (konzuma). Za proračun opterećenja u takvoj mreži dovoljan je izraz (19) odnosno poznavanje karakterističnih konstanti jednoga tipičnog kućanstva. Proračun opterećenja vrši se posebno za svaki promatrani skup, npr. za izvod (strujni krug) ili za opterećenje transformatorske stanice koja obuhvaća više izvoda i sl.

### 4. PRORAČUN OPTEREĆENJA U NN-MREŽI KOD SLOŽENOG SASTAVA POTROŠNJE

Pod složenim sastavom potrošnje smatra se slučaj kada na području koji napaja NN-mreža postoji više grupa različitih tipova kućanstava. Svaka od tih grupa, koje ne moraju nužno biti okupljene na jednom mjestu, ponaša se prema normalnoj razdiobi. Imamo, dakle, više (tj. »m«) unutar sebe homogenih nezavisnih grupa čija su opterećenja općenito:

$$\begin{aligned} P_{vn1} &= A_1 \cdot n_1 + B_1 \cdot \sqrt{n_1} \\ P_{vn2} &= A_2 \cdot n_2 + B_2 \cdot \sqrt{n_2} \\ &\dots\dots\dots \\ P_{vnm} &= A_m \cdot n_m + B_m \cdot \sqrt{n_m} \end{aligned} \quad (22)$$

Kombiniranjem više grupa kućanstava nastaje, prema adicioneom teoremu za normalnu razdiobu, složeni sastav koji se opet ponaša prema normalnoj razdiobi. Za nju također vrijedi da uz vjerojatnost od 99.73% neće biti premašeno vršno opterećenje od

$$P_{vm} = \mu = \mu_r + 3 \sigma_r \quad (23)$$

Dalje, vrijedi da je srednja vrijednost rezultatne raspodjele:

$$\mu_r = \sum_{i=1}^m A_i \cdot n_i \quad (24)$$

Za standardnu devijaciju rezultatnog skupa znamo da vrijedi:

$$\sigma_r = \sqrt{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2} \quad (25)$$

a kako je

$$3 \cdot \sigma_i = B_i \cdot \sqrt{n_i}$$

odnosno:

$$\sigma_i = (B_i \cdot \sqrt{n_i})/3, \quad (26)$$

onda vrijedi kad se uvrsti (25) da je:

$$\sigma_r = \frac{1}{3} \sqrt{\sum_{i=1}^m B_i^2 \cdot n_i}$$

odnosno na kraju

$$3 \cdot \sigma_r = \sqrt{\sum_{i=1}^m B_i^2 \cdot n_i} \quad (27)$$

Konačno, za složeni sastav potrošnje kućanstava dobivamo izraz za proračun rezultatnog vršnog opterećenja ako poznamo parametre » $A_i$ «, » $B_i$ « i » $n_i$ « pojedinih nezavisnih homogenih grupa potrošača:

$$P_{vm} = \sum_{i=1}^m A_i \cdot n_i + \sqrt{\sum_{i=1}^m B_i^2 \cdot n_i} \quad (28)$$

### 5. OSTALI POTROŠAČI U NN-MREŽI

Ostali potrošači koji se mogu naći u području napajanja NN-mreže obuhvaćaju se jednostavnim postupkom. Potrebno je poznati njihovo pojedinačno vršno opterećenje i faktor istodobnosti ( $f_{o1}$  do  $f_{oz}$ , ako ima »z« ostalih potrošača) u odnosu na pretežni dio kućanstava. Tako će se u slučaju ostalih potrošača (npr. servisi, trgovine, kiosci i sl.) prethodno izračunatom opterećenju kućanstava dodati opterećenje:

$$P_{vo} = P_{o1} \cdot f_{o1} + P_{o2} \cdot f_{o2} + \dots + P_{oi} \cdot f_{oi} = \sum_{i=1}^z P_{oi} \cdot f_{oi} \quad (29)$$

gdje su  $P_{o1} \dots P_{oz}$  pojedinačna vršna opterećenja ostalih potrošača.

Ako su ostali potrošači slični po načinu potrošnje, može se prethodni izraz jednostavnije računati kao (tj.  $f_{o1} = f_{o2} = \dots = f_o$ ):

$$P_{vo} = f_o \cdot (P_{o1} + P_{o2} + \dots + P_{ok}) = f_o \cdot \sum_{i=1}^z P_{oi}$$

Time je sveukupno vršno opterećenje u NN-mreži određeno izrazom

$$P_{vu} = P_{vm} + P_{vo} \quad (30)$$

### 6. PRORAČUN OPTEREĆENJA ZA PRORAČUN GUBITKA NAPONA

Svi prethodni proračuni vrijede za proračun vršnih opterećenja, dakle za dimenzioniranje vodiča, transformatora, osigurača i sl., i to za bilo koju grupu potrošača koja nas zanima (npr. za cijeli izvod ili odvojak ili neku dionicu na vodu i sl.).

Ne treba zaboraviti da spomenuti način proračuna nije primjenjiv kad računamo opterećenje za proračun gubitka (pada) napona.

Načinom na koji se računaju opterećenja za dimenzioniranje mreže, ustvari računamo najveća vjerojatna opterećenja u nekom momentu u danom dijelu mreže. Međutim, u istom tom trenutku nije vjerojatno da će se istodobno pojaviti jednako takvo maksimalno opterećenje i u nekom drugom dijelu mreže.

I premda promatrani dio mreže ima gubitak napona proporcionalan velikom opterećenju na tom dijelu — ostali dio mreže to s nekom vjerojatnošću kompenzira, dakle najvjerojatnije je podopterećen. Kad bi se proračun opterećenja za gubitak napona provodio kao za dimenzioniranje mreže, lako se može uočiti da bi to dovelo do toga da bi se istovremeno u istom čvoru mreže izračunale dvije ili više vrijednosti gubitka napona, a pritom ne bi odgovarale ni sume gubitaka napona duž karakterističnih staza. Dakako u tom bi slučaju izračunati gubici napona bili vrlo veliki, što za posljedicu ima predimenzioniranje mreže. Stoga je za proračun najvjerojatnijeg gubitka napona logično pretpostaviti da su opterećenja u svim čvorovima odnosno dijelovima mreže prosječna.

Kod **homogenog sastava potrošnje** opterećenje se jednostavno raspoređi pridavanjem svakom potrošaču prosječnog opterećenja od:

$$P_{v1} = (A \cdot n + B \cdot \sqrt{n}) n. \quad (31)$$

Ostali potrošači se uzimaju prema svom vršnom opterećenju  $P_o$  i faktoru istodobnosti:

$$P_{voi} = P_{oi} \cdot f_{oi}. \quad (32)$$

Međutim, kod **složenog sastava potrošnje** trebalo bi postupiti na sljedeći način:

- odrediti vršno opterećenje svake grupe kućanstava ( $P_n$ ) nezavisno pomoću izraza (21)
- odrediti ukupno vršno opterećenje kućanstava na nivou koji se promatra ( $P_{vm}$ ) — pomoću izraza (28)
- odrediti prosječno opterećenje jednog kućanstva svođenjem na zajedničko opterećenje pomoću izraza (za  $i$ -tu grupu potrošača):

$$P_{vli} = \frac{P_{ni}}{n_i \sum_{j=1}^k P_{nj}}, \quad (33)$$

gdje je:

$P_{ni}$  — nezavisno vršno opterećenje svake ( $i$ -te) grupe s » $n_i$ « potrošača (kućanstava)

$P_{vm}$  — zajedničko vršno opterećenje svih grupa

$\sum_{j=1}^k P_{nj}$  — zbroj opterećenja svih nezavisnih grupa

$k$  — broj grupa kućanstava

- ostali potrošači se uzimaju kao i kod homogenog konzuma.

## 7. PRORAČUN OPTEREĆENJA U POČETKU POGONA NN-MREŽE

Svi navedeni proračuni opterećenja pomoću normativa daju opterećenja u perspektivnoj mreži, tj. na kraju pogona NN-mreže. Budući da je potrebno izabrati veličinu transformatora i uloška osigurača i na početku pogona mreže, onda će se opterećenje na početku izračunati iz perspektivnog, i to:

$$P_{v0} = \frac{P_v}{\left(1 + \frac{s}{100}\right)^g}, \quad (34)$$

gdje je:

$P_v$  — vršno opterećenje na kraju — izračunato pomoću normativa,

$s$  — prosječna procijenjena stopa porasta opterećenja,

$g$  — broj godina života NN-mreže.

## 8. PRIMJERI PRORAČUNA U NN-MREŽI

### 8.1. Proračun opterećenja homogene grupe potrošača (kućanstava)

Na izvodu neka ima npr. 36 kućanstava standarda »GB 2«, za koji vrijede sljedeće konstante:  $A=2.0$  i  $B=4.5$

Najveće očekivano opterećenje prema izrazu (21) jest:

$$P_{vn} = 2.0 \cdot 36 + 4.5 \cdot \sqrt{36} = 99.0 \text{ kW}.$$

### 8.2. Složeni sastav potrošnje

Na području NN-izvoda neka imamo dvije grupe kućanstava različitog standarda, i to:

1. grupa standarda SB 3,  $n_1=20$ ,  $A_1=1.5$ ,  $B_1=5.0$
2. grupa standarda SB 5,  $n_2=30$ ,  $A_2=0.4$ ,  $B_2=1.2$ .

Rezultantno najveće očekivano opterećenje je prema (28):

$$P_{vm} = 1.5 \cdot 20 + 0.4 \cdot 30 + \sqrt{5.0^2 \cdot 20 + 1.2^2 \cdot 30} = 65.3 \text{ kW}.$$

### 8.3. Priprema podataka za proračun gubitaka napona

Za slučaj homogenog konzuma kao u prvom primjeru (8.1) udio jednog potrošača računa se jednostavno kao

$$P_{v1} = P_{vn}/n = 99.0/36 = 2.75 \text{ kW/kuć}.$$

Kod složenog konzuma postupak je drugačiji, i to (npr. kao u 8.2):

- I. Zajedničko vršno opterećenje je  $P_v = 65.3 \text{ kW}$ .
- II. Opterećenje pojedinih nezavisnih grupa iznosi:
  1. grupa:  $P_{vn1} = 1.5 \cdot 20 + \sqrt{20} = 52.36 \text{ kW}$
  2. grupa:  $P_{vn2} = 0.4 \cdot 30 + 1.2 \cdot \sqrt{30} = 18.57 \text{ kW}$ .
- III. Prosječno opterećenje kućanstva iz 1. grupe je:
 
$$P_{v11} = \frac{52.36}{20 \cdot (52.36 + 18.57)} \cdot 65.3 = 2.41 \text{ kW/kuć}.$$
- IV. Prosječno opterećenje kućanstva iz 2. grupe je:
 
$$P_{v12} = \frac{18.57}{30 \cdot (52.36 + 18.57)} \cdot 65.3 = 0.57 \text{ kW/kuć}.$$

Ove se vrijednosti opterećenja pridaju čvorovima potrošača ili se njima računaju prosječna opterećenja odvojaka i dionica kod pripreme podataka za proračun gubitka napona.

### 8.4. Opterećenje izvoda na početku pogona

Neka je

— trajanje života NN mreže  $g=20$  god.

— prosječna stopa porasta opterećenja  $p=2\%$ .

Ako je npr. opterećenje na kraju  $P_v = 99.0 \text{ kW}$ , onda na početku imamo:

$$P_{v0} = \frac{99.0}{1.02^{20}} = \frac{99.0}{1.486} = 66.6 \text{ kW}.$$

## 9. ZAKLJUČAK

U radu je izveden izraz za točni proračun opterećenja složenog konzuma koji se do sada nije koristio. Općenito se mora kazati da je način proračuna konzuma prema normativima kako su predloženi u [3] samo za sebe nov postupak. Primjenom ovakvih normativa izbjegavaju se u najvećoj mjeri greške u ocjeni konzuma ili faktora istodobnosti pri projektiranju



NN-mreža. Međutim, kad su nam poznati normativi potrošnje na nekom analiziranom području, moguće je točno izračunati i opterećenje bilo kojeg dijela mreže a da ne bude spornih momenata u matematičkom smislu. U članku je dan primjer proračuna miješanog konzuma od samo dvije (unutar sebe homogene) grupe kućanstva, ali je matematički obrazac primjenjiv na neograničen broj nezavisnih homogenih grupa.

Kako se u projektiranju sve više koristimo kompjutorima, kojima se mogu efikasno vršiti proračuni za sve točke u mreži, onda se uz njihovu brzinu mora inzistirati i na točnosti. Tu se posebno misli na pripremu podataka za proračun opterećenja, kao i za proračun gubitka napona. U tom smislu opisana metoda proračuna odgovara ovakvoj namjeni, iako se može koristiti i na klasični način. Osim toga, i izbor normativa opterećenja, kao i način proračuna moguće je vrlo jednostavno tipizirati, što bi i trebalo biti krajnji cilj. Jasno je da nadalje sve dosadašnje »ručne« metode sa šarolikim odabirom specifičnog opterećenja kućanstva i faktora istodobnosti ovome načinu ne mogu u dovoljnoj mjeri udovoljiti, pa bi ih trebalo napustiti.

#### LITERATURA

- [1] S. RUSCK, »The Simultaneous Demand in Distribution Network Supplying Domestic Consumers«, Asea Jou. 1956.
- [2] M. BALLING, »Energetske podloge za dimenzioniranje distributivnih mreža«, Energija 7–8/1962.
- [3] R. SCHENNER, »Rješenje elektrodistributivne mreže 110 i 30 kV grada Zagreba do 2000. g. — Normativi opterećenja i potrošnje električne energije«, Institut za elektroprivredu — Zagreb, Zagreb, 1980.
- [4] E. MIHALEK i dr., »Upute za projektiranje NN mreža«, Institut za elektroprivredu — Zagreb, Zagreb, 1989.

#### A CONTRIBUTION TO LOAD CALCULATION IN LV NET

In the article is briefly presented a method for load calculation in LV net based on modern principals and complex standards for household loads. It is derived exact theoretical and practical expression for calculation of complex households loads. It is also explained a different approach to calculation of partial net capacity and voltage drops. Some examples are presented.

#### BEITRAG ZUR BERECHNUNG DER BELASTUNG IM NIEDERFREQUENZNETZ

Zusammenfassend wird hier die Berechnungsweise der Belastung im Niederspannungsnetz bis heute — auf eine modernere Weise und mit Hilfe komplexerer Belastungsnormative für Haushalte geschildert. Es wurde der genaue theoretische und praktische Ausdruck für die Berechnung des komplizierten Haushaltskonsums ausgeführt. Hier erklärt man den Unterschied zwischen der Methode der Berechnung des Dimensionierens der Netzteile und der Berechnung des Spannungsfalls. Es wurden auch einige Beispiele der Berechnung beigelegt.

#### ВКЛАД РАСЧЕТУ НАГРУЗОК СЕТИ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Вкратце изложен способ расчета нагрузок сети низкого напряжения, применявшийся доныне, и сравнивается с более современным, выполняемым при помощи комплексных нормативов нагрузки домашнего хозяйства. Выведены точные теоретические и практические выражения расчета сложного потребления домашнего хозяйства. Объяснено различие подхода к расчету определения размеров частей сети и к расчету потери (падения) напряжения.

Naslov pisca:

**Mr. Ernest Mihalek, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb,**  
**Proleterskih b. 37, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis  
1989–08–24

# 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

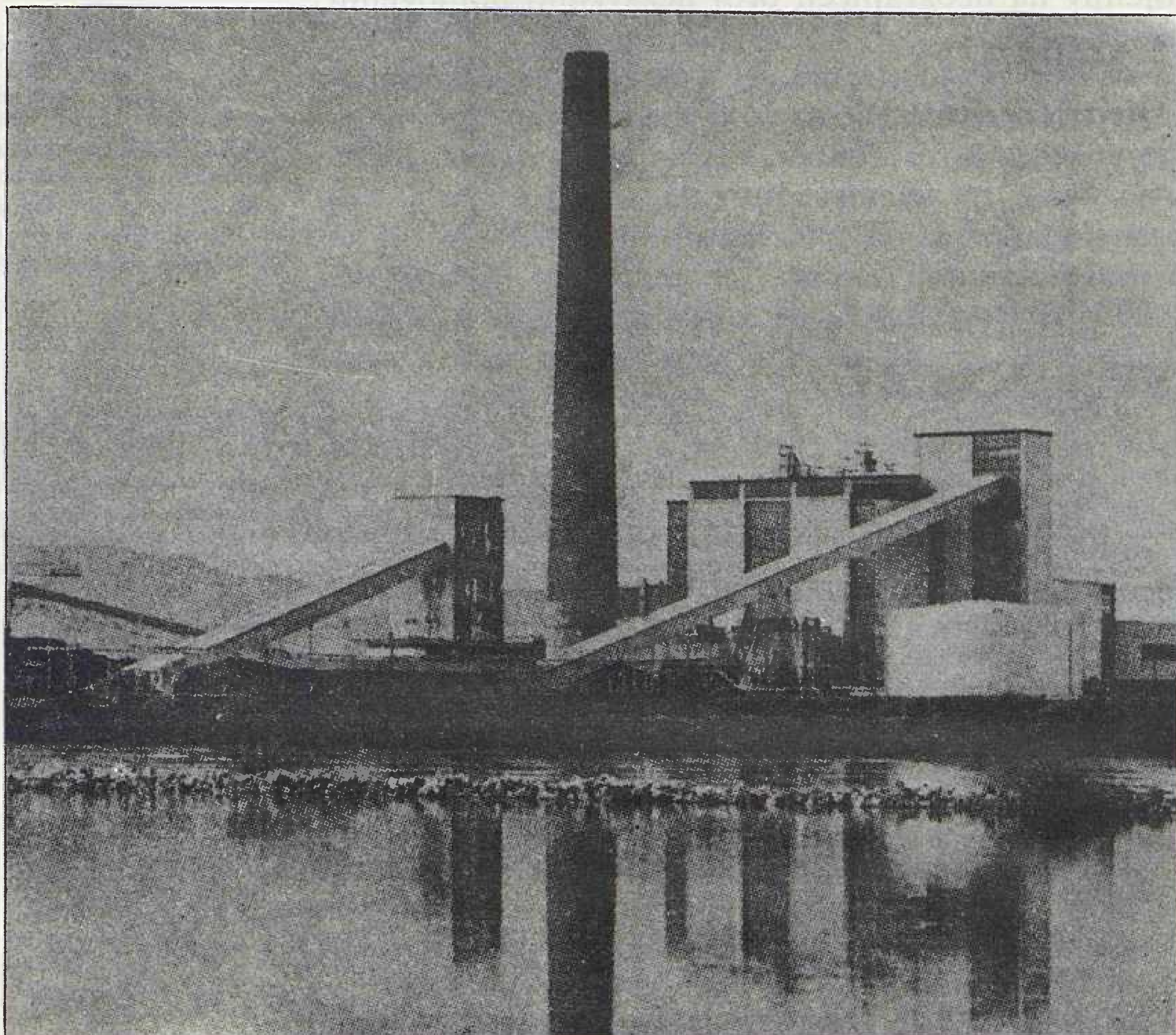
## Projektira

## 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 • hidrofere • rashladnike • zagrijače itd.

### ARMATURE

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

### ELEMENTE ENERGETSKIH UREĐAJA

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

### OPREMU ZA TEHNOLOŠKE PROCESSE

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

### PRIBORE

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

### SERVISIRANJE ENERGETSKIH POSTROJENJA

REKONSTRUKCIJE ENERGETSKIH POSTROJENJA  
LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

defektoskopska • kemijska • metalografska • mehanička itd.

### ATESTACIJU ZAVARIVAČA

RAZVOJNA ZNANSTVENA ISTRAŽIVANJA

# ISPITIVANJE ODREĐENIH REOLOŠKIH I FIZIČKO-HEMIJSKIH OSOBINA BITUMENSKO-RADIOAKTIVNIH OTPADNIH SMEŠA, DOBIJENIH ŠARŽNIM PROCESOM IMOBILIZACIJE RAO MATERIJALA SREDNJEG NIVOA AKTIVNOSTI

Aleksandar Perić — Ilija Plećaš — Andreja Kostadinović, Beograd

UDK 621.039.8

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U ovom radu prikazuje se primenjeni postupak imobilizacije i rezultata ispitivanja određenih reoloških i fizičko-hemijskih osobina uzoraka bitumensko-jonoizmenjivačkih smolnih smeša. Uzroci su dobijeni šaržnim postupkom imobilizacije simuliranog i realnog radioaktivnog otpadnog materijala, srednjeg nivoa aktivnosti. Metode ispitivanja su definisane jugoslovenskim i međunarodnim standardima.

**Ključne reči:** bitumen, solidifikacija, imobilizacija, RAO, šaržni postupak, matriksni medij, izluživanje, penetracija.

## UVOD

Korišćenje bitumena kao matriksnog medija za imobilizaciju radioaktivnog otpadnog (RAO) materijala niskog i srednjeg nivoa aktivnosti započeto je u IBK-Vinča u okviru programa trajnog odlaganja ovih materijala u budućem centralnom skladištu RAO materijala.

Preliminarna ispitivanja, vođena na šaržnom postrojenju sa kontinualnim uvođenjem RAO materijala, omogućila su razvijanje procesa bitumenizacije kao konkurentnog postupka u imobilizaciji RAO materijala niskog i srednjeg nivoa aktivnosti, a pre svih istrošenih jonoizmenjivačkih (J. I.) medija (J. I. smola) [1].

Osnovni zahtevi koji se postavljaju pred izabrani proces imobilizacije RAO materijala i RAO solidifikat jesu: dovoljno nizak nivo izluživanja najznačajnijih radionuklida iz bituminizirane-RAO forme, sa stanovišta bezbednog impakta RAO solidifikata sa spoljašnjim okruženjem ( $A_n/A_o < 0,1\%$ ), kao i pokušaj da se reološke osobine solidifikata zadrže ili poboljšaju u odnosu na matriksni materijal.

## IZBOR ULAZNIH KOMPONENTI U PROCES BITUMENIZACIJE

Kao matriksni mediji su korišćeni domaći bitumeni dobiveni u redovnoj proizvodnji rafinerija: BIT 60, BIT 90 i BIT 200. Ti matriksi obuhvataju širok opseg reoloških osobina, definisanih jugoslovenskim standardima, a pre svih temperaturu razmekšanja i penetraciju.

Tabela 1. daje pregled značajnih osobina izabranih bitumena, koje su značajne sa stanovišta sigurnog

vođenja procesa imobilizacije RAO, koje mogu uticati i na kvalitet krajnjeg proizvoda bitumenizacije J. I. smola.

**Tabela 1. Pregled značajnijih osobina bitumena korišćenih kao matriksni medij u procesu imobilizacije RAO**

Osobina	BIT 200	BIT 90	BIT 60
Temperatura razmekšavanja, (°C)	38	47,5	52
Penetracija na 25 (°C), X (10E-4) (m)	160-210	90	66
Indeks penetracije, (1)	-4,367	-1,427	-0,269
Daktilite (10E-2) (m)	>100	>100	>100
Točka loma po Frasu (°C)	-15	-14	-16

Kao druga ulazna komponenta u proces bitumenizacije su korišćene istrošene J. I. smole (Lewatit SM 600 - KR CL), koje se upotrebljavaju u NE Krško. S obzirom na potrebu dobivanja uzoraka bitumensko-J.I. smolnih smeša, kojima se ispituju reološke i fizičko-hemijske osobine (nivo izluživanja radionuklida iz bituminiziranih uzoraka), proces bitumenizacije J. I. smola je vođen sa simuliranim (postupak na »hladno«) i realnim RAO materijalom (postupak na »toplo«).

Uzorci dobijenih u postupku na »hladno« ispituju se radi utvrđivanja reoloških osobina novodobijenih smeša svih bitumenskih-RAO formulacija i njihovog upoređenja sa odgovarajućim vrednostima matriksnim materijalima.

Imobilizacijom J. I. smola u bitumene u postupku vođenom na »toplo« trebalo je dobiti uzorke kod kojih se ispituje kvalitet RAO solidifikata prema nivou izluživanja najznačajnijih radionuklida iz sastava RAO:  $^{60}\text{Co}$  i  $^{137}\text{Cs}$  [2].

Vrednost nivoa izluživanja, leachinga, izraženog preko procentnog udela izluživanja ovih radionuklida, direktno sugerišu na kvalitet krajnjih proizvoda procesa bitumenizacije RAO, kao i na stepen poverenja u bezbedan kontakt ovih RAO formi u kontaktu sa prirodnim okruženjem.

### EKSPERIMENTALNI DEO

Eksperiment je vođen u šaržnom postrojenju za bitumenizaciju [1]. Proces se vodi na temperaturi 140 °C, u toku 30 minuta, bez dodavanja aditiva u proces.

Influenti procesa se pre uvođenja u šaržu tretiraju, i to:

- bitumeni: BIT 60, BIT 90 i BIT 200 zagrevaju se do temperature tečenja po celokupnoj zapremini
- J. I. smole se dovode do stanja apsolutne zasićenosti tečnom fazom, korišćenjem efluenta evaporatorskog dna (EB), i to: neaktivnim rastvorom EB-a u eksperimentu vođen na »hladno«, i realnim rastvorom EB-a, iz NE Krško, u eksperimentu na »toplo«, pri čemu se u oba slučaja ovako tretirane J. I. smole pre uvođenja u šaržu zagrevaju do temperature 80 °C u suprotnostrujnom razmenjivaču toplote.

Tabela 2. prikazuje hemijski sastav rastvora evaporatorskog dna, kojim se tretiraju J. I. smole radi postizanja apsolutne zasićenosti J. I. smola tečnom fazom [3].

**Tabela 2. Hemijski sastav rastvora EB efluenta prema dominantnom prisustvu elemenata ili grupa**

Element ili grupa	Težinska koncentracija (g/l)
Ba <sup>+</sup>	25–50
Na <sup>+</sup>	16–25
Cl <sup>-</sup>	1–3
Li <sup>-</sup>	3–6 × 10E–3
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	2–15

U eksperimentu vodenom na »toplo«, <sup>60</sup>Co i <sup>137</sup>Cs se markiraju rastvorima njihovih hloridnih soli do postizanja koncentracija radionuklida vezanih u J. I. smolama primerenim RAO materijalima srednjeg nivoa aktivnosti.

Težinski udeo inkorporisanog RAO materijala prema primenjenom matriksu je inkrementno uvećavan za sva tri primenjena bitumena. Tabela 3. daje pregled težinskih odnosa imobilisanog RAO prema bitumenu i inicijalne aktivnosti vezane u J. I. smolama, unete u svaku pojedinačnu formulaciju bitumensko — J. I. smolnih smeša.

Posle završetka procesa imobilizacije RAO materijala uzorci bitumensko-J.I. smolnih smeša se ispuštaju u predviđene kalupe, u kojima očvršćavaju-solidifikuju u toku 48 sati na ambijentalnoj temperaturi 20 °C.

Radi određivanja reoloških osobina bitumensko-RAO smeša, vršena su ispitivanja saglasna jugoslavenskim standardima [4,5,6,7]. Određivanje nivoa iz-

**Tabela 3. Prikaz formulacija bitumensko — J. I. smolnih smeša, prema težinskom udelu inkorporisanog RAO i inicijalnim aktivnostima imobilisanim u pojedinačne formulacije**

Bitumena %	Težinski udeo Vlažne J. I. smole %	Inicijalna aktivnost imobilisana pojedinačnoj formulaciji, Bq(10E6)		
		BIT 60	BIT 90	BIT 200
90	10	1,5745	1,6212	1,5489
80	20	3,2144	3,1528	3,1322
70	30	4,8581	4,7459	4,7740
60	40	6,6456	6,5522	6,5148

lužene aktivnosti iz uzoraka bitumenskih-RAO smeša sa inkorporisanim realnim, aktivnim istrošenim J.I. smolama vršeno je korišćenjem eksperimentalnog metoda po Hespeu [8]. Standardna metoda Internacionalne agencije za atomsku energiju (IAEA) odnosi se na uzorak oblika valjaka, visine i prečnika 5 cm, koji je u potpunosti potopljen u tečnu fazu kao okolni medij u koji difunduju radionuklidi iz sastava RAO. Tokom trajanja eksperimenta kao tečna faza je korišćena destilisana voda. Metoda je definisana za ambijentalne temperature od 25 +/– 5 °C. Eventualno izluživanje radionuklida u okolni medij-leachant vrši se samo sa jedne (gornje) osnove valjastog uzorka, pri čemu su donja osnova i ovojnica imobilisane neaktivnim materijalom. Zamena lachanta radi kontrole i merenja nivoa izluživanja radionuklida iz uzorka obavlja se periodično: 1, 3, 7, 10, 15, 21, 30, 45, 64, 81, 100, 121 i 144-og dana. Merenja prisustva radionuklida u lechantu se obavljaju na niskofonskom gama-spektrofotometru, 4U. geometrije.

### REZULTATI I DISKUSIJA

Ispitivanjem reoloških osobina proizvoda imobilizacije istrošenih J. I. smola u bitumenima dobijeni su rezultati koji su upoređivani sa odgovarajućim vrednostima čistih matriksa, kao što je prikazano u tabeli 4.

Prema rezultatima u tabeli 4. indikativna je minimalna promena vrednosti reoloških osobina bitumenskih — RO smeša u odnosu na čiste bitumene. Prema vrednostima za daktilitet može se respektivno oceniti kvalitet novodobijenih smeša, što se najviše očituje kod najmekšeg bitumena. Negativne vrednosti indeksa penetracije bitumenskih-RAO smeša ukazuju na visoku temperaturnu osetljivost dobijenih uzoraka. Relativno visoke vrednosti tačke razmekšavanja čak i za bitumenske-RAO formulacije najmekšeg bitumena ukazuju na mogućnosti i uslove bezbednog odlaganja solidifikata.

Rezultati ispitivanja kvaliteta bitumenskih — RAO smeša u odnosu na nivo izluživanja najznačajnijih radionuklida, <sup>60</sup>Co i <sup>137</sup>Cs, prema procentnom udelu njihovog izluživanja, nakon 144. dana praćenja kumulativne frakcije, izluživanja, prikazani su u tabeli 5.

Tabela 4. Vrednosti ispitivanih reoloških osobina bitumensko-J. I. smolnih smeša

Formulacija	Reološka osobina				
	Temperatura razmekšavanja, °C	Penetracija na 25 °C, mx(10E-4)	Indeks Penetracije, (1)	Daktilitet, mx(10E-2)	Tačka loma po Frasu, °C
Bitumensko-J. I. smolne smeše					
BIT200 + 10%J.I.s.	39	> 260	-4,367	> 100	-20
BIT200 + 20%J.I.s.	39	> 255	-4,367	> 100	-20
BIT200 + 30%J.I.s.	48	68	-4,367	> 100	-16
BIT200 + 40%J.I.s.	38	190	-4,367	> 100	-20
BIT 90 + 10%J.I.s.	47	74	-1,565	30	-14
BIT 90 + 20%J.I.s.	48	58	-1,292	30	-14
BIT 90 + 30%J.I.s.	49	64	-1,027	/	-14
BIT 90 + 40%J.I.s.	47,5	58	-0,896	/	-14
BIT 60 + 10%J.I.s.	52	63	-0,269	40	-8
BIT 60 + 20%J.I.s.	52	63	-0,269	40	-8
BIT 60 + 30%J.I.s.	50	68	-0,768	45	-10
BIT 60 + 40%J.I.s.	50	62	-0,768	45	-10
BIT200	38	190–210	-4,367	> 100	-15
BIT 90	47,5	90	-1,427	> 100	-14
BIT 60	52	66	-0,269	> 100	-16

Tabela 5. Vrednosti procentnog udela izluženja aktivnosti u odnosu na inicijalnu aktivnost imobilisanu u bitumensko-RAO smeše za radionuklide  $^{60}\text{Co}$  i  $^{137}\text{Cs}$ 

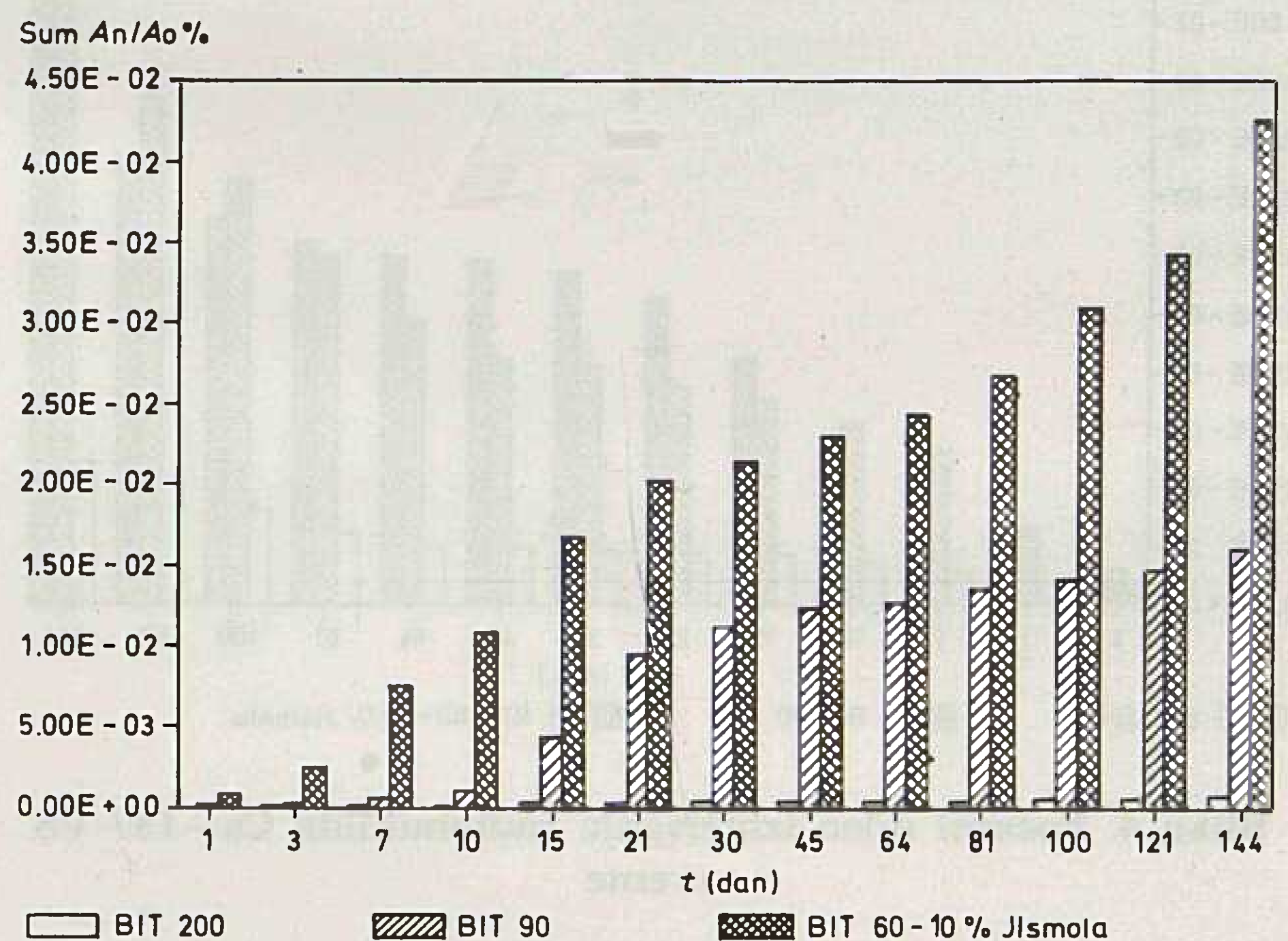
Formulacija Bitumensko-J. I. smolne smeše	Udeo izlužene aktivnosti iz uzorka An / Ao (%)	
	$^{60}\text{Co}$	$^{137}\text{Cs}$
BIT200 + 10%J. I. s.	0,05	0,07
BIT200 + 20%J. I. s.	0,11	0,23
BIT200 + 30%J. I. s.	2,11	1,71
BIT200 + 40%J. I. s.	0,14	0,25
BIT 90 + 10%J. I. s.	2,11	1,59
BIT 90 + 20%J. I. s.	0,39	1,45
BIT 90 + 30%J. I. s.	2,89	4,14
BIT 90 + 40%J. I. s.	0,82	1,03
BIT 60 + 10%J. I. s.	1,88	4,26
BIT 60 + 20%J. I. s.	1,64	1,43
BIT 60 + 30%J. I. s.	2,35	5,29
BIT 60 + 40%J. I. s.	1,21	1,11

Grafički prikazi izluživanja  $^{60}\text{Co}$  i  $^{137}\text{Cs}$ , prema datim težinskim udelima imobilisane J.I. smole, za sve tri primenjene bitumenske matrice prikazani su na slikama od 1. do 8.

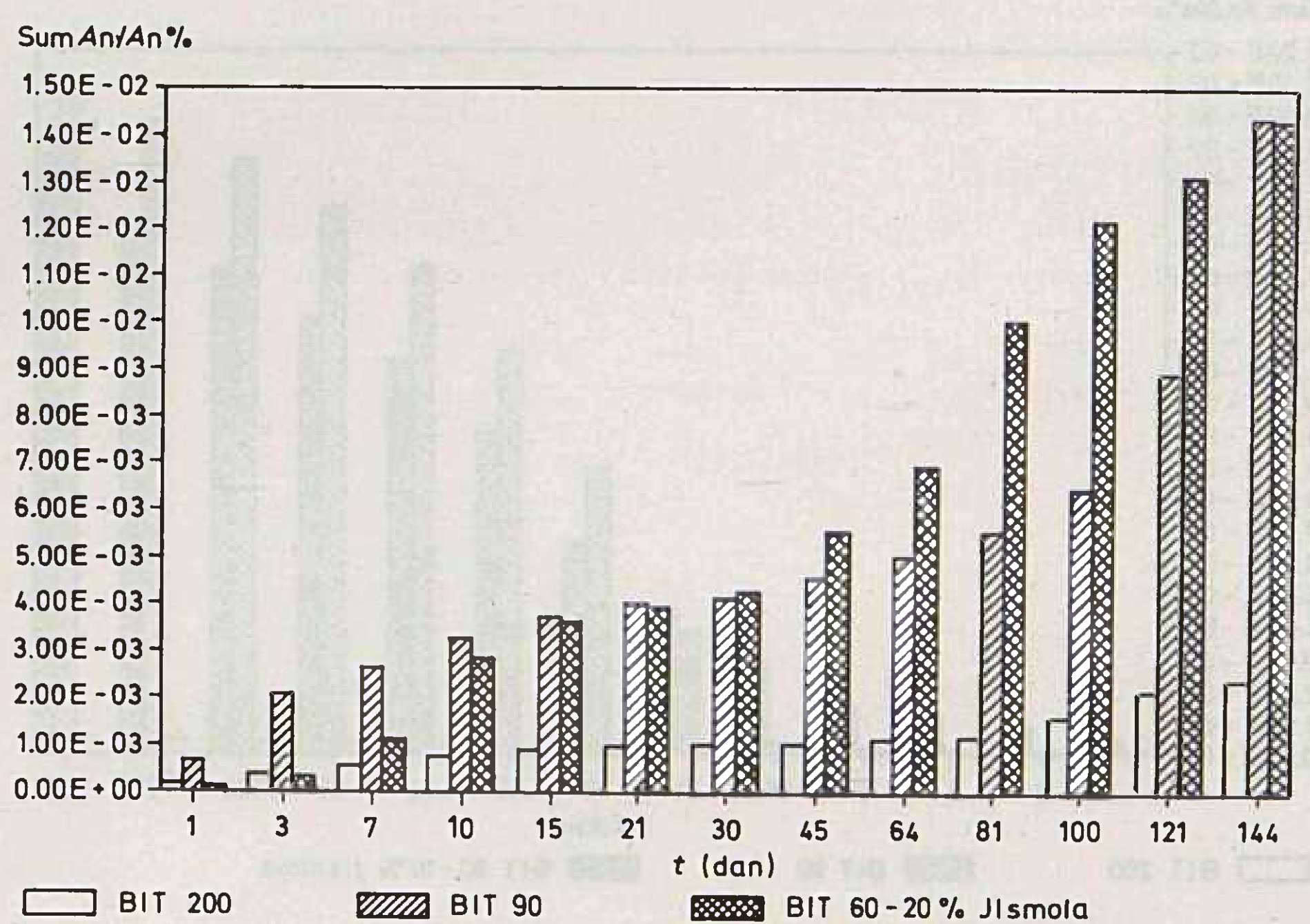
## ZAKLJUČAK

Na osnovu izvršenih ispitivanja različitih formulacija bitumensko-J.I. smolnih smeša može se ustvrditi da je kvalitet dobijenih proizvoda bitumenizacije RAO materijala šaržnim postupkom, zadovoljio osnovne zahteve koji se postavljaju pred ovu vrstu materijala. Postignuti rezultati su vrednosti koje sugerišu sigurnu manipulaciju i bezbedno odlaganje RAO solidifikata u predviđeno, prirodno okruženje. S obzirom na vođenje procesa imobilizacije RAO u bitumene bez uvođenja aditiva u sistem za bitumenizaciju, u smislu poboljšanja fizičko-hemijskih osobina željenih smeša, može se očekivati da će se optimizacijom procesa pomoću odgovarajućih aditiva izvršiti

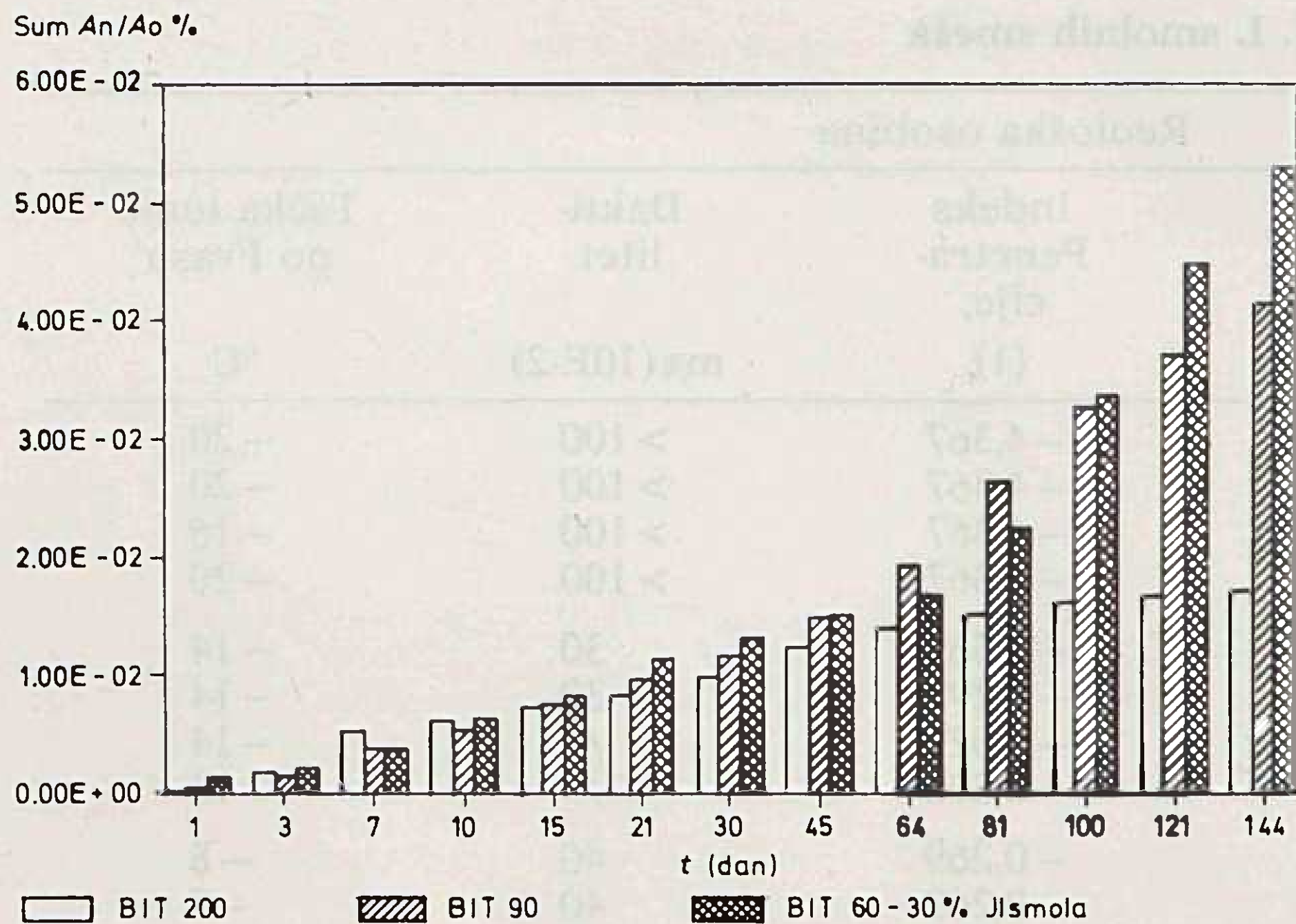
još bolja fiksacija radionuklida u okviru bitumenskih matriksa, uz poboljšanje relevantnih reoloških osobina.



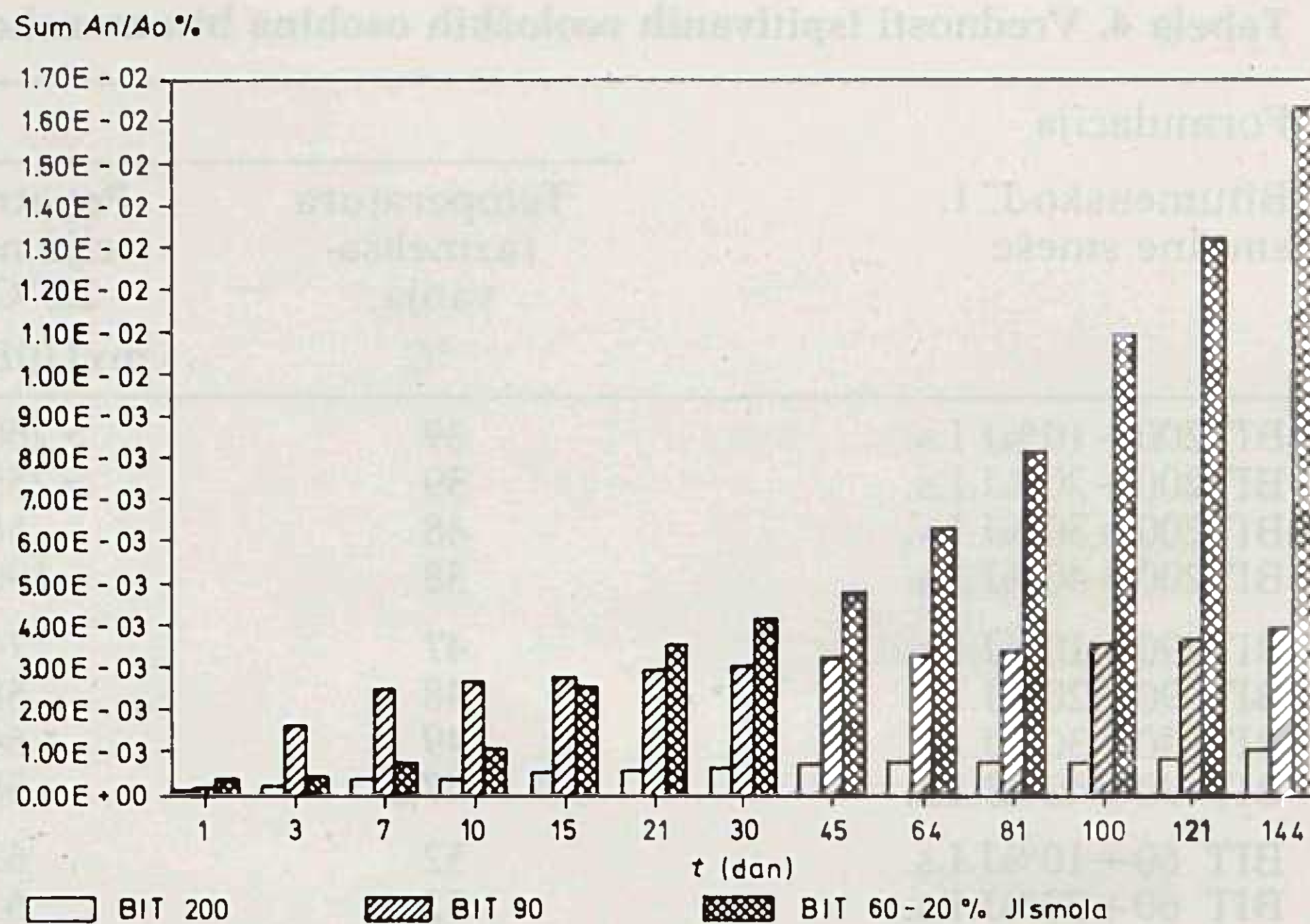
Slika 1. Procentni udeo izluživanja radionuklida C5 – 137 u vremenu



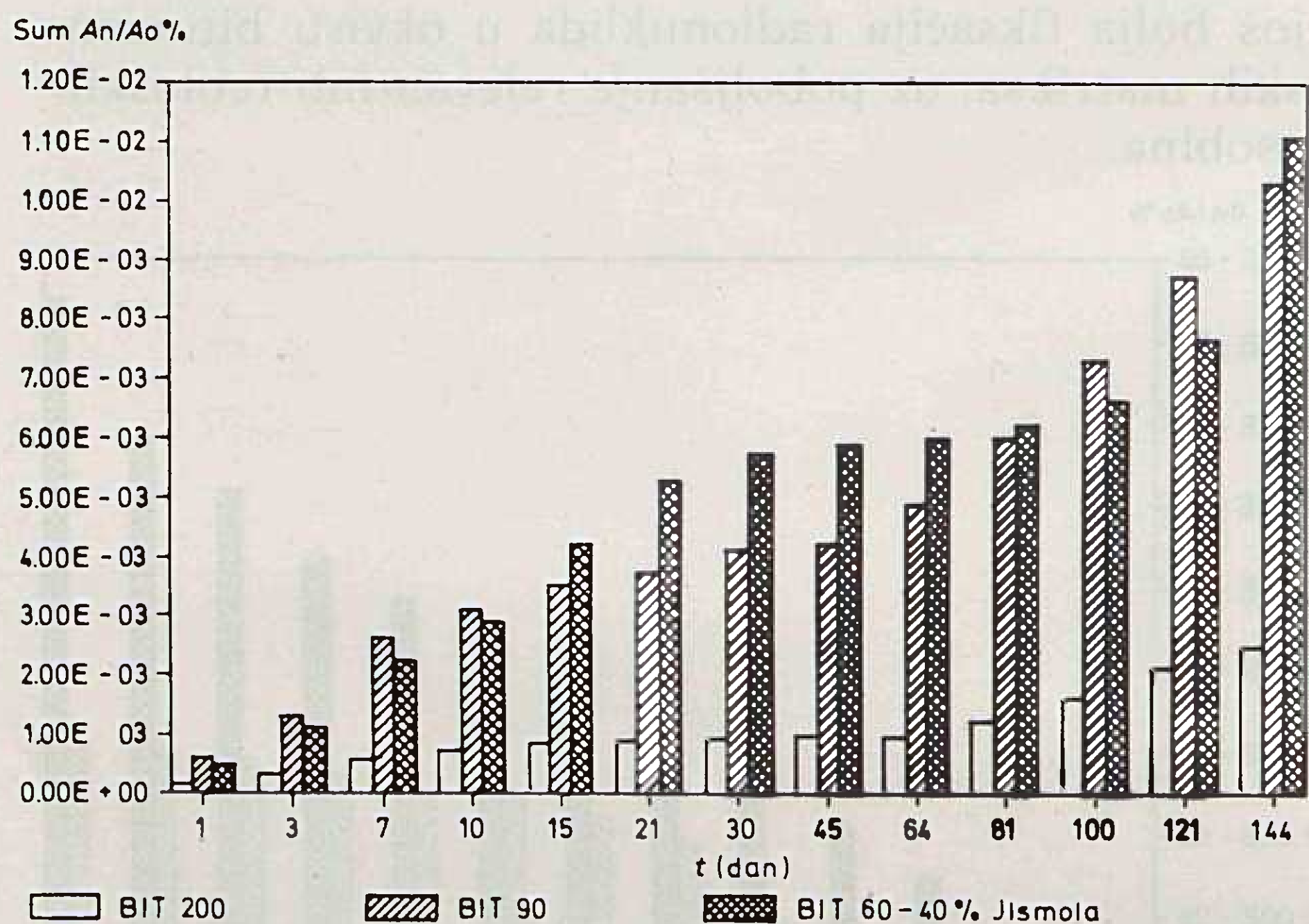
Slika 2. Procentni udeo izlužene aktivnosti radionuklida Cs – 127 VS vreme



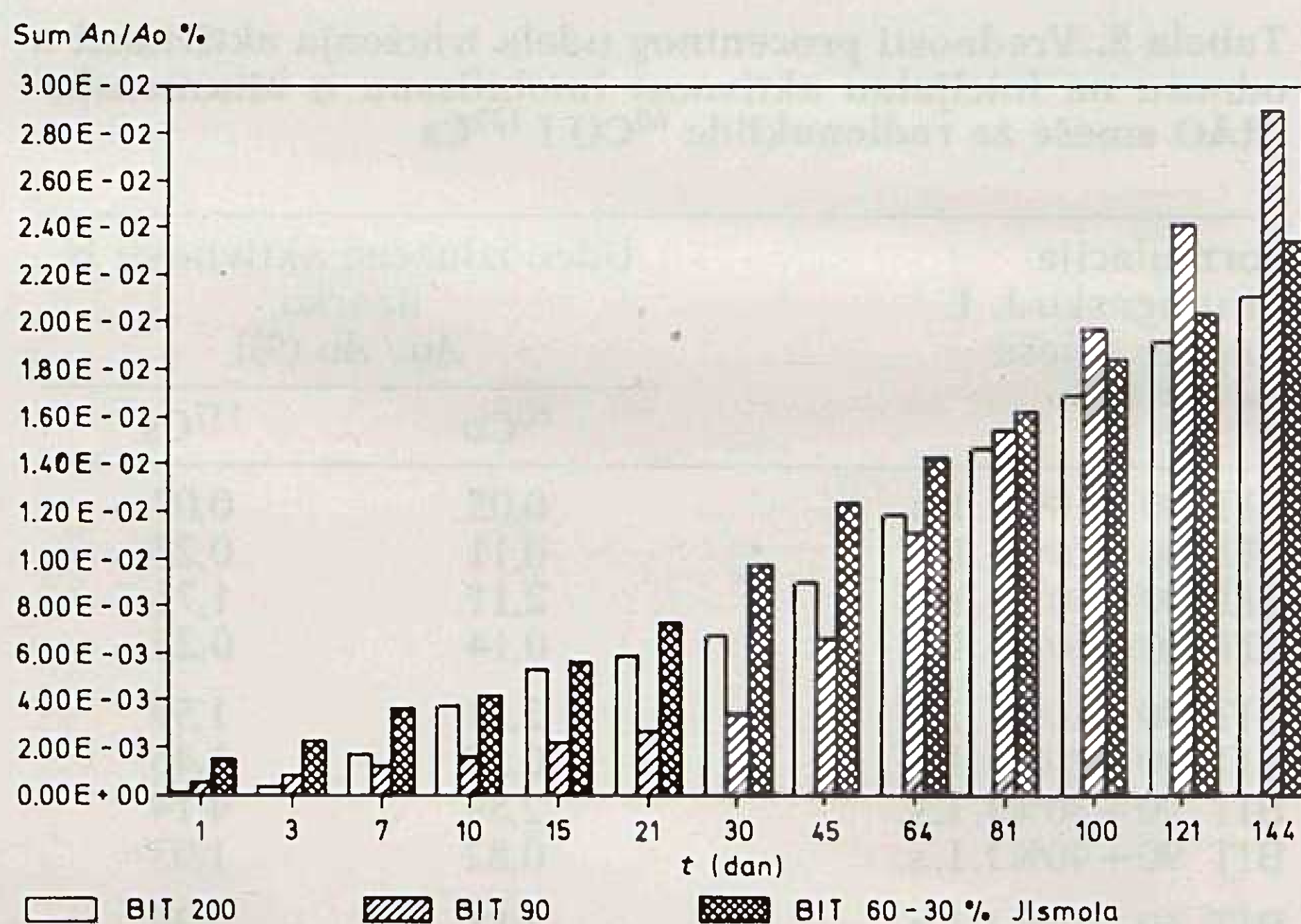
Slika 3. Procentni udeo izluživanja radionuklida Cs – 137 VS vreme



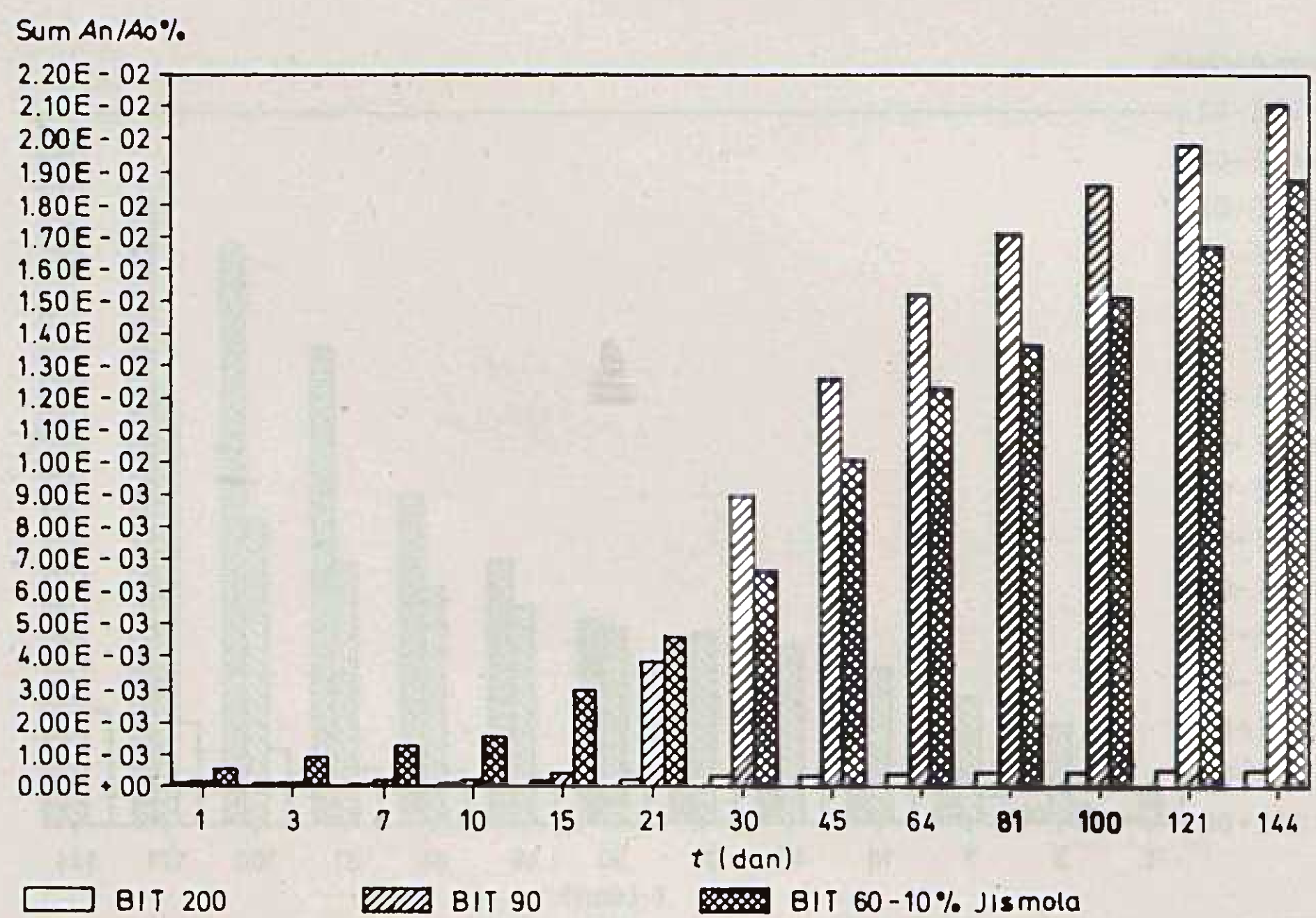
Slika 6. Procentni udeo izluživanja radionuklida Co – 60 VS vreme



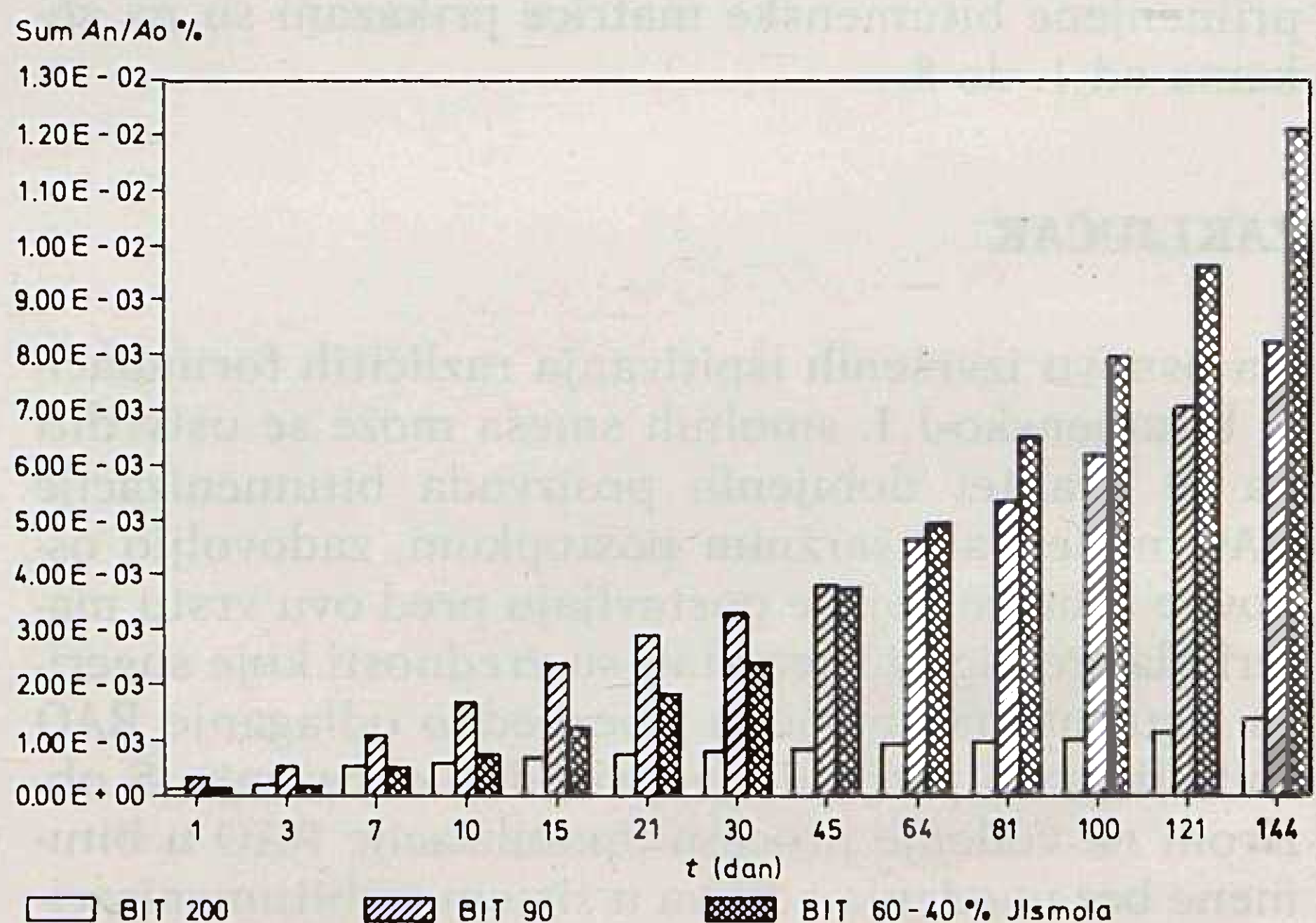
Slika 4. Početni udeo izluživanja radionuklida Cs – 137 VS vreme



Slika 7. Procentni udeo izluživanja radionuklida Co – 60 VS vreme



Slika 5. Procentni udeo izluživanja radionuklida VS vreme



Slika 8. Procentni udeo izluživanja radionuklida Co – 60 VS vreme

## LITERATURA

- [1] A. PERIĆ et al.: »Pregled razvoja tehnika i mogućnosti primene procesa imobilizacije otpadnih materijala bitumenskim postupkom«, »Energija«, 37, Vol. 4, 343 — 347, August 1988.
- [2] A. PERIĆ et al.: »Razvoj i primena procesa imobilizacije RAO materijala bitumenskim postupkom«, XXXII jugoslavenska konferencija ETAN-a, 101, Sarajevo, 6 — 10. Juna 1988.
- [3] A. BERNARD, J. C. NOMINE: »Expérience Acquisse dans conditionnement et la lixivabilité des déchets PWR euros par la ciment«. Séminaire sur la gestion des déchets radioactifs des centrales nucléaires, Karlsruhe, 5 — 9. Oct. 1981.
- [4] JUS BH. 8.613.
- [5] JUS BH. 8.612.
- [6] JUS BH. 8.614.
- [7] JUS BH. 8.616.
- [8] E. D. HESPE: »Leach Testing of Immobilized Radioactive Waste Solides«, Atomic Energy Rev. 9, 195 (1971).

**EXAMINATION OF SOME REOLOGICAL AND PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF BITUMINOUS RADIOACTIVE WASTE DERIVED BY IMOBILIZATION PROCESS OF MEDIUM ACTIVITY WASTE**

In the article is presented an immobilization method and examination results of reological and physical-chemical characteristics of bitumenous-resins samples. Samples are derived by immobilization process on simulated and real radioactive waste of medium activity. Examination method are defined in Yugoslav and international standards.

**ÜBERPRÜFUNG BESTIMMTER REOLOGISCHER UND PHYSISCH — CHEMISCHER EIGENSCHAFTEN BITUMINÖSER RADIOAKTIVER ABFÄLLE DIE DURCH DEN CHARGE PROZESS DER IMMOBILISIERUNG DER RAO MATERIALIEN DER AKTIVITÄTEN MITTLEREN NIVEAUS GEWONNEN WURDEN**

Hier wird das angewendete Verfahren der Immobilisierung und der Ergebnisse der Untersuchungen bestimmter reologischer und physisch chemischer Eigenschaften der Muster bituminöser ionaustauschbarer Harzmischungen.

Die Muster sind durch das Chargeverfahren der Immobilisierung des simulierten und realen radioaktiven Abfallmaterials der Aktivität mittleren Grades gewonnen. Die Prüfungsmethoden sind durch die jugoslawischen und internationalen Standards bestimmt.

**ИСПЫТАНИЕ ОПРЕДЕЛЕННЫХ РЕОЛОГИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИТУМО-РАДИОАКТИВНЫХ СМЕСЕЙ ОТХОДОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ШИХТОВЫМ ПРОЦЕССОМ ИММОБИЛИЗАЦИИ, КА МАТЕРИАЛА СРЕДНЕГО УРОВНЯ АКТИВНОСТИ**

Излагаются примененный способ иммобилизации и результатов и спытания определенных реологических и физико-химических свойств проб битумо-ионоизменяющихся смесей смолы. Пробы получены шихтовым процессом иммобилизации и искусственного и реального материала отходов среднего уровня активности. Методы испытания определены югославским и международным стандартами.

Naslov pisaca:

**Aleksandar Perić, Ilija Plećaš,  
Andreja Kostadinović, dipl. inž.  
Institut za nuklearne nauke  
»Boris Kidrič« — Vinča,  
11001 Beograd, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis  
1989 — 08 — 10

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

### PROIZVODNI PROGRAM

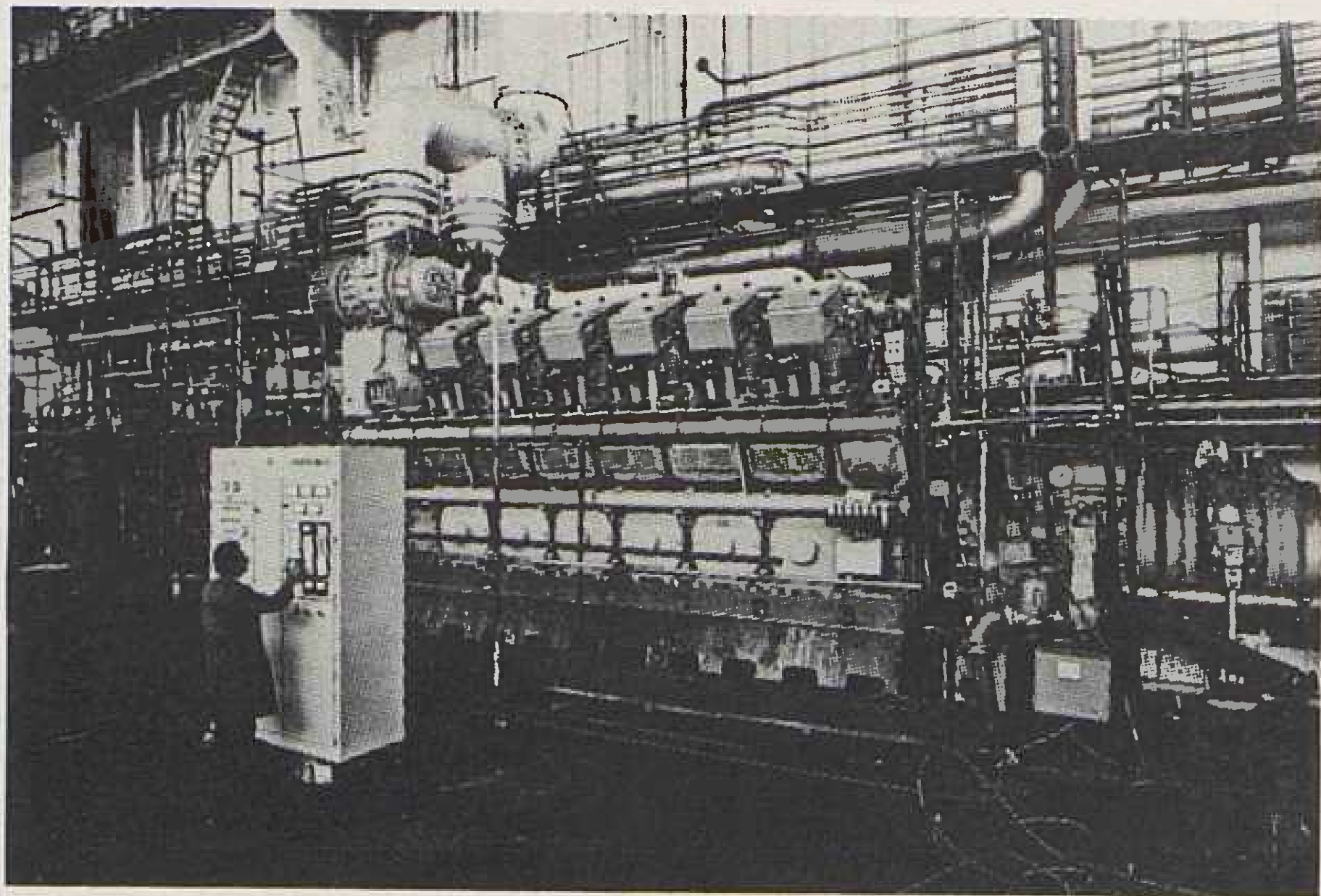
- ★ ENERGETSKA OPREMA I POSTROJENJA: parne turbine za nuklearne i fosilne termoelektrane i toplane te za mehanički pogon radnih strojeva; turbokompresori, diesel agregati i kompletna energetska postrojenja
- ★ BRODSKA OPREMA: glavni i pomoćni diesel motori, parne turbine, pumpe i automatika
- ★ PUMPE 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

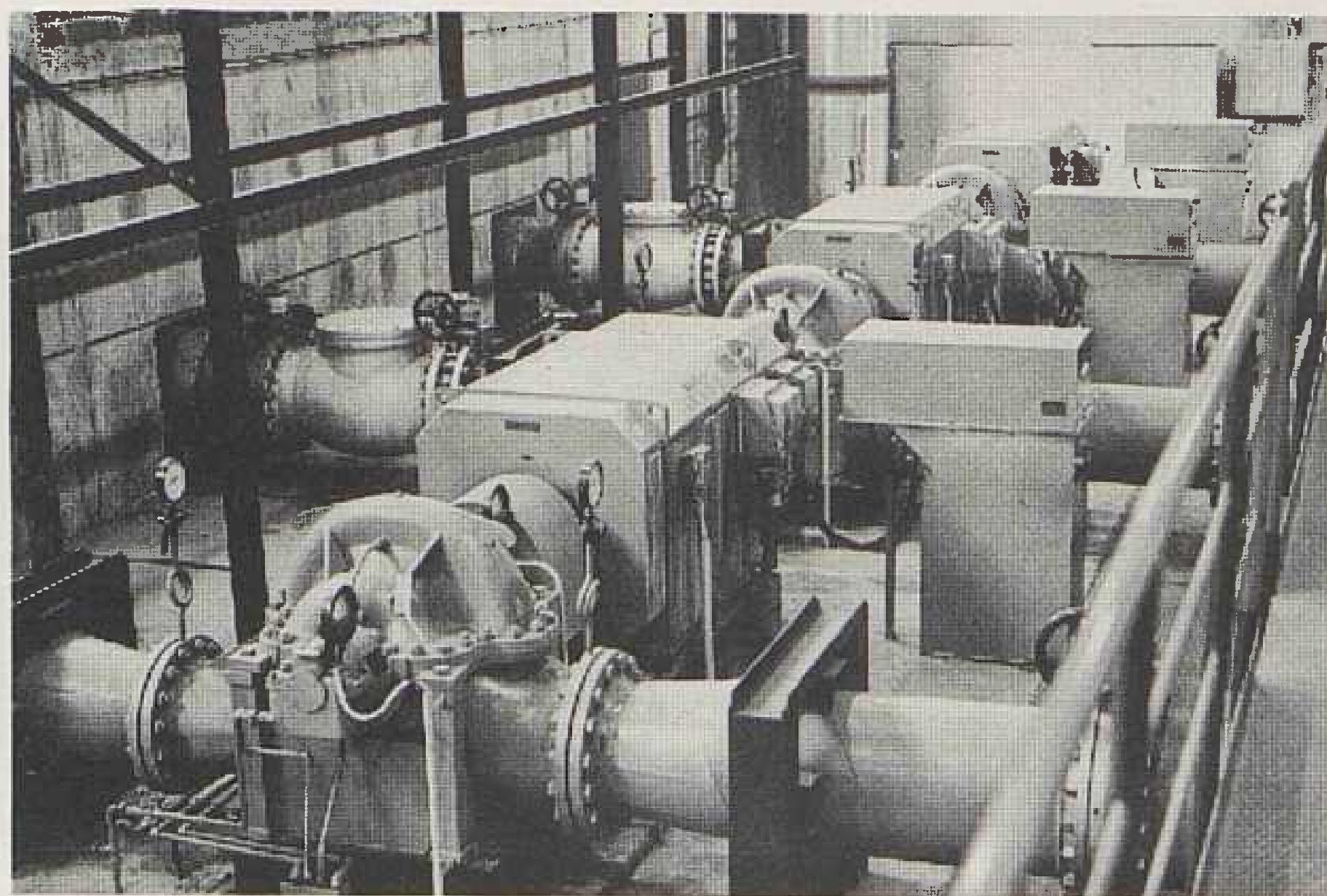
- ★ INŽENJERING (konzalting, projektiranje, isporuka opreme i izgradnja objekata) ZA ENERGETSKA, INDUSTRIJSKA, HIDRO I EKOLOŠKA POSTROJENJA
- ★ IZVOZ — UVOZ, ZASTUPSTVA, TRGOVINA NA VELIKO I MALO
- ★ USLUGE ODRŽAVANJA, SERVISIRANJA I MONTAŽE za turbine, pumpe i diesel motore

### 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 energetska 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.



# NOVI ASPEKT U ANALIZI POSLJEDICA LOMA CIJEVI NAPOJNE VODE U NUKLEARNOJ ELEKTRANI

Mr. Nikola Čavlina, Zagreb

UDK 621.039.5

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Opisan je proračun promjene parametara primarnog i sekundarnog kruga nuklearne elektrane uz pretpostavku da se desio lom cijevi glave napojne vode. Proračun je raden primjenom kompjutorskog programa RELAP5. Zatim su s novog aspekta analizirane posljedice loma cijevi napojne vode do kojih može doći ako je istovremeno nivo vode u parogeneratoru niži od vrha U-cijevi, a tlak u parogeneratoru je dosegao vrijednost prorade sigurnosnih ventila.

**Ključne riječi:** nuklearne elektrane, sigurnosne analize, matematičko modeliranje.

## 1. UVOD

Pretpostavljen je lom cijevi glavne napojne vode u nuklearnoj elektrani Krško i ovaj kvar je analiziran primjenom kompjutorskog programa RELAP5/Mod1. Posebna pažnja pridijeljena je sekvenci ovog kvara kada vrh U-cijevi jednog parogeneratora nije pokriven vodom uz tlak na sekundarnoj strani veći od proradne vrijednosti sigurnosnih ventila. Pretpostavljeno je, vrlo konzervativno, da se najveće dopušteno propuštanje rashladnog sredstva iz primarnog kruga događa upravo na vrhu U-cijevi tog parogeneratora.

U drugom je dijelu članka postavljen matematički model pomoću kojeg se može izračunati udio vode primarnog kruga u masenom protoku pri proradi sigurnosnih ventila parogeneratora.

## 2. ANALIZA LOMA CIJEVI NAPOJNE VODE

Lom cijevi glavne napojne vode može se definirati kao lom dovoljno velik da spriječi dotok napojne vode u parogenerator tako da se nivo vode u parogeneratoru ne može održati.

Ovisno o veličini loma i pogonskim uvjetima u postrojenju u trenutku loma, lom može izazvati pretjerano hlađenje ili zagrijavanje primarnog kruga: Ovdje je analizirano pretjerano zagrijavanje primarnog kruga.

### 2.1. Scenarij događaja i pretpostavke u proračunu

Pretpostavljeno je da se lom glavne cijevi napojne vode dogodio na samom ulazu u parogenerator. Također je pretpostavljen najveći mogući presjek loma tako da se glavna napojna voda izlijeva kroz otvor na mjestu loma, a voda iz parogeneratora istječe kroz

otvor od 0.163 m, što je ekvivalentni dijametar restriktora protoka.

Lom cijevi napojne vode smanjuje mogućnost odvođenja topline iz primarnog kruga zbog ovih razloga:

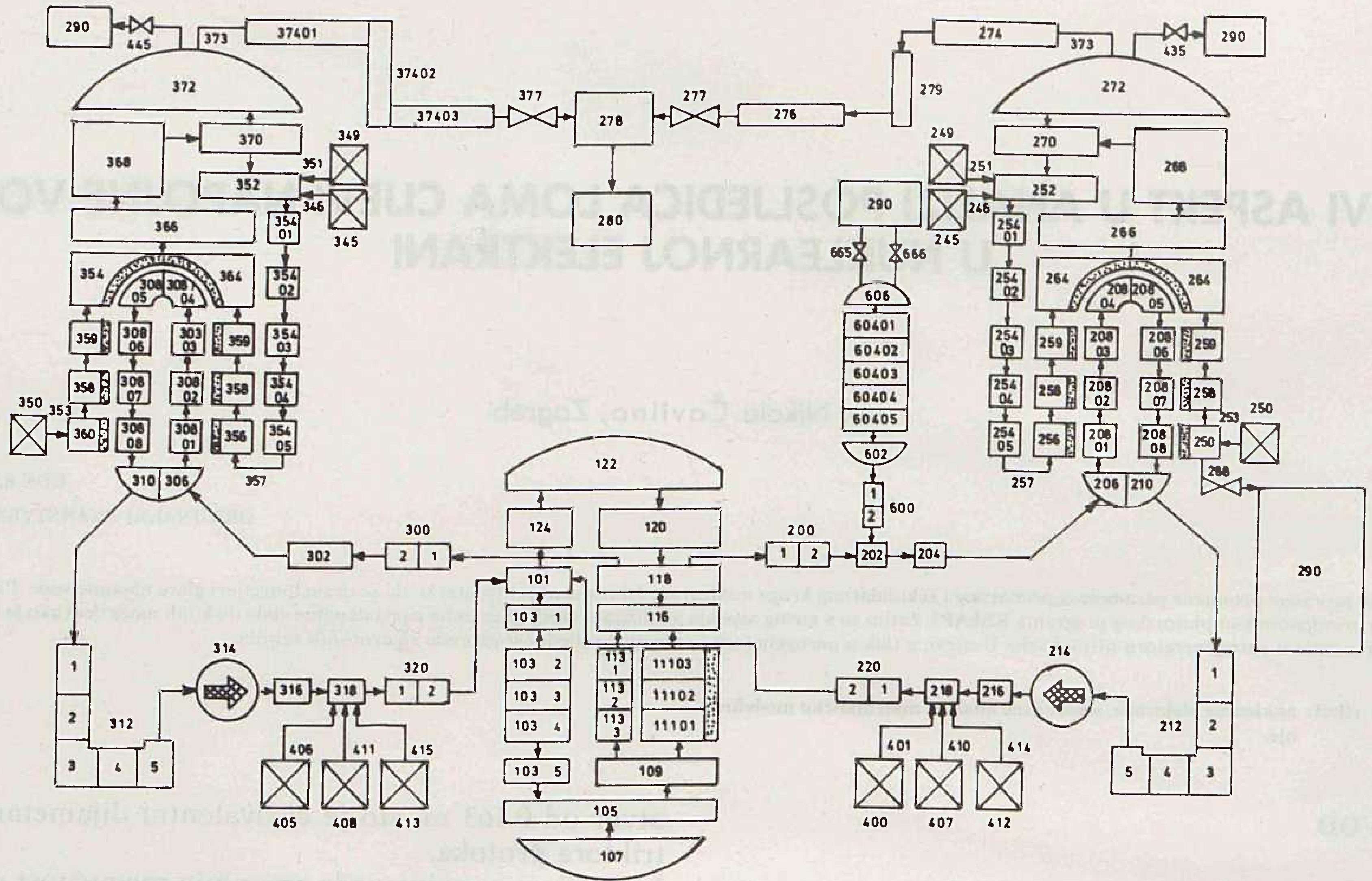
1. Dotok napojne vode u parogenerator je smanjen. Kako je napojna voda podhlađena, njezin gubitak može uzrokovati povećanje ulazne temperature u reaktor i prije obustave reaktora.
2. Voda iz parogeneratora nakon istjecanja kroz mjesto loma neraspoloživa je za odvođenje ostatne topline iz primarnog kruga nakon obustave reaktora.
3. Lom može biti tolike veličine da može spriječiti dotok glavne napojne vode.

Za proračun posljedica loma cijevi glavne napojne vode korišten je za program RELAP5/MOD1. Model primarnog kruga nuklearne Krško i dijela sekundarnog kruga prikazan je na slici 1. Model se sastoji od 124 kontrolna volumena i 129 spojnica koje povezuju te kontrolne volumene.

Kao što se na slici 1. vidi, svaki parogenerator modeliran je posebno jer su tijekom ovog akcidenta parogeneratori nejednoliko opterećeni. U svakom parogeneratoru posebno je opisan dotok glavne i pomoćne napojne vode. Protok glavne napojne vode podijeljen je u dva dijela prema dijagramima protoka NE Krško. Prijelaz topline s primarne strane na sekundarnu stranu modeliran je s osam kontrolnih volumena u svakom parogeneratoru.

Lom cijevi napojne vode je s programom RELAP5 simuliran kao obustavljanje dotoka napojne vode u parogenerator u trenutku loma i kao otvaranje ventila 288 kuda istječe voda iz parogeneratora u kontejment.

Ostale pretpostavke rada postrojenja neposredno prije loma odabrane su konzervativno tako da pogoršavaju kasniju situaciju u smanjenoj mogućnosti odvođenja topline:



Slika 1. Model NE Krško korišten u kompjutorskom programu RELAP5

1. Reaktor je radio na 102% snage.
2. Veća ulazna temperatura u reaktor je konzervativna pretpostavka, jer se time uzima manja ukupna masa primarnog hladioca, što je za ovaj akcident konzervativno. Ulazna temperatura u reaktorsku posudu konzervativno se odabire za  $3,33^{\circ}\text{C}$  viša od nominalne.
3. Viši početni tlak u tlačniku znači da će kasniji porast tlaka tijekom akcidenta biti veći. Tlak u tlačniku konzervativno se uzima za 2.068 bara veći od nominalnoga.
4. U proračunu se ne uzima utjecaj djelovanja rasteretnih ventila tlačnika niti sprejiranje u tlačniku.
5. Konzervativno, obustava reaktora na previsok tlak nije modelirana.
6. Dotok glavne napojne vode prestaje odmah u trenutku loma cijevi napojne vode.
7. Obustava reaktora pretpostavljeno je da dolazi nakon signala preniskog nivoa u parogeneratoru.
8. Pomoćna napojna voda se aktivira na pojavu signala preniskog nivoa vode u parogeneratoru. Pretpostavka je da pomoćna napojna voda dotiče samo u jedan parogenerator uz protok od 22.1 l/s (350 gpm). Nakon signala preniskog nivoa vode u parogeneratoru, s kašnjenjem od 60 s, starta pumpa pomoćne napojne vode. Dodatnih 128 sekundi pretpostavljeno je da potraje prije negoli hladna pomoćna napojna voda  $48.8^{\circ}\text{C}$  počne ulaziti u parogenerator.
9. Pretpostavljeno je da nema akumuliranja energije u metalnim strukturama primarnog kruga.
10. Konzervativno je pretpostavljena ostatna toplina reaktora.

11. Sistemi za ispuštanje i ubrizgavanje rashladnog sredstva u primarnom krugu nisu modelirani.
12. U analizi je pretpostavljeno da je došlo do gubitka vanjskog napajanja, što ujedno izaziva obustavu rada glavnih pumpi primarnog kruga. Trenutak ispada vanjske mreže pretpostavljeno je da nastupa u trenutku obustave reaktora, što je konzervativnije nego da je to u trenutku akcidenta.

## 2.2. Rezultati proračuna

U tablici 1. navedeni su početni uvjeti dobiveni nakon proračuna stacionarnog stanja s programom RELAP5. Stacionarno stanje nuklearne elektrane pretpostavljeno je da traje 50 sekundi, a zatim je simuliran lom cijevi glavne napojne vode.

Kronološki slijed događaja nakon loma cijevi glavne napojne vode, dobiven primjenom programa RELAP5, prikazan je u tablici 2.

Snaga reaktora, nakon sigurnosne obustave, pada na vrijednosti određene proizvodnjom ostatne topline. Zbog gubitka vanjskog napajanja dolazi do prekida napajanja glavnih pumpi u primarnom krugu. Nakon ispada pumpi maseni protok rashladnog sredstva reaktora opada do vrijednosti tipične za prirodnu cirkulaciju.

Na slikama od 2. do 8. prikazan je dio rezultata proračuna. U opisu rezultata, radi jednostavnijeg praćenja, parogeneratori su označeni brojevima 1 i 2. Parogenerator 1 je onaj na čijem je ulazu došlo do loma cijevi napojne vode.

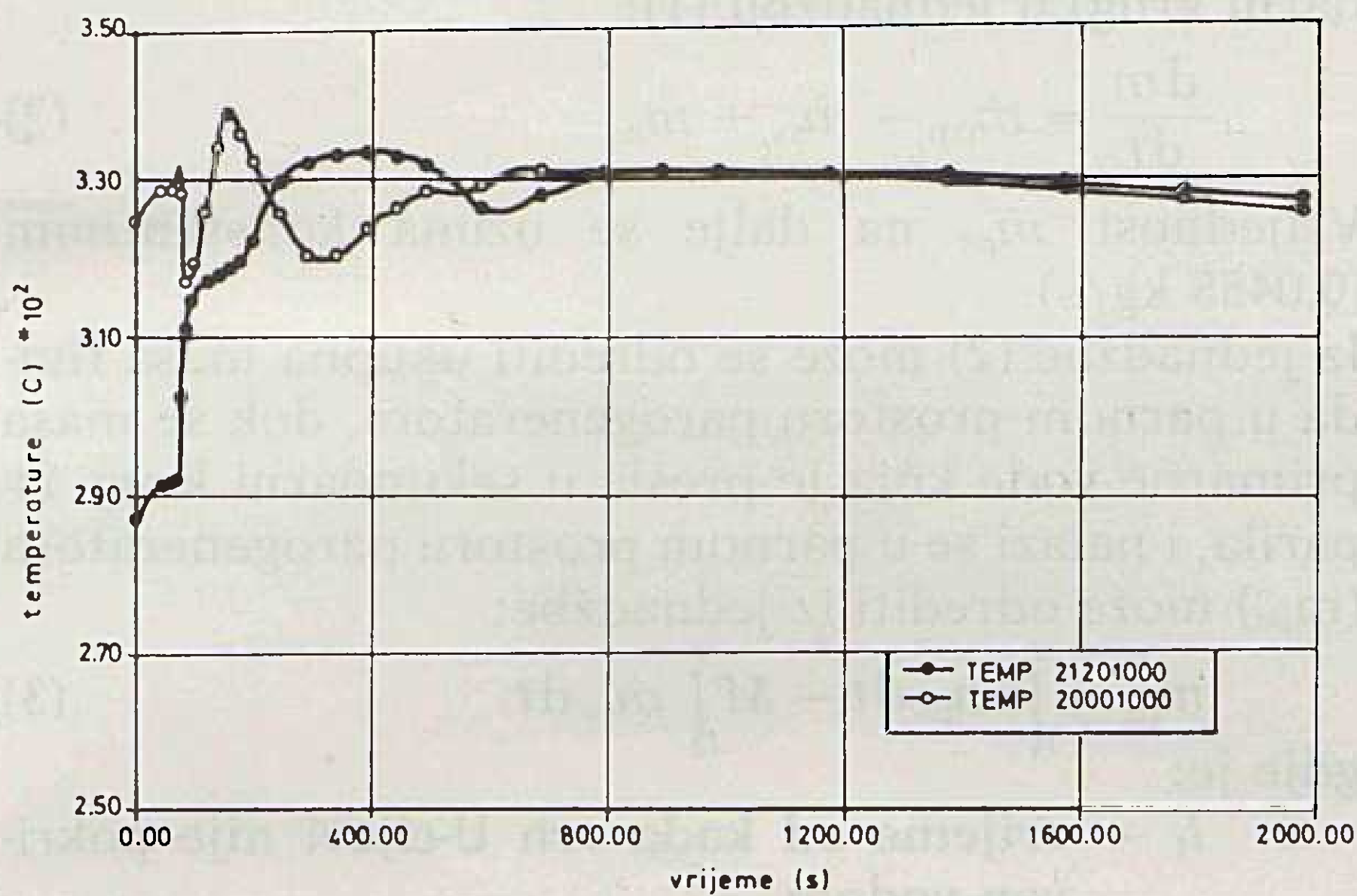
Temperature na ulazu u reaktorsku posudu i na izlazu iz nje (slika 2), u grani gdje se nalazi parogenera-

**Tablica 1. Proračunati početni uvjeti prije simulacije loma cijevi glavne napojne vode**

Snaga reaktora (102%)	1 913 MW
Ukupni protok rashladnog sredstva	8 881 kg/s
Temperatura rashladnog sredstva na ulazu u reaktor	291.3 C
Temperatura rashladnog sredstva na izlazu iz reaktora	328.4 C
Tlak u tlačniku	157.2 bar
Tlak u parogeneratoru	64 bar
Protok pare (ukupno)	1 079.5 kg/s
Temperatura napojne vode	221.1 C

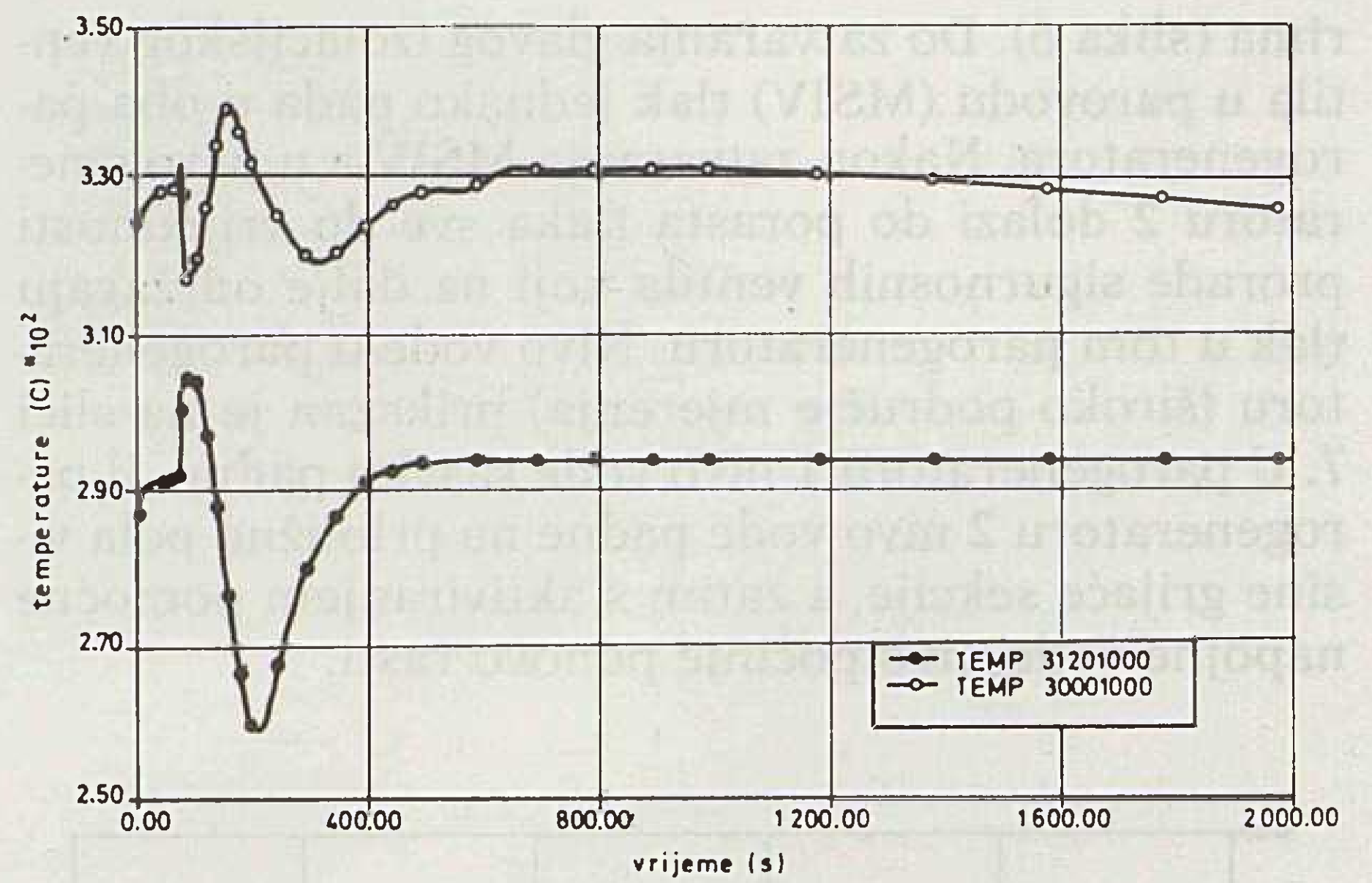
**Tablica 2. Slijed događaja nakon pretpostavljenog loma cijevi glavne napojne vode**

Događaj nakon loma cijevi glavne napojne vode	Vrijeme [s]
Signal za sigurnosnu obustavu reaktora (prenizak nivo u parog.)	16.5
Obustava reaktora	18.5
Gubitak izmjeničnog napajanja, ispad pumpi	18.5
Dotok pomoćne napojne vode (22 l/s)	76.5
Signal preniskog tlaka u parogeneratoru 1	140.5
Početak rada SI sistema	142.5
Zatvaranje ventila MSIV	145.5
Samo hladna voda u sistemu napojne vode	204.5
Otvaranje sigurnosnih ventila u tlačniku	381
Sposobnost odvođenja topline pomoćne napojne vode jednaka generiranju ostatne topline	≈ 650



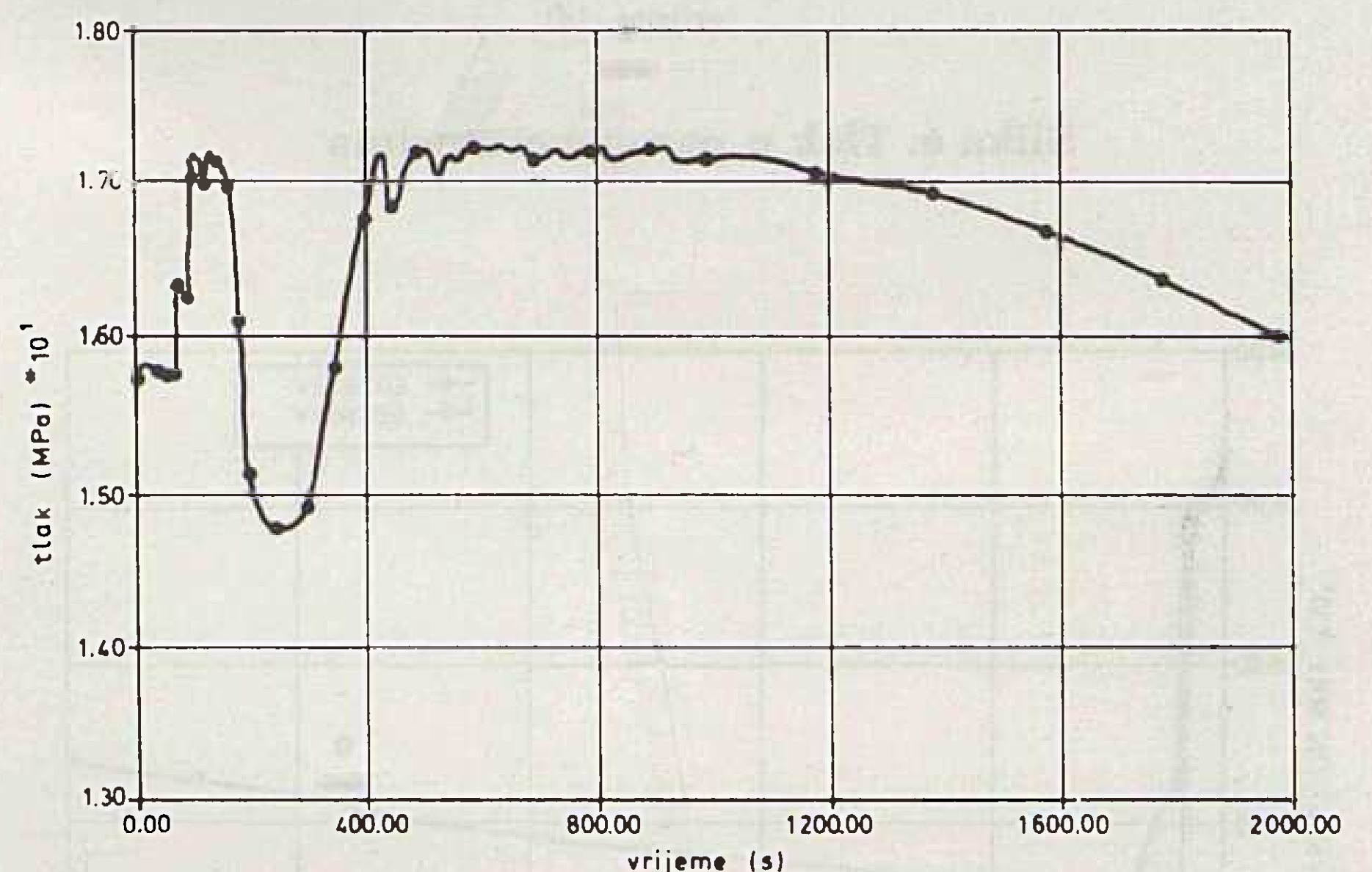
**Slika 2. Temperatura na ulazu i izlazu iz reaktora, u rashladnom krugu gdje je parogenerator 1**

tor 1, pokazuju da je taj parogenerator nakon akcidenta izgubljen za odvođenje topline iz primarnog kruga. Temperature na ulazu i izlazu iz reaktora (slika 3) u grani gdje je parogenerator 2 pokazuju da ovaj parogenerator i nakon akcidenta odvodi ostatnu toplinu reaktora. Iz slike se približno daje zaključiti da negdje oko 650 sekunde nakon akcidenta mogućnost odvođenja topline s ovim parogeneratorom



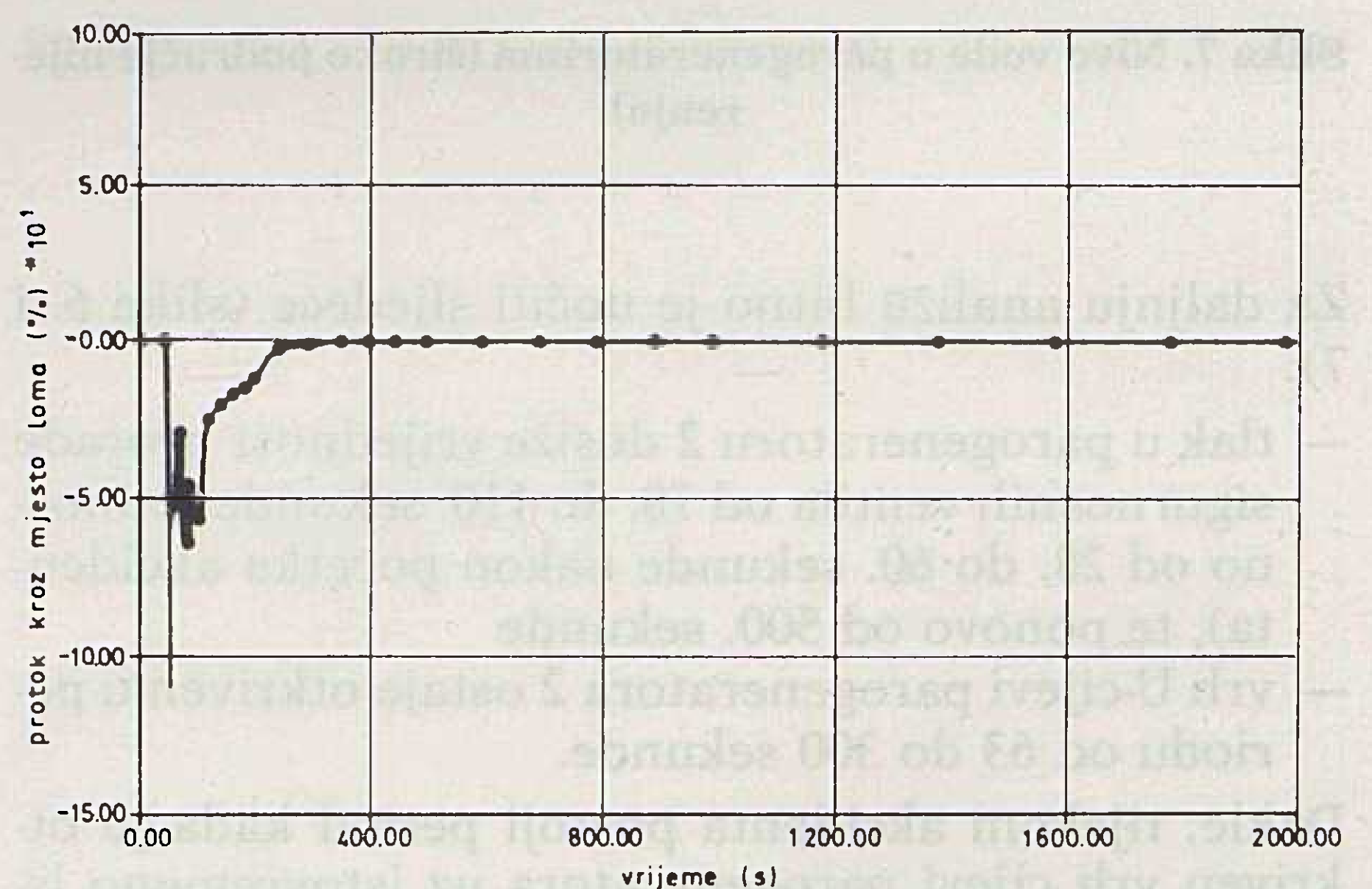
**Slika 3. Temperature na ulazu i izlazu iz reaktora, u rashladnom krugu gdje je parogenerator 2**

nadjača proizvodnju ostatne topline, te temperature počinju padati. Na slici 4. prikazan je tlak u tlačniku. U skladu s konzervativnim pristupom u modelu tlačnika uzeti su u obzir samo sigurnosni sistemi, a ne i regulacijski sistemi tlačnika. Tlak u primarnom krugu nakon akcidenta narasta do vrijednosti prorade sigurnosnih ventila. Sigurnosni ventili tlačnika sprečavaju daljnji porast tlaka.



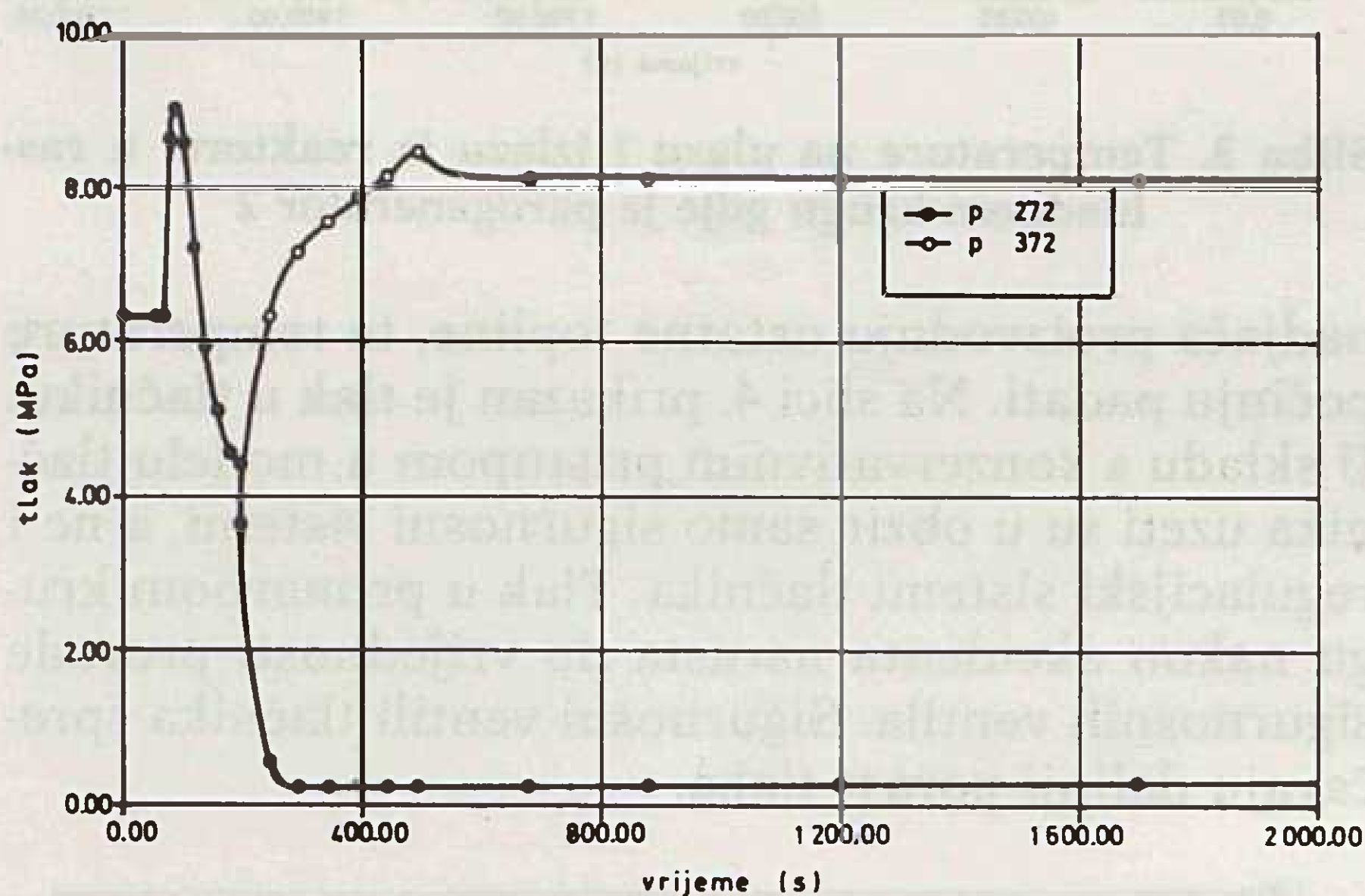
**Slika 4. Tlak u tlačniku**

Protok kroz mjesto loma, odnosno istjecanje vode iz parogeneratora, prikazan je na slici 5. Zbog loma cijevi glavne napojne vode opada tlak u parogeneratoru

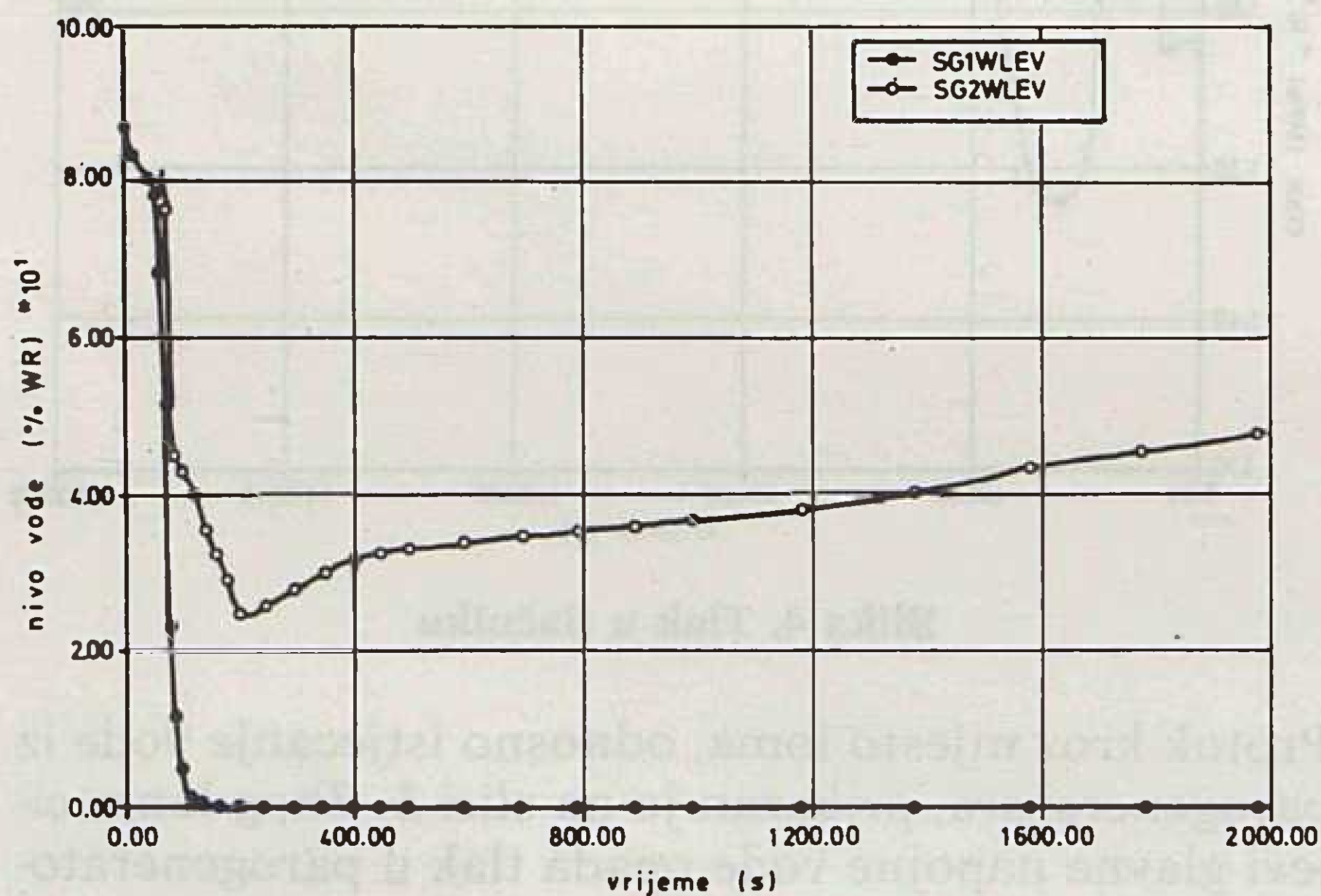


**Slika 5. Maseni protok kroz mjesto loma**

rima (slika 6). Do zatvaranja glavnog izolacijskog ventila u parovodu (MSIV) tlak jednako pada u oba parogeneratora. Nakon zatvaranja MSIV-a u parogeneratoru 2 dolazi do porasta tlaka sve do vrijednosti prorade sigurnosnih ventila koji na dalje održavaju tlak u tom parogeneratoru. Nivo vode u parogeneratoru (široko područje mjerenja) prikazan je na slici 7. U parogeneratoru 1 nivo vode sasvim padne. U parogeneratoru 2 nivo vode padne na približno pola visine grijaće sekcije, a zatim s aktiviranjem pomoćne napojne vode nivo počinje ponovo rasti.



Slika 6. Tlak u parogeneratorima



Slika 7. Nivo vode u parogeneratorima (široko područje mjerenja)

Za daljnju analizu bitno je uočiti sljedeće (slike 6. i 7):

- tlak u parogeneratoru 2 dostiže vrijednost prorade sigurnosnih ventila od 78. do 110. sekunde (odnosno od 28. do 60. sekunde nakon početka akcidenta), te ponovo od 500. sekunde
- vrh U-cijevi parogeneratora 2 ostaje otkriven u periodu od 63 do 300 sekunde.

Dakle, tijekom akcidenta postoji period kada je otkriven vrh cijevi parogeneratora uz istovremeno ispuštanje pare iz parogeneratora u atmosferu.

### 3. NOVI ASPEKT U ANALIZI POSLJEDICA LOMA CIJEVI NAPOJNE VODE

U sigurnosnom izvještaju [1] pretpostavlja se da po tehničkim specifikacijama maksimalno dopušteno propuštanje rashladnog sredstava iz primarnog kruga iznosi 0.063 l/s.

U analizama je do sada uvijek uzimano u obzir da se u slučaju propuštanja u parogenerator rashladno sredstvo primarnog kruga miješa i s vodom i parom u parogeneratoru. Međutim, kao što je u prethodnom proračunu pokazano, postoje situacije kada se mora razmatrati samo miješanje primarne vode s parom u parogeneratoru. U tekstu koji slijedi postavljen je matematički model da bi se moglo izračunati koliko bi primarne vode u opisanoj sekvenci kvara nakon propuštanja i isparavanja u parogeneratoru otišlo u atmosferu.

#### 3.1. Matematički model

Ako parni prostor parogeneratora nadomjestimo jednim kontrolnim volumenom, onda se bilanca mase može napisati:

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{isp} - \dot{m}_{sv} \quad (1)$$

gdje je:

$\dot{m}_{isp}$  — maseni protok isparavanja u parni prostor

$\dot{m}_{sv}$  — maseni protok kroz sigurnosne ventile parogeneratora

Uz pretpostavku da maksimalno dopušteno propuštanje vode iz primarnog kruga ide u parni prostor parogeneratora, taj se efekt može izraziti dodavanjem člana  $\dot{m}_{ps}$  (maseni protok iz primarnog u sekundarni krug) u jednadžbu (1):

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_{isp} - \dot{m}_{sv} + \dot{m}_{ps} \quad (2)$$

Vrijednost  $\dot{m}_{ps}$  na dalje se uzima konstantnom (0.0455 kg/s).

Iz jednadžbe (2) može se odrediti ukupna masa fluida u parnom prostoru parogeneratora, dok se masa primarne vode koja je prešla u sekundarni krug, isparila, i nalazi se u parnom prostoru parogeneratora ( $m_{ps}$ ) može odrediti iz jednadžbe:

$$m_{ps} = \int_{t_1}^t \dot{m}_{ps} dt - M \int_{t_2}^t \dot{m}_{sv} dt \quad (3)$$

gdje je:

$t_1$  — vrijeme od kada vrh U-cijevi nije pokriven vodom

$t_2$  — vrijeme od kada su otvorili sigurnosni ventili parogeneratora

$M = \frac{m_{ps}}{m}$  — odnos mase primarne vode koja

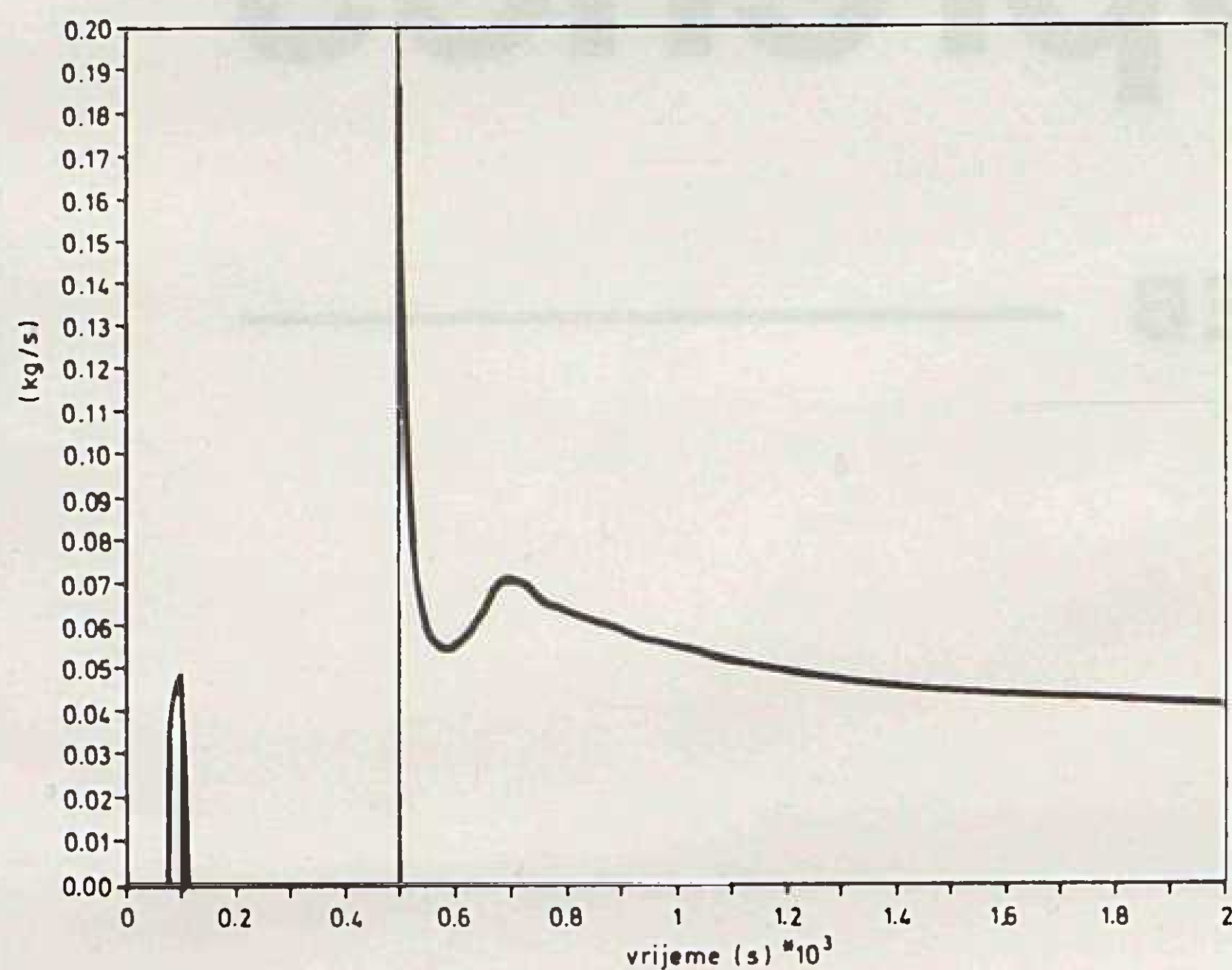
je prešla u sekundarni krug i ukupne mase fluida u parnom prostoru parogeneratora.

#### 3.2. Rezultati proračuna

Proračunom primjenom programa RELAP5, za slučaj loma cijevi napojne vode, mogu se dobiti vrijed-

nosti masenog protoka kroz sigurnosne ventile ( $m_{sv}$ ) i masenog protoka isparavanja ( $m_{isp}$ ) u parni prostor.

Primjenom jednadžbi (2) i (3) može se izračunati udio primarne vode u masenom protoku kroz sigurnosne ventile. Na slici 8. prikazan je izračunati protok kontaminirane pare, tj. vode primarnog kruga koja je pretpostavljenim malim propuštanjem došla u parogenerator isparila i ispuhana je kroz sigurnosne ventile u atmosferu.



Slika 8. Maseni protok kontaminirane pare kroz sigurnosne ventile parogeneratora 2

#### 4. ZAKLJUČAK

U radu je izvršen proračun posljedica pretpostavljenog loma cijevi u sistemu glavne napojne vode. Za pozitivan ishod ovog akcidenta bitno značenje proračuna sigurnosnih ventila tlačnika i prorade sistema pomoćne napojne vode.

U drugom su dijelu rada sagledane posljedice loma cijevi napojne vode s novog aspekta. Konstatirano je da u jednom razdoblju vrh U-cijevi postaje otkriven a da istovremeno dolazi i do prorade sigurnosnih ventila parogeneratora. Za taj je slučaj, uz konzervativne pretpostavke, izračunato ispuštanje kontaminirane pare. U lit. [4] korišteni su gore dobiveni rezultati i proračunate doze su znatno ispod dopuštenih.

#### LITERATURA

- [1] Final Safety Analysis Report (FSAR) za NE Krško, Westinghouse, Pittsburgh, 1980.
- [2] W. H. RANSOM, R. J. WAGNER, J. A. TRAPP, K. E. CARLSON, D. M. KISER, H. KUO, H. CHOW, R. A. NELSON, S. W. JAMES: »RELAP5/MOD1 Code Manual«, EG&G, IDAHO, USA, 1982.
- [3] D. FERETIĆ, N. ČAVLINA i dr.: »Sigurnosne karakteristike postrojenja nakon kvarova na sekundarnoj strani«, Studija za NE Krško, ETF, Zagreb, 1989.
- [4] M. BAČE, V. KNAPP, D. PEVEC, D. GRGIĆ: »Proračun radioloških posljedica akcidentalnog ispuštanja kontaminirane vodene pare u atmosferu«, Studija za NE Krško, ETF, Zagreb, 1989.

#### A NEW ASPECT IN ANALYSIS OF FW PIPE BREAK CONSEQUENCES IN NPP

In the article is presented a calculation of primary and secondary parameters in NPP after an accident of FW pipe break. Calculation is performed by computer program RELAPS. Also are analysed consequences of FW pipe break accident in coincidence with SG water level lower than U-tubes bend and SG pressure equal to safety valves set point.

#### EIN NEUER ASPEKT IN DER ANALYSE DER FOLGEN EINES ROHRBRUCHES DES ZUFÜHRWASSERS IM KERNKRAFTWERK

Hier wird die Berechnung der Parameteränderung des primären und sekundären Kreises des Kernkraftwerkes unter der Voraussetzung, daß es zu einem Rohrbruch des Hauptzuführwassers kam. Die Berechnung wurde mit dem Computerprogramm RELAPS ausgeführt.

Dadurch wurden vom neuen Aspekt aus die Folgen des Rohrbruchs des Zuführwassers analysiert zu denen es kommen kann, wenn das Wasserniveau im Parogenerator niedriger als die Spitze des U-Rohres ist und der Druck im Parogenerator den Wert der Sicherheitsventile erreicht hat.

#### НОВЫЙ АСПЕКТ АНАЛИЗА ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗЛОМА ТРУБ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Описан расчёт изменения параметров первичного и вторичного контуров атомной электростанции с предпосылкой, что произошёл излом трубы главной питательной воды. Расчёт выполнен с применением вычислительной программы РЕЛАПС. Затем с нового аспекта проанализированы последствия излома труб питательной воды, которые могут произойти, если одновременно уровень воды в парогенераторе ниже верха U-трубы, а давление в парогенераторе достигло значения срабатывания предохранительных клапанов.

Naslov pisca:

Mr. Nikola Čavlina, dipl. inž.  
Elektrotehnički fakultet,  
41000 Zagreb, Unska 17,  
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**

# NOVI REFERENTNI ETALONI ZA VOLT I OM OD 1. 1. 1990.

Prof. dr. Dušan Vujević, Zagreb

UDK 389  
PREGLEDNI RAD

Saopćava se da se prema preporuci CCE i CIPM od 1. siječnja 1990. koriste novi referentni etaloni za volt i om. Budući da su znanstveno prihvaćenim mjeriteljskim metodama utvrđene razlike između starog i novog volta i oma, upozorava se na nužnost korekcije svih etalona napona i otpora, digitalnih mjernih instrumenata itd.

**Ključne riječi:** referentni etalon, etalon, volt, om.

## 1. UVOD

Međunarodni sustav jedinica (SI — *Système International*) ima sedam osnovnih (temeljnih) jedinica: metar za duljinu, sekundu za vrijeme, kilogram za masu, kelvin za termodinamičku temperaturu, kandelu za svjetlosnu jakost, mol za količinu tvari u amper za jakost struje. Osim osnovnih postoje imenovane i neimenovane izvedene jedinice. Imenovane su one jedinice koje imaju posebno naziv, npr. jedinica sile njutn (simbol N), dok jedinica površina četvorni metar koja nema posebni naziv predstavlja neimenovanu jedinicu. Izvedene jedinice dobivaju se iz osnovnih jedinica. Tako je npr. jedinica sile njutn izvedena iz osnovnih mehaničkih jedinica metar, kilogram i sekunda, a na osnovi drugog Newtonova zakona:  $N = m \cdot kg \cdot s^{-2}$ .

Osnovna jedinica elektromagnetizma amper (A) prema definiciji je »ona konstantna struja koja prolazeći dvama usporednim, ravnim, beskonačno dugim vodičima zanemarivo malena kružna presjeka, razmaknutim jedan metar u praznini (vakuumu), uzrokuje među njima silu od  $2 \cdot 10^{-7}$  njutna po metru duljine«. Ta definicija implicira da induksijska konstanta  $\mu_0$  za vakuum točno iznosi  $0,4 \cdot 10^{-6} N/A^2$ .

Volt i om su imenovane izvedene jedinice. Volt je razlika električnog potencijala između dvije točke vodiča kroz koji teče konstantna struja od jednog ampera kada je disipacije snage između tih točaka jednaka jedan vat.

Om je električni otpor između dvije točke vodiča kada između njih uz konstantnu razliku potencijala od jednog volta teče struja od jednog ampera, a pritome vodič ne sadrži nikakav naponski izvor. Osnovne jedinice SI najčešće se ostvaruju (reproduciraju) polazeći do njihove definicije. Za pouzdano ostvarenje većine osnovnih jedinica danas se upotrebljavaju pomno istražene prirodne pojave za koje je utvrđeno da se uz jednake uvjete okoline ponavljaju ili traju na identičan način. To su pojave u atomima, precizno propisano stanje tvari itd. Uređaji pomoću kojih

se navedene prirodne pojave iskorištavaju u mjeriteljske svrhe nazivaju se prirodnim pramjerilima. Jedinica mase se održava odnosno pohranjuje pramjerom koja postojano zadržava vrijednost te fizikalne veličine ako se čuva pri određenim stanjima okoline.

Držeći se duha definicije, amper se realizira pomoću strujnih vaga ili drugim složenim uređajima. Kako se struja ne može pohraniti za kasnije korištenje, pohranjuje se napon  $U$ . Veličina pohranjenog napona određuje se iz struje  $I$ , dobivene strujnom vagom ili drugim uređajima, i električnog otpora  $R$ , pohranjenog otpornim etalomom, prema izrazu  $U = IR$ . Osim naziva »etalon« često se u literaturi rabe nazivi »standard« i »normala«. Prema [1] etalon je mjera, mjerilo ili sustav namijenjen definiranju, ostvarenju (realizaciji), pohranjivanju ili obnavljanju jedinice, odnosno jedne ili više poznatih vrijednosti fizikalne veličine radi prenošenja usporedbom tih vrijednosti na druga mjerila (npr. etalon mase 1 kg; etalonski otpornik od  $10 \Omega$ ; Westonov etalonski članak sa zasićenim elektrolitom) [1]. Postoji više vrsta etalona, npr. primarni, referentni, radni itd. Oni su hijerarhijski povezani. Pod pojmom »referentni etalon« razumijeva se etalon najviše mjeriteljske kakvoće raspoloživ na nekom području, npr. državi. Od 1. 1. 1990, prema preporukama Međunarodnog komiteta za utege i mjere (CIPM — *Comité international des poids et mesures*) i Savjetodavnog komiteta za električnu (CCE — *Comité consultatif d'Électricité*), nacionalni mjeriteljski laboratoriji mnogih industrijski razvijenih zemalja primjenjivat će nove referentne etalone kojima se ostvaruju odnosno reprezentiraju jedinica napona — volt i otpora — om.

## 2. REFERENTNI ETALONI ZA VOLT I OM

Od početka dvadesetog stoljeća napon se pohranjuje pomoću slogova (grupa) kemijskih izvora poznatih pod imenom Westonov etalonski članak, a otpor pomoću slogova preciznih žičanih otpornika. Slogovi Westonovih članaka smještaju se u uljne ili zračne

ultratermostate kako bi bili na jednoj konstantnoj temperaturi, između  $28^{\circ}\text{C}$  i  $35^{\circ}\text{C}$ , sa stabilnošću reda veličine milikelvina. Od kraja šezdesetih godina stabilnost napona Westonovih etalonskih članaka kontrolira se Josephsonovim uređajem.

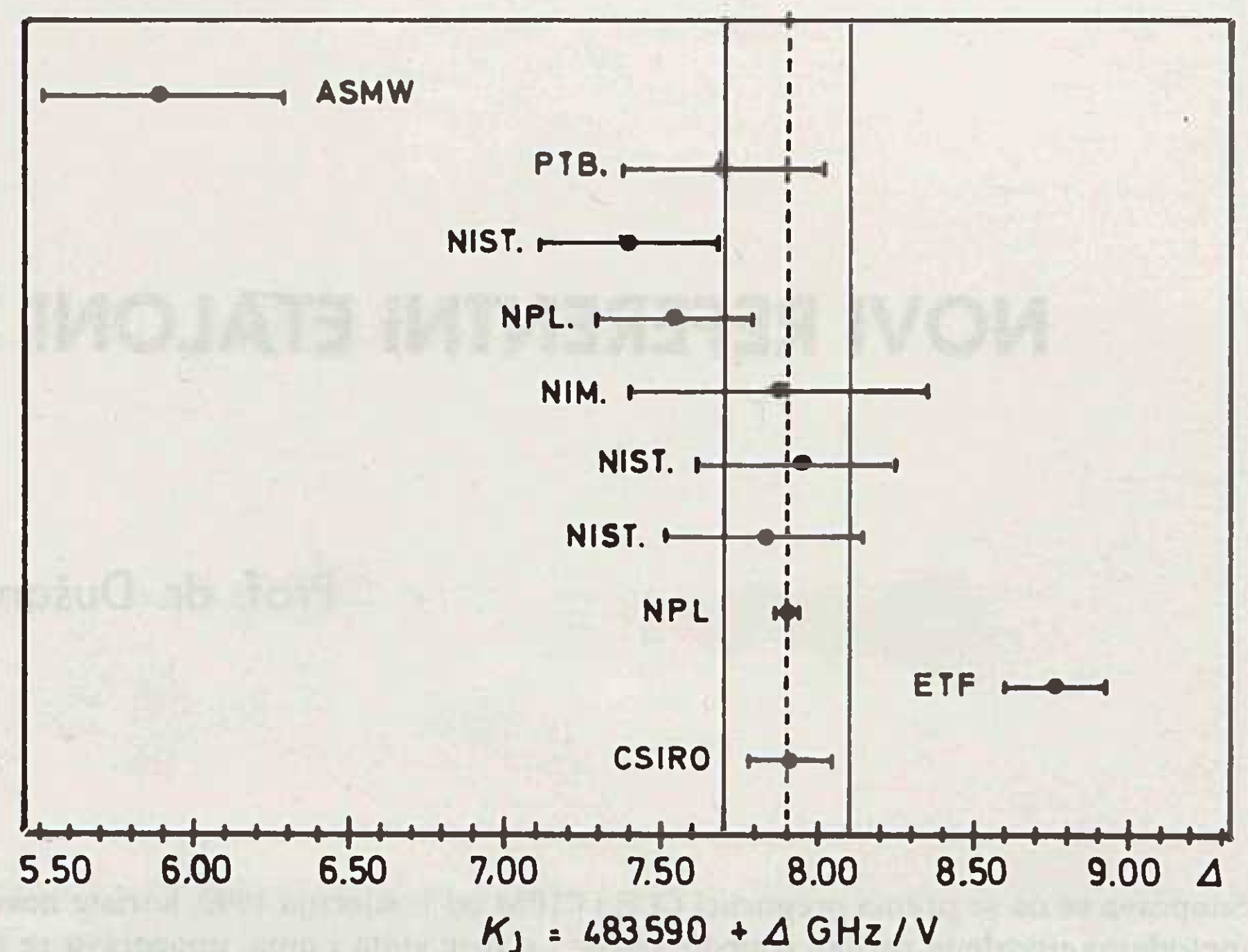
Josephsonov uređaj zasniva se na istoimenom efektu objavljenom 1962. godine. Osnovica tog uređaja su tzv. slabo vezani supravodiči npr. dva tanka filma supravodljivog niobiuma razdvojena slojem oksida debljine 1 nm, održavana na temperaturi blizu apsolutne ničice (oko 2 K). Ako se ozrače mikrovalnim elektromagnetskim poljem frekvencije  $f$ , krivulja struje kao funkcija napona pokazuje skokove kod precizno određenih Josephsonovih napona  $U_J$ .

Napon  $U_J$  ( $n$ )  $n$ -tog skoka jednak je  $n \cdot f / K_J$ , gdje je  $n$  cijeli broj, a  $K_J$  Josephsonova stalnica (konstanta). Ona je jednaka omjeru frekvencije i napona kod  $n=1$ , odnosno omjeru  $2e/h$  gdje je  $e$  – elementarni naboj a  $h$  – Planckova stalnica.

Na početku primjene Josephsonovih uređaja (1967. god.) stalnica se određivala u svakom nacionalnom mjeriteljskom laboratoriju na temelju poznatog napona pohanjenog Westonovim etalonskim člancima. Westonovim članicima pridjeljivan je napon na temelju struje određene pramjerilima za ostvarivanje jedinice struje i otpora. Zbog sistematskih i slučajnih pogrešaka pri ostvarivanju struje i otpora u nacionalnim mjeriteljskim laboratorijama, pridijeljeni naponi Westonovim člancima, tzv. nacionalni volt, međusobno su se razlikovali. Zbog toga su se međusobno razlikovale i Josephsonove stalnice. Na sastanku CCE održanom 1972. godine predloženo je da nacionalni mjeriteljski laboratoriji prihvate za Josephsonovu stalnicu vrijednost  $483\,594,0\text{ GHz/V}$ . Većina nacionalnih laboratorija koji su posjedovali Josephsonove uređaje prihvatila je prijedlog i na temelju stalnice pridjeljivala je odgovarajuću vrijednost napona svojim Westonovim člancima [2]. Ti su se članci koristili za različita mjerenja i transfer jedinice napona između laboratorija.

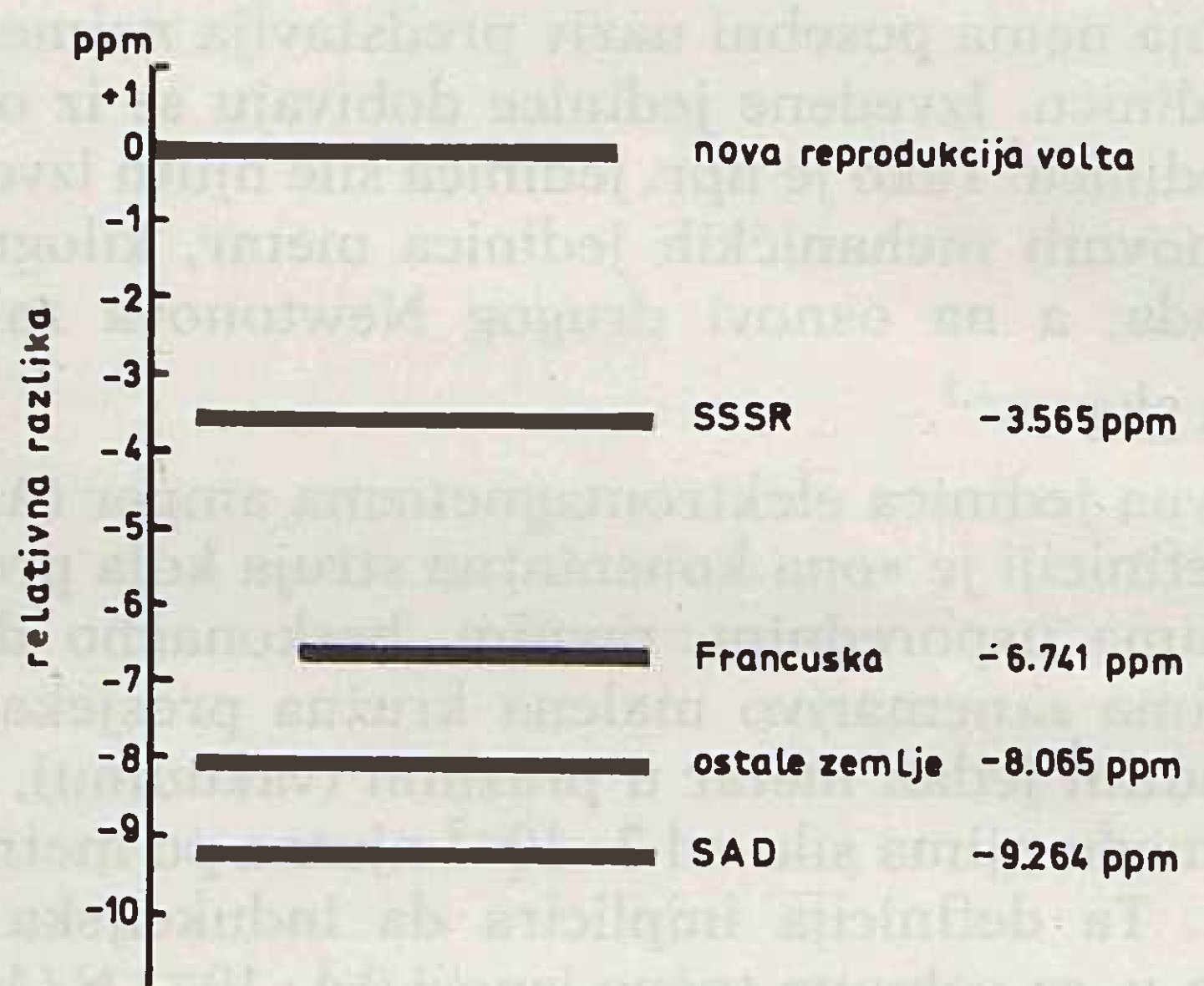
Na temelju niza mjerenja suvremenim strujnim i naponskim vagama te drugim uređajima za ostvarivanje ampera i volta u sedam nacionalnih i znanstvenih laboratorija, CCE i CIPM preporučili su 1988. godine [3], da Josephsonova stalnica od 1. siječnja 1990, ali ne prije, iznosi  $483\,597,9\text{ GHz/V}$  s relativnom mjernom nesigurnošću prema SI voltu od  $0,4 \cdot 10^{-6}$  uz statističku sigurnost  $P=68,3\%$  ( $1\sigma$ ). Na slici 1. prikazani su rezultati na temelju kojih je određena stalnica  $K_{J-90}$ . Indeks 90 označava da ta stalnica vrijedi od 1990. godine. Ne preporuča se označavanje oblika  $V_{90}$ . Na slici 2. dane su razlike između volta definiranog novom Josephsonovom stalnicom i volta pohranjivanog u nekim nacionalnim laboratorijima [4].

Kako je već bilo spomenuto, jedinica otpora om održavala se pomoću slogova žičanih otpornika koji su podložni starenju i odn. promjenama veličine koje pohranjuju tijekom vremena. Tako održavan om, iz sličnih razloga kao i volt, razlikovao se od laboratorija do laboratorija.



Slika 1. Vrijednosti za Josephsonove stalnice  $K_J$  i pripadne nesigurnosti (horizontalne linije) dobivene u svjetski poznatim laboratorijima na temelju mjerenja strujnim i naponskim vagama i drugim mjernim uređajima i metodama. Vertikalna crtkana linija označava preporučenu vrijednost stalnice, a vertikalne pune lijenije njezinu mjernu nesigurnost.

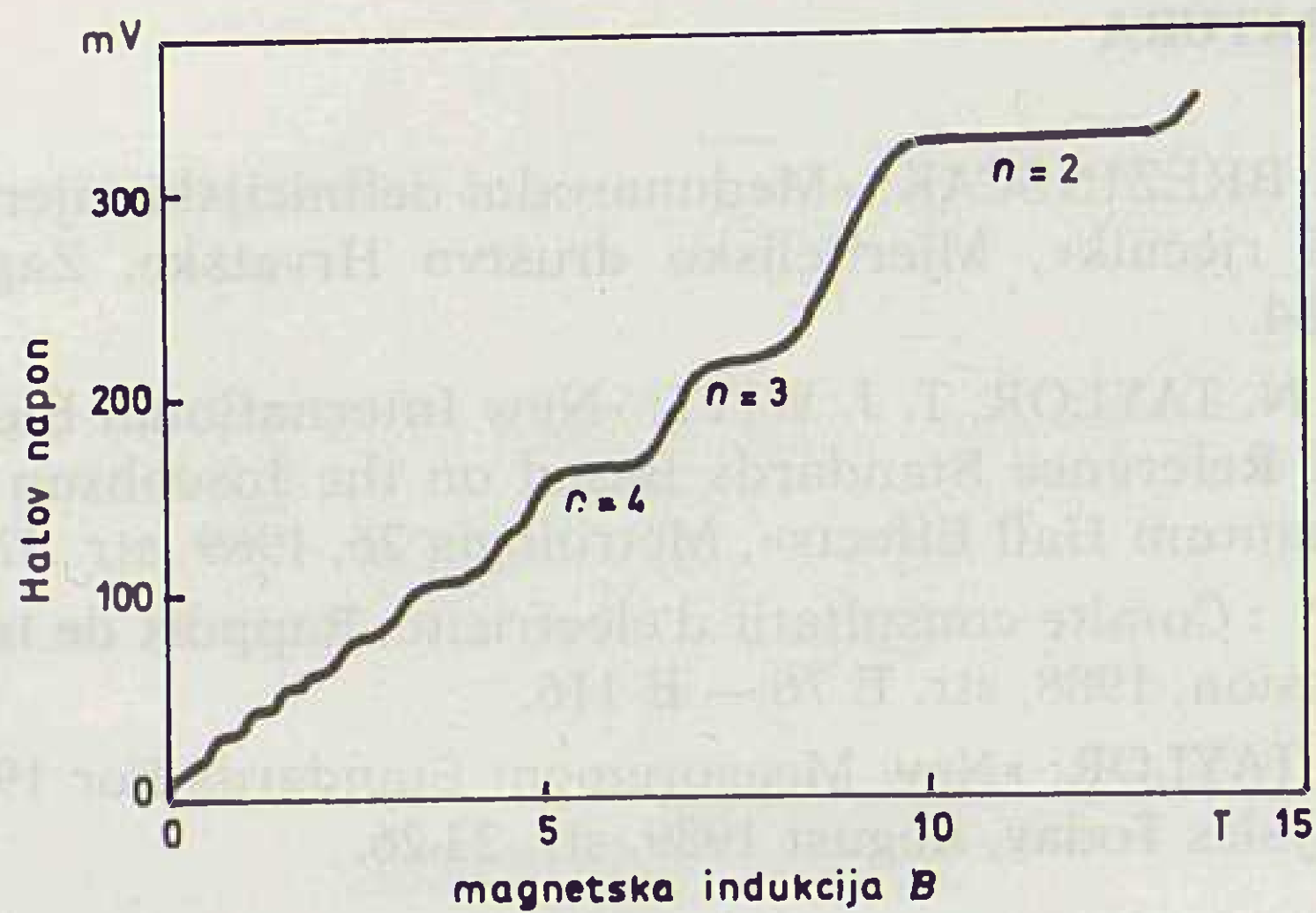
ASMW – Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung, Berlin, NJDR, PTB – Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, SRNJ; NIST – National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, SAD; NPL – National Physical Laboratory, Teddington, Vel. Brit.; NIM – National Institute of Metrology, Peking, NR Kina; ETF – Elektrotehnički fakultet u Zagrebu, CSIRO – Commonwealth Scientific and Industrial Research organization, National Measurement Laboratory, Australija.



Slika 2. Grafički prikaz razlika između novog i starih ostvarenja volta

Von Klitzing otkrio je 1980. god. tzv. kvantni Hallov efekt i za to otkriće dobio Nobelovu nagradu. Kvantni Hallov efekt može se ostvariti pomoću poluvodiča (silicijski MOSFET ili  $\text{GaAsAl}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  spojište tzv. heterojunction) održavanog na temperaturi od oko 1 K i u magnetskom polju indukcije  $B$  oko 10 T. Teče li kroz poluvodič stalna struja, obično 10 do 30  $\mu\text{A}$ , krivulja Hallova napona  $U_H$  kao funkcija upravljačkog napona  $U_G$  MOSFET-a, ili  $U_H$  kao funkcija  $B$  kod spojišta, unutar pojedinih intervala  $U_G$  odn.  $B$  pokazuje stalnost  $U_H$ . Područja stalnog  $U_H$  nazivaju se Hallovim platoima (sl. 3). Uz određene uvjete kvantiziran Hallov otpor  $i$ -tog platoa  $R_H(i)$  određen





Slika 3. Hallovi platoi u ovisnosti o magnetskoj indukciji  $B$

je omjerom Hallova napona  $i$ -tog platoa i struje  $I$ . Može se pisati  $R_H(i) = U_H(i)/I = R_K/i$ , gdje je  $i$  cijeli broj.  $R_K$  se naziva Klitzingovom stalnicom i jednaka je otporu za  $i=1$ , a može se u elektromagnetskom mjeriteljstvu smatrati jednakom  $h/e^2$ . Prema preporukama CCE i CIPM od 1988. godine, a na temelju rezultata mjerenja u nekoliko svjetskih laboratorija, od 1. 1. 1990, ali ne prije, Klitzingova stalnica iznosi  $R_{K-90} = 25 = 821,807$  oma. Relativna nesigurnost te stalnice s obzirom na SI ohm jest  $0,2 \cdot 10^{-6}$  za  $1\sigma$ . Korekcije oma su mnogo manje od korekcije volta i iznose, ovisno o državi koje te jedinice pohranjuje, od nekoliko desetinki ppm od 4 ppm. Tako korekcija oma održavanog u SAD iznosi  $1,69 \cdot 10^{-6}$  (1,69 ppm) [4].

### 3. POSLJEDICE UPOTREBE NOVIH REFERENTNIH ETALONA

Novi referentni etaloni temeljeni na pojavama u atomima i između njih omogućuju reprodukciju jedinice napona i otpora s malom mjerom nesigurnosti s izvanrednom ponovljivosti<sup>1</sup> i obnovljivosti<sup>2</sup>. Također će se eliminirati postojeće razlike između ostvarenja volta i oma u pojedinim državama i na taj način poboljšati i ujednačiti mjerenja električnih veličina u svijetu. U doglednoj budućnosti ne predviđa se promjena Josephsonove i Klitzingove stalnice.

Promjene u referentnim etalonima napona i otpora imaju utjecaj i na struju, snagu i energiju, jer su te fizikalne veličine povezane s naponom i otporom. Pomoću novih referentnih etalona kontrolirat će se naponi Westonovih etalonskih članaka i visokostabilnih elektroničkih izvora, odnosno otpori preciznih žičanih otpornika u nacionalnim i ostalim mjeriteljskim laboratorijima.

Iz grafičkog prikaza na slici 2. vidi se da volt održavan u evropskim i drugim nacionalnim laboratorijima, osim u SAD, SSSR-u i Francuskoj, ima za

$8,065 \cdot 10^{-6}$  V manji iznos od onog koji ostvaruje novi referentni standard. Zato će se morati korigirati (ispraviti) veličine napona koje pohranjuju etaloni, kao npr. Westonovi etalonski članci u ultratermostatima, visokostabilni izvori s Zenerovim diodama i sl. Također se moraju korigirati pokazivanja preciznih instrumenata i uređaja kao što su digitalni voltmetri i multimetri s 5 1/2 i više znamenki (digita), istosmjerni i izmjenični kalibratori, naponski izvori koji se mogu programirati, a predviđeni su za umjeravanje (baždarenje) mjernih instrumenata, klasični kompenzatori s granicama pogrešaka  $1 \cdot 10^{-4}$  (100 ppm) ili manjom, ako imaju ugrađeni etalonski izvor. Općenito, moraju se korigirati svi izvori koji pohranjuju i instrumenti koji mjere napon čije su granice pogrešaka jednake ili manje od deseterostrukog iznosa razlike između starog i novog volta.

To se odnosi i na sve mjerne uređaje za mjerenje otpora (mjerni mostovi s ugrađenim etalonskim otpornicima, digitalni omometri s 6 1/2 znamenki i sl.), čije su granice pogrešaka jednake ili manje od deseterostrukog iznosa razlike pojedinog nacionalnog oma i novog oma.

Etaloni i uređaji za mjerenje snage, energije, istosmjerne i izmjenične struje, ovisno o granicama pogrešaka kojim pohranjuju ili mjere jednu od navedenih fizikalnih veličina, moraju se također korigirati. Budući da je  $I = U/R$  uređaji za mjerenje struje, čije su granice pogrešaka jednake ili manje od  $10(a - b)$ , moraju se korigirati za  $(a - b)$  ppm. S  $a$  je označena razlika između starog i novog volta, a s  $b$  razlika između starog i novog ohma.

Uređaji za mjerenje snage kojima su granice pogrešaka jednake ili manje od  $10(2a - b)$  ppm moraju se korigirati za  $(2a - b)$  ppm, jer je  $P = U^2/R$ .

Kompenzatori, mostovi, djelila i slični uređaji koji koriste vanjske etalone ne trebaju se korigirati.

### 4. PRIMJERI KORIGIRANJA

U SFRJ ne postoje nacionalni etaloni volta i oma. Slogovi Westonovih članaka i visokostabilni elektronički izvori, te slogovi žičanih otpornika Saveznog zavoda za mjere i dragocjene kovine (SZMDK) i u nekih drugih laboratorija povremeno se uspoređuju s odgovarajućim etalonima u Međunarodnom uredu za utege i mjere (BIPM) u Sèvresu ili u nekom drugom poznatom laboratoriju, npr. PTB-u (mjeriteljskom uredu Savezne Republike Njemačke). Prema tome naponi koje pohranjuju ti naponski etaloni moraju se korigirati za 8,065 ppm. Etaloni, instrumenti i uređaji za pohranjivanje ili mjerenje napona s granicama pogrešaka 100 ppm ili manjom, nabavljenim u SAD, a koji 1. 1. 1990. nisu korigirani, moraju se korigirati za 9,284 ppm, koliko se napon održavan u NIST (prije NBS — nacionalni mjeriteljski ured SAD) razlikuje od napona definiranog novim referentnim etalomom. Napon Westonova etalonskog članka, kao i nekih elektroničkih naponskih izvora ne može se ugadati. Pa kako onda korigirati vrijednost koju pohranjuju? Općenito vrijedi: ako se mjerna jedinica

<sup>1</sup> Mjerna ponovljivost je bliskost slaganja rezultata uzastopnih mjerenja iste veličine obavljenih istom metodom, od istog mjeritelja, istim mjernim instrumentima, na istom mjestu, uz jednake uvjete i s ponavljanjem u kratkom vremenskom razmaku [1].

<sup>2</sup> Mjerna obnovljivost je bliskost međusobnog slaganja rezultata uzastopnih mjerenja iste veličine kada se pojedina mjerenja obavljaju pri izmijenjenim okolnostima kao što su mjerna metoda, mjeritelj, mjerilo, mjesto, uvjeti primjene, vrijeme [1].

poveća za  $X$  ppm, tada će se iznos veličine izražen s tom jedinicom smanjiti za  $X$  ppm u odnosu na staru jedinicu. To znači da se naponu pohranjenog Westonovim člankom ili drugim visokostabilnim izvorom pridjeljuje vrijednost umanjena za 8,065 ppm. Neka je naznačena vrijednost napona izvora prije 1. 1. 1990. bila 1,000 000 V. Od 1. 1. 1990. naznačena vrijednost napona tog izvora bit će 0,999 991 935 V, odnosno zaokruženo 0,999 991 94 V. Postoji li fizička mogućnost promjene napona koji je izvorom pohranjen, kao npr. kod nekih visokostabilnih elektroničkih izvora tada, ako se želi da nova vrijednost izlaznog napona bude numerički jednaka staroj vrijednosti, treba povećati izlazni napon izvora za 8,065 ppm. Dakle, ako je nazivna vrijednost napona na izlazu 10,000 000 V, treba ga povećati za 80,65  $\mu$ V.

Digitalni voltmetar korigira se tako da mu se, pri konstantnom priključenom naponu, smanji pokazivanje za 8,065 ppm.

Iz navedenog proizlazi da se korekcije moraju provesti vrlo pažljivo i s ispravnim predznakom, pridržavajući s pritome uputa proizvođača mjerne opreme. Postupak korigiranja treba kontrolirati instrumentima odgovarajuće kvalitete i rezolucije. Isto vrijedi i za odgovarajuće izmjenične mjerne uređaje. Međutim, većina mjernih uređaja za izmjenične veličine ima šire granice pogrešaka od odgovarajućih uređaja za istosmjerne, a redovito se umjeravaju istosmjernim etalonima. Zato se ne trebaju posebno korigirati.

## 5. PROMJENE U OSTALIM JEDINICAMA

Prema [4] u SAD s danom 1. 1. 1990. ostvarivanje jedinice kapaciteta — farad bit će smanjena za oko 0,14 ppm. Kako ta promjena utječe samo na etalone i instrumente čije su granice pogrešaka manje ili jednake 2 ppm, za taj će iznos povećati samo kapaciteti etalonskih kondenzatora s kvarcnim dielektrikom.

S danom 1. 1. 1990. zamjenjuje se Međunarodna praktična temperaturna skala IPTS — 68 (International Practical Temperature Scale) od 1968. godine sa ITS — 90 (International Temperature Scale) u 1990. godini. Promjene su, ovisno o iznosu temperature, od nekoliko milikelvina do nekoliko stotina milikelvina. Praktički, te promjene temperaturne skale utječu samo na preciznu termometriju i na korekcije naponskih etalona smještenih u uljne ili zračne ultratermostate.

## LITERATURA

- [1] M. BREZINŠČAK: »Međunarodni definicijski mjeriteljski rječnik«, Mjeriteljsko društvo Hrvatske, Zagreb, 1984.
- [2] B. N. TAYLOR, T. J. WITT: »New International Electrical Reference Standards Based on the Josephson and Quantum Hall Effects«, Metrologia 26, 1989, str. 47-62.
- [3] \*\*\* : Comite consultatif d'electricite, Rapport de la 18<sup>e</sup> session, 1988, str. E 76 — E 116.
- [4] N. TAYLOR: »New Measurement Standards For 1990«, Physics Today, August 1989, str. 23-26.

### NEW REFERENT STANDARDS FOR VOLT AND OHM UNITS AFTER 1. 1. 1990.

In the article is reported about usage of new referent standards for volt and ohm units in accordance to CCE and CIPM after 1. 1. 1990. On the scientific methods determined are differences between old and new units and it is stressed necessity for correction of all voltage and ohm standards, digital measuring instruments, etc.

### NEUE REFERENTE ETALONS FÜR VOLT UND OHM VOM 1. 1. 1990.

Es wird mitgeteilt, daß nach der Empfehlung der CCE und CIPM vom 1. Januar 1990 neue referente Etalons für Volt und Ohm benutzt werden. Da mittels wissenschaftlich angenommener Meßmethoden die Unterschiede zwischen dem alten und neuen Volt und Ohm festgestellt wurden, wird auf die Notwendigkeit der Korrektur aller Etalons der Spannung und Ohme, digitaler Meßinstrumente usw. aufmerksam gemacht.

### НОВЫЕ ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ЭТАЛОНЫ ВОЛЬТА И ОМА С 01. 01. 1990 г.

Сообщается, что по предлагаемые ЦЦЭ и ЦИПМ с «01» января 1990 года применяются новые рекомендуемые эталоны вольта и ома. Поскольку научно произведенными измерительными методами установлено различие старых и новых вольта и ома, обращается внимание на необходимость коррекции всех эталонов напряжения и сопротивления, цифровых измерительных приборов и т. д.

Naslov pisca:

**Prof. dr. Dušan Vujević, dipl. inž.**  
**Elektrotehnički fakultet,**  
**41000 Zagreb, Unska 3,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis  
 1989-10-26

## PITANJE RADIOAKTIVNOG OTPADA NE KRŠKO

Predstavnici Izvršnog vijeća Sabora SR Hrvatske i Skupštine SR Slovenije održali su zajednički sastanak na kojem je raspravljano o problemima radioaktivnih otpadaka. Budući da se neki zadaci sporo realiziraju, zaključeno je da je potrebno ojačati i reorganizirati službu za radioaktivne optade u sklopu NE Krško. Na razini obiju republika poslove će pratiti svi nadležni organi i organizacije uključujući izvršna vijeća Sabora SR Hrvatske i Skupštine Slovenije.

Međurepublička koordinacija je zaključila da će stručne organizacije iz obje republike dalje raditi na usklađivanju osnovnih kriterija za izbor moguće lokacije za odlaganje radioaktivnog otpada.

I. R.

## NOVA ZGRADA ELEKTROTEHNIČKOG FAKULTETA

U sklopu zagrebačkog Elektrotehničkog fakulteta potkraj listopada 1989. godine je otvorena nova reprezentativna zgrada te visoke školske institucije. Predsjednik SIV-a inž. Ante Marković otvorio je novu zgradu i tom prigodom održao govor o značenju rada Elektrotehničkog fakulteta, kao i o značenju razvoja fakulteta u budućnosti za obrazovanje budućih inženjera elektrotehnike.

Inicijativa za proširenje djelatnosti te znanstveno-nastavne ustanove potekla je 1965. godine, a plod je naraslih potreba privrede za tom vrstom stručnjaka. Taj zadatak nije se mogao obaviti bez udovoljavanja nužnim prostornim i kadrovskim uvjetima, uključujući i nužnu opremu. Prostor je sada osiguran, pa ubuduće treba riješiti problem opremanja i kadrovske popune, jer je veći broj inženjera elektrotehnike razvojni imperativ vremena. Prostorno proširenje velika je prilika Elektrotehničkom fakultetu ne samo za vlastiti razvoj nego i za bolju suradnju s privredom i modernizaciju studija prema zahtjevima treće tehnološke revolucije.

I. R.

## RADE KONČAR — SURADNJA SA STRANIM PARTNERIMA

SOOUR »Rade Končar« — pogon Frižideri Bitola nedavno je potpisan ugovor sa tvrtkom »Celex« iz ČSSR u vrijed-

nosti od 17,2 milijuna USA dolara. Novi ugovor je nastavak višegodišnje suradnje s tvrtkom »Celex«. Končarev proizvođač hladnjaka iz Bitole i »Celex« iz Zlatnih Moravica potpisali su prvi ugovor o kooperaciji 1972. godine. Dosada je čehoslovački partner isporučio tvornici »Rade Končar« više od 1,1 milijun kompresora, obostrano je razmijenjeno oko 1,5 milijun različitih modela hladnjaka i zamrzivača. Ostvarena je robna razmjena u vrijednosti od 200 milijuna USA dolara.

Nadalje, kolektiv »Rade Končar« je sa sovjetskom tvornicom za proizvodnju raznih aparata i uređaja »V. L. Lenjin« osnovao zajedničko poduzeće »Zil Končar« sa sjedištem u Sevastopolju.

Poduzeće »Zil Končar« poslovat će na principu jednakih uloga. Obje strane ulažu 1,4 milijun dolara. Jednak je i udio u upravljanju, odlučivanju i riziku. Proizvodni program činit će automatizirani nadzorno-upravljački sistemi na brodovima.

Osnivanjem ovog poduzeća »Rade Končar« je proširio svoju mrežu poduzeća u inozemstvu (Italija, Turska, Nigerija, Malezija, Švicarska) i potvrdio višegodišnju suradnju s poduzećima Sovjetskog Saveza.

I. R.

## NAPREDUJE GRADNJA HE VIŠEGRAD

Prema informacijama Elektroprivrede Bosne i Hercegovine, gradnja drinske HE »Višegrad« vrlo je intenzivirana u 1989. godini. Radovi na temeljnim objektima ostvaruju se u planiranim rokovima. Nedavno je obavljena i prva mehanička proba prvog od tri agregata, što predstavlja uspjeh graditelja elektrane »Višegrad«. HE »Višegrad« instalirane snage 315 MW i mogućom godišnjom prosječnom proizvod- Hercegovine na rijeci Drini. Površinski sliv Drine, gdje se gradi elektrana iznosi 14 tisuća četvornih metara, ukupna visina brane je 79,5 metara, a zapremnina akumulacije oko 160 milijuna m<sup>3</sup>. Radovi na brani dobrim su dijelom završeni i sada se radi na montaži hidromehaničke i elektrostrojarske opreme.

Od pratećih objekata završeno je 17 km magistralne ceste, 20 km suvremene regionalne ceste i oko 20 km lokalnih prometnica i priključaka s 38 tunela ukupne dužine 9 km, pet mostova i vijadukti u dužini 2,5 km.



RO »Rade Končar«  
— pogon Frižideri  
u Bitoli

## Uključenje u energetska sistem Jugoslavije

Važna je gradnja prijenosnih objekata za povezivanje HE »Višegrad« u jedinstveni prijenosni sistem Jugoslavije. To su dalekovod 400 kV HE Višegrad – Tuzla – Zvornik, DV 110 kV Višegrad – Goražde, TS 400/110kV Višegrad, TS 400/220/110 kV »Tuzla« (Ljubače)-proširenje, kao i proširenje TS 110/35 kV »Goražde«.

Dosada je izgrađen DV 400 kV HE »Višegrad« – TS Višegrad. Na dalekovodu 400 kV Višegrad – Zvornik – Tuzla gotova je dionica Zvornik – Tuzla, dužine 45 km. Na dionici Višegrad – Zvornik, oko 79 km, radovi su u toku. Završeni su radovi na dionici DV 110 kV Višegrad – Goražde, dužine 36 km. Na TS 400/100 kV »Višegrad« građevni dio je dovršen, a u toku su montažni poslovi. U TS 400/220/110 kV »Tuzla« (Ljubače) – prošireni radovi su u početnoj fazi.

TS 110/35 kV »Goražde« – proširenje gradnje je završeno i dobivena je upotrebna dozvola.

I. R.

## NAUČNI SKUP U SPLITU – ELEKTRIČNA ENERGIJA ZA POTROŠAČE OTOKA

Jugoslavenski komitet svjetske konferencije za energetiku – Zajednica jugoslavenske elektroprivrede – organizirao je od 24. do 26. listopada 1989. godine u Splitu Naučno-stručni skup »Električna energija za potrošače na otocima Jadrana i udaljenim naseljima«. Na skupu je u 30 referata obrađena problematika dobivanja električne energije iz alternativnih obnovljenih izvora. Posrijedi je korištenje sunčane energije, energija vjetra, geotermalna energija, te energija biomase, izgradnja prijenosne mreže, projektiranje i izrada opreme. U sklopu skupa organiziran je okrugli stol na temu Istraživanja mogućnosti i tehničko-ekonomske opravdanosti energetske supstitucije otoka Visa i Lastova.

Kod nas je ovaj način dobivanja električne energije toliko malen da je gotovo zanemariv. Međutim, danas je u svijetu stanje drugačije, iako u ukupnom energetskom bilansu taj vid energije sudjeluje s jedva 10%. U pogonu se već nalaze solarne elektrane i elektrane na vjetar jedinične snage od nekoliko MW, geotermalne elektrane snage veće od 100 MW, a za proizvodnju električne energije koriste također energiju plime i oseke.

Te vrste izvora pokazuju se izuzetno zanimljivim pri rješavanju pitanja opskrbe potrošača električnom energijom na otocima, u udaljenim naseljima, u sportskim centrima, udaljenim poljoprivrednim dobrima, telekomunikacijskim centrima i slično.

Cilj je naučno-stručnog skupa održanog u Splitu, kojega su njegovi inicijatori imali pred sobom, da se šire i dublje s ovom oblašću upozna što veći broj stručnjaka i potencijalnih korisnika, da se sagledaju današnje mogućnosti svjetskih i domaćih proizvođača opreme. Treba ubrzati istraživanja u pogledu stvarno raspoloživih potencijala u našoj zemlji. I na osnovi rezultata istraživanja valja objektivno i bu. Ona je, naime, među nekoliko odjela odmah od osnivanja imala i strojarsko-inženjerski i brodograđevno-inženjerski, imajući prvenstveno na umu raspoloživosti, ekonomičnosti korištenja ovih izvora za opskrbu različitih potrošača električne energije u zemlji donijeti najbolja rješenja. Naučno-stručnom skupu prisustvovao je velik broj naših stručnjaka iz naučnih zavoda, instituta, elektroprivrede, projektnih organizacija, proizvođača opreme i budućih korisnika električne energije dobivene iz navedenih izvora.

I. R.

## NAUČNI SKUP ENERGETIČARA

Savez energetičara Jugoslavije, na inicijativu Savezne konferencije SSRNJ, pod pokroviteljstvom SIV-a i u suradnji s

drugim asocijacijama, organiziran je naučno-stručni skup pod nazivom »Energetika u reformi privrednog sistema.« Savjetovanje je održano od 8. do 10. studenog 1989. godine u Opatiji, a prisustvovalo je oko 300 jugoslavenskih energetskih stručnjaka.

Savjetovanje energetičara ima izuzetno važnu ulogu koju u preobrazbi privrednog sistema imaju jugoslavenski energetičari. Zahvaljujući niskim cijenama, energija se godinama trošila neracionalno, a na takvim su se cijenama temeljile i brojne pogrešne investicijske odluke. O tome dovoljno govori i podatak da je u razdoblju od 1981. do 1988. godine društveni proizvod u zemlji porastao samo 4,4 posto, a potrošnja primarne energije čak 24 posto.

Administrativno određivanje cijena energije i poremećeni pariteti među pojedinim vrstama energije i loša struktura energetske potrošnje samo su neka od nasljeđa prošlosti s kojima, rečeno je na savjetovanju, treba što prije prekinuti. U buduću u energetska politici treba slijediti svjetske trendove iskustva, a cijene energije moraju biti takve da se proizvođačima osigura dobit. Treba uspostaviti i konkurenciju pojedinih vrsta energije, a konačnom cijenom utjecati na racionalizaciju potrošnje. Država bi u buduću trebala stvoriti uvjete da ulaganja u energetiku budu znatno privlačnija, ali tako da se dobiju optimalne količine energije, a politikom cijena spriječilo bi se neracionalno trošenje.

U nizu stručnih referata obrađena je sljedeća problematika:

- Polazišta reforme u energetici – Energija u svijetu i očekivani pravci prestrukturiranja jugoslavenske energetike
- Problemi razvoja energetike Jugoslavije
- Racionalizacija u energetici – Politika racionalnog korištenja energije; Racionalna proizvodnja električne energije na bazi ugljena
- Racionalna proizvodnja nafte i plina u Jugoslaviji
- Razvoj energetske strukture i ekonomska politika – Energija i tehnološki razvoj; Pristup izgradnji elektroenergetskih objekata; Cijene pojedinih oblika energije, paritetne cijene, međusobni odnosi cijena i financiranje razvoja u njihovoj funkciji
- Energija, kadrovi i ekologija; kadrovi i naučno-istraživački rad kao faktor razvoja energetike; Energetika i ekologija; Mogućnosti i efekti zaštite prirodne okoline.

U posebnom prilogu za diskusiju obrađena je tema Racionalno upravljanje energijom u proizvodnom poduzeću.

Svi referati i vođena diskusija mogu se naći u Zborniku radova o savjetovanju energetičara Jugoslavije.

I. R.

## 70 GODINA RADA FAKULTETA STROJARSTVA

Početak studenog 1989. godine na svečan način je obilježeno 70 godina rada Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. Fakultet strojarstva i brodogradnje je nastavak rada Tehničke visoke škole osnovane 1919. godine u Zagrebnom 1120 GWh električne energije predstavlja prvu (drinsku) hidroelektranu koju gradi Elektroprivreda Bosne i Hercegovine. Oni su se razvijali kontinuirano, u sklopu raznih organizacija i fakulteta. Današnje »obličje« fakultet je dobio 1967. godine integracijom Visoke tehničke škole i Strojarsko-brodograđevnog fakulteta koji je inače nastao desetak godina ranije, kad se dotad jedinstveni Tehnički fakultet razbio pod silama razvoja na četiri dijela.

U tih je 70 godina studij strojarstva i brodogradnje postigao visok znanstveni dignitet, a inženjeri što su ga završavali nezamjenjivi u industriji i drugim djelatnostima.

S ponosom se ističe podatak da nijedan brod sagrađen na istočnoj obali Jadrana u tih sedamdeset godina nije izgrađen bez suradnje konstruktora i projektanata bivših stude-

nata ovog fakulteta. Prema podacima, oko 9000 inženjera, oko 600 magistara i 160 doktora znanosti obrazovano je u tih sedam desetljeća djelovanja Fakulteta strojarstva i brodogradnje.

Fakultet uspješno surađuje s domaćim privredno-proizvodnim organizacijama i stječe gotovo petinu svojih prihoda od privrede.

I. R.

## NOVI PRIJENOSNI OBJEKTI U POGONU

U trećem tromjesečju 1989. godine na području Hrvatske pušteno je u pogon nekoliko izgrađenih 110 kV objekata.

U rad je puštena transformatorska stanica 110/35 kV Lošinj, locirana u blizini mjesta Čunski, oko 8 km od Lošinja. Investitor izgradnje je »Elektroprijenos« Opatija. TS Lošinj je tipska transformatorska stanica, daljinski vođena a ima dva trafopolja s energetske transformatorima od 20 MVA 110/35/20 kV. Građevne radove izvelo je poduzeće »Međimurje« Čakovec, a montažu poduzeća »Elektrolux« Rijeka i »Dalekovod« Zagreb. Glavni dio opreme je proizveden u tvornici »Rade Končar«. Gradnja objekta trajala je šest mjeseci. Puštanjem u rad ovog prijenosnog objekta, za konzum otoka Lošinja i Cresa osigurava se dovoljna količina kvalitetne električne energije. Treba istaknuti da je investitor »Elektroprijenos« Opatija u toku 1989. godine i rekonstruirao dva starija objekta: vanjsko rasklopište TS 110/35 kV »Rovinj« i zgradu komande i vanjsko postrojenje TS 110/35 kV »Šijana« Pula.

U istom razdoblju na području grada Bjelovara stavljeni su u redovni pogon ovi objekti 110 kV:

TS 110/10 kV »Mlinovac« s transformacijom 1 x 20 MVA, dalekovod 110 kV Bjelovar – Milinovac, oko 5 km, i vodno polje za priključak navedenog dalekovoda na 110 kV postrojenju TS Bjelovar.

Sredstva za izgradnju ovih objekata zajednički su osigurali »Elektroprijenos« Zagreb i distributivna organizacija »Elektra« Bjelovar.

I. R.

## GRAĐEVNA DOZVOLA ZA DV 400 kV MELINA – TUMBRI

Nakon izvršenih tehničkih priprema i rješenja svih pitanja u vezi s početkom gradnje dalekovoda 400 kV Melina –

Tumbri, uskoro će početi gradnja trase duge 127 km. Prema izrađenoj tehničkoj dokumentaciji dalekovod će se graditi u dvije dionice. Melina – Vrbovsko je područje RO »Elektroprivreda« Rijeka, a Vrbovsko – Trumbi područje RO »Elektroprivreda« Zagreb.

Republički komitet za građevinarstvo, stambene i komunalne poslove i zaštitu čovjekove okoline izdao je 8. rujna 1989. investitorima građevnu dozvolu za početak gradnje. Prema investicijskim programima predviđeno je da će dalekovod biti izgrađen potkraj 1990. godine, kada treba biti u pogonu.

I. R.

## HE SKRADIN ZAMJENA ZA HE JARUGA

Stručnjaci RO »Elektroprivreda Dalmacije« Split razradili su mogućnost izgradnje Hidroelektrane Skradin kao zamjene za postojeću Hidroelektranu »Jaruga«. Utvrđeno je da rijeka Krka ima više prirodnih koncentracija padova na kojima je pogodna izgradnja hidroelektrana. Svojevremeno je kao donja hidroenergetska stepenica na rijeci Krki bila predviđena HE »Jaruga II« kao zamjena za postojeću HE »Jaruga« (Osnovni projekt Krke 1952. godine i kasnije obrade.)

Zbog lokacije objekta u prostoru Skradinskog buka to je rješenje odbačeno. Zbog toga je izrađeno novo rješenje – »Osnovno rješenje HE Skradin« 1983. godine. Prema tom rješenju objekti zahvata vode i hidroelektrane udaljeni su od Skradinskog buka tako da se po mišljenju stručnjaka mogu ambijentno uklopiti u Nacionalni park Krka. Zahvat u uvali Podbare je oko 2,5 km uzvodno od Skradinskog buka. Dovodni tunel dužine 900 m prolazi kroz brdo Žurići. Kratki tlačni cjevovod ukopava se kroz pošumljenu padinu. Priključni dalekovod će se prilagoditi zahtjevima okoline (može se izvesti i kao kabelski). Rješenje HE Skradin je bazirano na pretpostavci da se relativno velike količine vode propuštaju preko Skradinskog buka kako bi mu se očuvala prirodna ljepota.

Postojeća HE »Jaruga«, koja uzima vodu sa sredine Skradinskog buka, napustila bi se nakon izgradnje HE Skradin. Time bi se eliminirale pojave presušavanja donjeg slapa zbog rada ove elektrane.

I. R.

# IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

## POTEŠKOĆE SA STRUJOM U ITALIJI

Italija riskira da će u 1993. godini doći do zastoja proizvodnje električne energije. Predsjednik državnog elektroprivrednog poduzeća ENEL, Franco Viezzoli upozorio je da će tada rezerve i mogućnosti uvoza biti iscrpljene. Italija je zemlja Evropske zajednice koja najviše uvozi električnu energiju, i to 16% od potreba. Uzrok tih poteškoća jest odustajanje od nuklearne energije i izdaci za očuvanje okoliša, što je usporilo gradnju konvencionalnih termoelektrana.

*ETZ*, god. 110 (1989), br. 20

Mrk.

## PLINSKO-PARNA ELEKTRANA NA GAZIFICIRANI UGLJEN

Prva plinsko-parna termoelektrana na gazificirani ugljen gradi se u jugoistočnom dijelu Nizozemske, a treba ući u pogon 1993. godine. Elektrana će imati bruto-snagu od 285 MW. U usporedbi s takvim sličnim termoelektranama neće se kao gorivo upotrebljavati plin i nafta, već gazificirani ugljen. Smatra se da će se takvim tipom termoelektrane u budućnosti dobiti bolji faktor iskorištenja i manje štetna emisija plinova nego u klasičnim termoelektranama. Gasifikacija ugljena proizvodit će se prema projektu tvrtke Demkolec, na bazi licence tvrtke Shell.

Nova tehnologija primijenjena u ovoj elektrani sastoji se u sljedećem. Mljeveni i sušeni ugljen, uz dovod pare i kisika, pod tlakom, biva potpuno gazificiran pri temperaturi od 1500°C. Nastali vrući kplin hladi se u izmjenjivaču topline i time proizvodi paru za parnu turbinu. Plin je toliko ohlađen da se može uvesti u prečistač. Tu se odvajaju sumporovodik, ugljik-dioksid i zaostala prašina. Sumpor se taloži u čistom stanju, a šljaka može koristiti građevinskoj industriji.

Zrak iz kompresora plinske turbine odvodi se u turbinsku komoru izgaranja. Oko 15% zraka iz kompresora ide u komoru za gasifikaciju ugljena. Pročišćeni plin iz ugljena ugrijava se prije ulaska u turbinsku komoru izgaranja od 130°C na 300°C. Ugrijani plin na 1050°C iz komore ulazi u plinsku turbinu od 155 MW električne snage.

Izlazni plin ima temperaturu od 550°C i daje toplinu za proizvodnju svježe pare i međupregrijačima. Oko 40% količine svježe pare i oko 10% pare u pregrijačima, kao i para niskog tlaka proizvodi se izravno u uređaju za gasifikaciju ugljena. Ukupna proizvedena para ulazi u parnu turbinu električne snage 130 MW.

*ETZ*, god. 110 (1989), br. 19

Mrk.

## LOŠI IZGLEDI ZA NUKLEARNE ELEKTRANE

Eksperti navješćuju loše izgleda za gradnju novih nuklearnih elektrana u zapadnoj Evropi. U jednoj od studija o energetske tržištu Evrope do godine 2010. prognozira se da će se ubuduće graditi vrlo malo novih kapaciteta, ako se izuzmu nuklearne elektrane koje su u gradnji. Takva se

stagnacija može pripisati s jedne strane padu cijena fosilnih goriva, a s druge nesreći u Černobilu. Gašenje starih reaktora i neželjenih uređaja bit će nadomješteno velikim dijelom reaktorima koji su u gradnji. Smatra se da će zbog toga udio električne energije iz nuklearnih elektrana narasti sredinom devedesetih godina od današnjih 34% na 35%, a zatim do 2005. pasti na 30%.

*ETZ*, god. 110 (1989), br. 21

Mrk.

## PRVI UREĐAJ ZA ODSUMPORAVANJE U TURSKOJ

Prvi se uređaj za odsumporavanje dimnih plinova termoelektrane u Turskoj ugrađuje u termoelektrani Bandirma. Dobavljači su Nijemci u suradnji s turskom tvrtkom Alarko.

Odsumporavanje će se provoditi na tri parna kotla kapaciteta po 46 t/h (3 × 70000 m<sup>3</sup>/h). Kotlovi će se ložiti smeđim ugljenom s visokim postotkom sumpora od 7% (11000 mg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> u dimnim plinovima). Uređaj za pročišćavanje imat će iskoristivost 98%.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 88 (1989), br. 21

Mrk.

## HIDROELEKTRANA ITAIPU BIT ĆE NAJVEĆA ELEKTRANA SVIJETA

U hidroelektrani Itaipu, na rijeci Parami, graničnoj rijeci između Brazila i Paragvaja, proradio je u rujnu 1989. petnaesti hidroagregat snage 700 MW. Time sada elektrana ima ukupnu instaliranu snagu od 10500 MW, s mogućnošću proizvodnje od 60 TWh/god. Do potpune izgradnje treba još staviti u pogon tri jedinice jednake snage. Prvu bi trebalo završiti u lipnju 1990, drugu u prosincu 1990, a treću i posljednju u ožujku 1991. Tada će ukupna konačna snaga elektrane iznositi 12600 MW i bit će hidroelektrana najveće snage na svijetu.

*Water Power*, god. 41 (1989), br. 10

Mrk.

## PREDVIĐANJA ZA 2000. GODINU

Prema podacima UNO, WEC i drugih organizacija može se dobiti uvid o povećanju energetske potreba na zemlji u stotinu godina, tj. od 1900. godine do 2000. Računajući u milijardama tona ekvivalentnog ugljena, potrošnja će porasti od 1,1 milijarde tona u 1990. na 15,8 milijardi u 2000. godini. Brutoprodukt, na bazi cijena iz 1987, porast će u istom razdoblju od 1300 milijardi USD na 24000 milijardi USA dolara, a broj stanovnika Zemlje od 1,6 milijardi na 6,1 milijardu.

*Energie*, god. 41 (1989), br. 11

Mrk.

## TERMOELEKTRANA NA DEPONIJU SMEĆA

Na deponijama smeća danas u SR Njemačkoj radi već preko 100 plinskih motora koji kao gorivo upotrebljavaju plin iz smeća, a služe za proizvodnju električne energije. Novi način iskorištenja takvih plinova promijenjen je na deponiju kraj mjesta Limburg (SR Njemačka). Sagrađena je mala termoelektrana koja će u predviđenom 20-godišnjem razdoblju proizvoditi prosječno 7,5 milijuna kWh godišnje. U pogonu je od srpnja 1989.

U deponiju su izbušena 43 plinska bunara iz kojih se siše plin (1 200 m<sup>3</sup>/h), koji sadrži 60% metana. Plin se miješa sa zrakom i izgara u visokotemperaturnoj komori (1 200°C), kako bi se izbjeglo stvaranje dioksena.

Uređaj je automatiziran pa nema stalnog nadzora. Sva važnija javljanja prenose se u 25 km udaljenu stanicu sa stalnom posadom, odakle se vrše potrebne komande.

Plinski kompresori, kao i plinske dovodne linije su dvostruke, pa u slučaju kvara rezervna linija preuzima dovod plina. Generator je snage 1 345 kW, a netosnage elektrane 1 200 kW. Snaga se transformira preko dva transformatora 800 kVA, 0,4/20 kV i šalje u elektroprivrednu mrežu. U slučaju potrebe ili kvara elektrana može raditi u odvojenom otočnom pogonu. Sve propisane norme u pogledu zagađenja i buke (do 65 dBA) su zadovoljne.

ETZ, god. 110 (1989), br. 18

Mrk.

## POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U ŠVICARSKOJ 1988. GODINE

Švicarski konzum električne energije iznosio je 1988. godine 44 milijarde kWh, a to je 640 milijuna kWh više nego godinu prije. Procentualno uzevši potrošnja je bila:

Industrija	33%
Obrt i ostale službe	31%
Domaćinstva	29%
Željeznice	5%
Poljoprivreda	1%
Javna rasvjeta	1%
Ukupno	100%

OZE, god. 42 (1989), br. 9

Mrk.

## GRČKA FORSIRA IZGRADNJU VJETROELEKTRANA

Grčka nastoji što više povećati iskorištenje vjetra naročito na svojim egejskim otocima. Osim državnog elektroprivrednog poduzeća DEI i pojedine komune nastoje izgraditi parkove vjetrenjača. Uvjeti za iskorištenje vjetra vrlo su povoljni na grčkim otocima, jer prosječna brzina vjetra iznosi oko 10 m/s. Osim toga što će radom vjetroelektrana poboljšati energetska bilanca zemlje, bit će i povoljne posljedice u vezi s opterećenjem okoliša. Upravo je zaključen ugovor o gradnji 8 vjetrenjača po 250 kW, ukupno 2MW, na otoku Kreti. Proizvedena električna energija bit će korištena za potrebe mjesta Rethymona na sjevernoj obali Krete. Točna lokacija ovog značajnog parka vjetrenjača bit će određena nakon pomno provedenih mjerenja brzina vjetra.

Planira se gradnja vjetrenjača na više od 50 grčkih otoka na Egejskom moru ukupne snage 3,8 MW, uz pomoć Evropske

ekonomske zajednice. Za taj je pothvat predviđena svota od 800 milijuna drahmi.

U okviru integriranog mediteranskog programa predviđena je svota od milijardu drahmi da se izgrade parkovi vjetrenjača na otocima Samosu 2 MW i Hiosu 2,5 MW, a zatim i na nekim drugim otocima ukupne snage oko 3,5 MW.

OZE, god. 42 (1989), br. 9

Mrk.

## JAPAN GRADI BRZU MAGNETSKU ŽELJEZNICU

Uz druge industrijski razvijene zemlje (SR Njemačka, SAD) i Japan se sprema na gradnju superbrze magnetske željeznice. Izgradili bi je na 50 km dugoj liniji Tokio – Osaka. Radovi bi trebali početi već sljedeće godine. Ako se ta veza pokaže dobrom, to bi bila prva dionica buduće pruge duge 500 km.

ETZ, god. 110 (1989), br. 17

Mrk.

## ELEKTRIČNA ENERGIJA U MAĐARSKOJ

Dobava električne energije u Mađarskoj bitno je ovisna o proizvodnji nuklearne elektrane Paks i uvoza. ukupna potrošnja u 1987. godini iznosila je 29 700 GWh, od čega je u nuklearnoj elektrani proizvedeno 11 000 GWh. U planu je daljnja izgradnja nuklearnih izvora. Uvoz je iste godine iznosio 12 600 GWh, uglavnom iz Sovjetskog Saveza (9 000 GWh).

U 1988. godini nuklearna je elektrana proizvela 13 400 GWh, što iznosi 45% mađarskih potreba. Treba spomenuti da je 60% elektrana loženo plinom ili naftom, koja dolazi tek 20% do 25% iz domaće proizvodnje. Dvije trećine potrebnog plina dobiva se u zemlji, a ostatak se uvozi iz SSSR-a.

OZE, god. 42 (1989), br. 8

Mrk.

## FOTOVOLTAIČKE ČELIJE NA PLANINARSKOJ KUĆI

Austrijsko elektroprivredno poduzeće Steweag montiralo je na planinarsku kuću Reichensteinhütte (2188 m nad morem) solarne module ukupne snage 900 W. Uređaj će prvenstveno napajati rasvjetu i neke kućanske aparate. Time će se reducirati rad postojećeg dizelskog agregata, smanjiti buka i zagađenje zraka. Uređaj napaja baterija pod naponom od 48 V, a presmjerivač transformira na 220 V izmjenične struje. Materijal je dopremljen na kuću helikopterom.

OZE, god. 42 (1989), br. 9

Mrk.

## GRADNJA VJETROELEKTRANA U ANDALUZIJU

Najveći skup vjetroelektrana u Evropi gradit će se u Španjolskoj u pokrajini Andaluzija (Tarifa). Privatno elektroprivredno poduzeće Sevillana planira izgradnju 500 vjetrenjača koje bi mogle opskrbljivati električnom energijom grad od 200 000 stanovnika. Odabrani su tipovi vjetrenjača

koje već uspješno rade u Kaliforniji. Ukupni se troškovi procjenjuju na 8 milijardi peseta (68 milijuna USA dolara).

ETZ, god. 110 (1989), br. 17

Mrk.

## PLOVEĆE ELEKTRANE U NORVEŠKOJ

Norveški su stručnjaci došli do zaključka da bi ploveće plinske elektrane mogle biti ekonomične i ekološki povoljne. Ploveće elektrane smještene direktno iznad morskih bušotina vrlo su se dobro pokazale u SAD. Ugljik-dioksid koji se dobiva izgaranjem pumpao bi se ponovno u morsko dno da se poveća tlak u ležištima plina. Norvežani trebaju odlučiti da li graditi elektrane na kopnu i dovoditi plin iz morskih bušotina na sjeveru, na jugoistok zemlje, ili izgraditi plinske ploveće elektrane i povezati ih s kopnom električnim kabelima.

ETZ, god. 110 (1989), br. 17

Mrk.

## JAPANCI GRADE GEOTERMALNE ELEKTRANE

Japansko elektroprivredno poduzeće Fujita Corp ugovorilo je u SAD dobavu dviju geotermalnih elektrana, svake snage 250 MW. Vrijednost narudžbe je 30 milijardi jena (410 milijuna DEM). Elektrane će se izgraditi na širokom toplinskom zemljinom rezervoaru na otoku Kinšiu.

ETZ, god. 110 (1989), br. 17

Mrk.

## U EVROPSKOJ ZAJEDNICI VIŠE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ SOLARNIH ELEKTRANA

U zemljama EZ povećana je proizvodnja električne energije iz nuklearnih elektrana za 15% u prvoj polovici 1989, prema istom razdoblju 1988. (265 TWh prema 306 TWh). Time je ta grupa zemalja proizvela 39% (u 1988. 33%) sveukupno proizvedene električne energije u nuklearnim elektranama. U pojedinim zemljama procentualni udjeli iznosili su:

	1989.	1988.
Francuska	76%	68%
Belgija	61%	63%
SR Njemačka	35%	33%
Španjolska	39%	34%
Velika Britanija	21%	17%

Elektrizitätswirtschaft, god. 88 (1989), br. 20

Mrk.

## POTROŠNJA ENERGIJE U AUSTRIJI STALNO KONSTANTNA

Unatoč porastu proizvodnje austrijska industrija ima posljednjih godina konstantan potrošak energije. Prema istraživanju Savezne komore snizio se potrošak energije po jedinici proizvoda, u razdoblju 1971. do 1987. godine, sa nešto više od 30%. To se propisuje promjenama u energetske bilancama i proizvodnim procesima. Štedljiva upotreba sirovina i pomoćnog materijala utječe na smanjenje zagađivanja voda i okoliša kao i smanjenje otpadaka.

OZE, god. 42 (1989), br. 9

Mrk.

## TALIJANSKI PLAN ODSUMPORAVANJA DIMNIH PLINOVA

Talijansko državno elektroprivredno poduzeće ENEL trebat će utrošiti 2000 milijardi lira za odsumporavanje dimnih plinova svojih klasičnih elektrana, uključujući i tri u gradnji (Gioia, Fiumesanto, Tavazzano). Planom se predviđa da se emisija sumpora smanji na jednu osminu današnje. Prihvaćena je ovakva solucija umjesto mogućnosti da se koriste goriva s malo sumpora, ali skupa. Sada se razmatraju ponuđene tehnologije za odsumporavanje kako bi se odabralo optimalno rješenje.

RGE, god. 1989, br. 6

Mrk.

## RAD NUKLEARKI U FINSKOJ JOŠ 10 GODINA

Finska je vlada prihvatila traženje ekološkog pokreta da finske nuklearne elektrane rade još samo 10 godina, umjesto do kraja životnog vijeka, kako je bilo predviđeno. U zemlji rade danas dvije nuklearne elektrane sa po dva reaktora. Jedna je građena prema sovjetskim, a druga prema švedskim koncepcijama.

RGE, god. 1989, br. 6

Mrk.

## PROJEKT VJETROELEKTRANA U ITALIJI

Instalirana snaga vjetroelektrana u Italiji ne prelazi danas 1 MW, ali se predviđa daljnja gradnja. Elektroprivredno poduzeće ENEL prihvatilo je program gradnje dviju grupa elektrana na vjetar instalirane snage po 10 MW. Grupa bi se sastojala od 40 vjetrenjača, svaka instalirane snage od 250 kW. Stupovi bi bili visine 40 m, a krila 30 m u promjeru. Jedna bi se grupa izgradila na Sardiniji; a druga u provinciji Molise (zapadno od Monte Gargana). Realizacija programa stajala bi 100 milijardi lira, a jedan proizvedeni kWh 150 do 200 lira. Tako bi kWh bio po prilici dvaput skuplji nego kWh iz klasične termoelektrane. Treba primijetiti da takvi parkovi vjetrenjača prave veliku buku, no talijanski ekologisti nemaju ništa protiv takvog rješenja.

RGE, god. 1989, br. 7

Mrk.



IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Godište 39 (1990)

Zagreb 1990

Br. 2

Zajednica elektroprivrednih  
organizacija Hrvatske

Institut za elektroprivredu, Zagreb

SIZ za znanstveni rad Hrvatske

## SADRŽAJ

<i>Šimunić J.</i> : Trodimenzionalni prikaz skupa procesnih informacija prijenosnog elektroenergetskog postrojenja (Originalni znanstveni rad) . . . . .	75
<i>Ožegović M.</i> : Projektiranje baznih i izvedenih relacija za osnovne analize mreže EES (Prethodno priopćenje) . . . . .	81
<i>Tešnjak S.</i> — <i>Marušić A.</i> : Digitalni simulacijski model zaštite sinhronog generatora od asinhronog rada pri nestanku uzbude (Originalni znanstveni rad) . . . . .	89
<i>Vuković V.</i> : Problem generatora pare u PWR-sistemi-ma (Pregledni rad) . . . . .	99
<i>Ravlić V.</i> — <i>Ferček B.</i> : Povezivanje tropskog, metalom oklopljenog sklopnog postrojenja izoliranog plinom SF <sub>6</sub> , tipa K8D.6, s ostalim elementima elektroenergetskog sistema (Stručni rad) . . . . .	109
<i>Jakšić P.</i> : Primjer realizacije jednog ekspertnog sistema u rješavanju praktičnog problema — vođenja računala Instituta za elektroprivredu Zagreb (Stručni rad) . . . . .	115
<b>Vijesti iz elektroprivrede</b> . . . . .	123
<b>Savjetovanja i konferencije</b> . . . . .	126
<b>Iz strane stručne literature</b> . . . . .	127
<b>Nove knjige</b> . . . . .	131
<b>Oglasi</b> . . . . .	133

## 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)

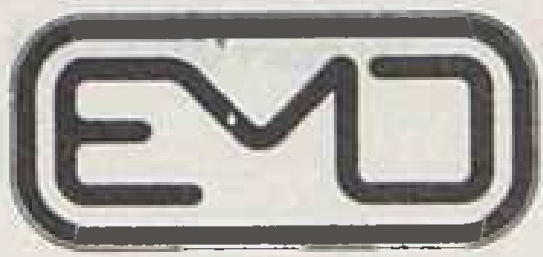
Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 180,00  
dinara, a za poduzeća i ustanove 300,00 dinara (za studente 120,00)  
dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišej — Print: TIZ »Zrinski«, Čakovec

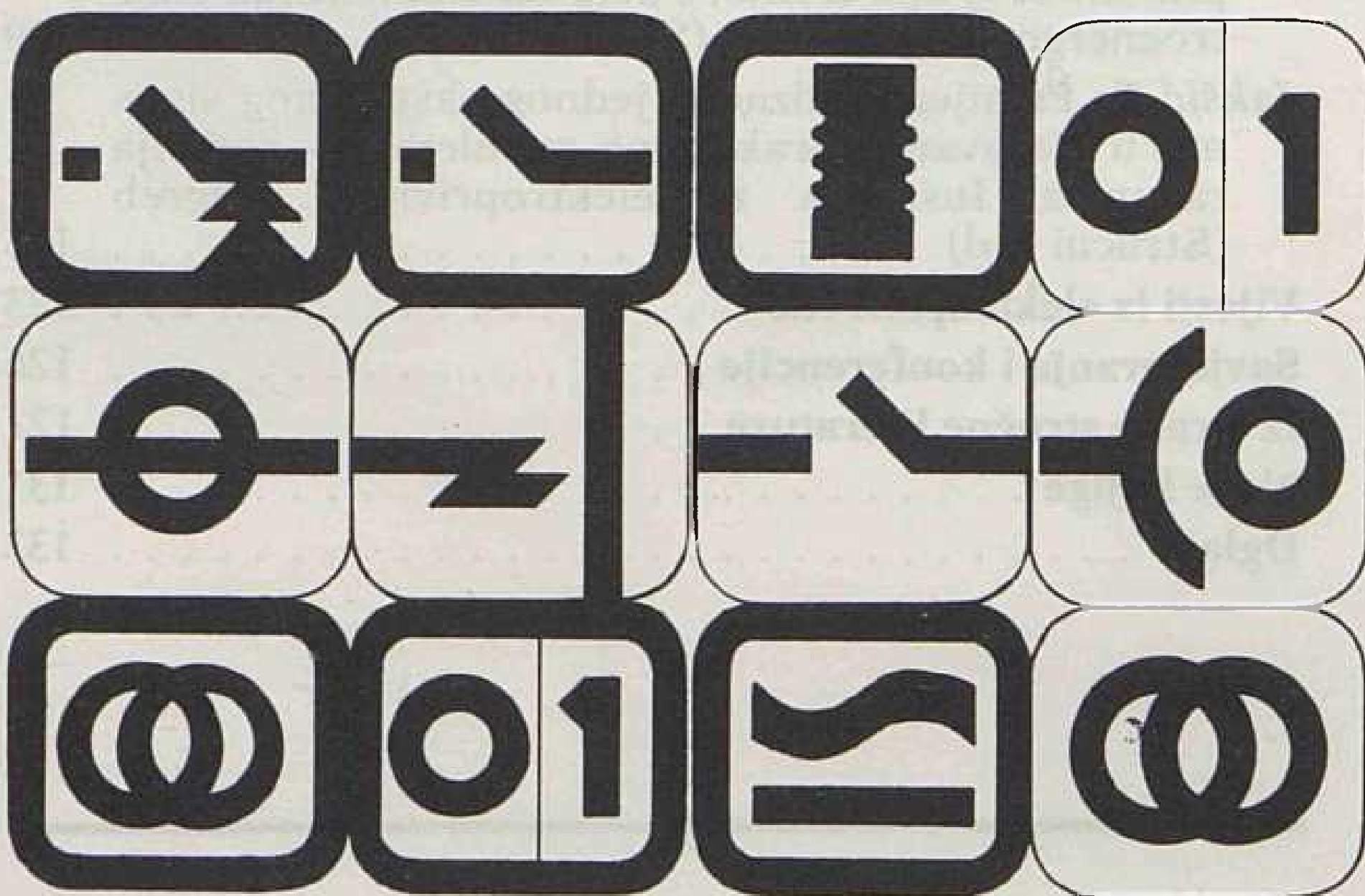


# EMO OHRID

## Elektroindustrija i inženjering

96000 Ohrid  
P. Fah 118  
telefon: 096/34-944  
telex: 53829 YU EMOOH  
telefax: 33690

- Elektropostrojenja za srednji napon, do 36 kV
- Elektropostrojenja za niski napon
- Modularni niskonaponski sistemi
- Distributivni transformatori do 10000 kVA
- Mjerni strujni transformatori za srednji i niski napon
- Naponski mjerni transformatori
- Potporni i provodni izolatori od epoksidnih smola, do 36 kV
- Rasklopni aparati za srednji i niski napon
- Automatika i elektronika
- Fleksibilni sistemi
- Stupovi za javnu rasvjetu
- Čelično rešetkasti stupovi, do 400 kV
- Ovjesna i spojna oprema za dalekovode, do 400 kV
- Elektrostatski filteri
- Površinska zaštita i limeni proizvodi
- Hladnooblikovani profili i metalni proizvodi

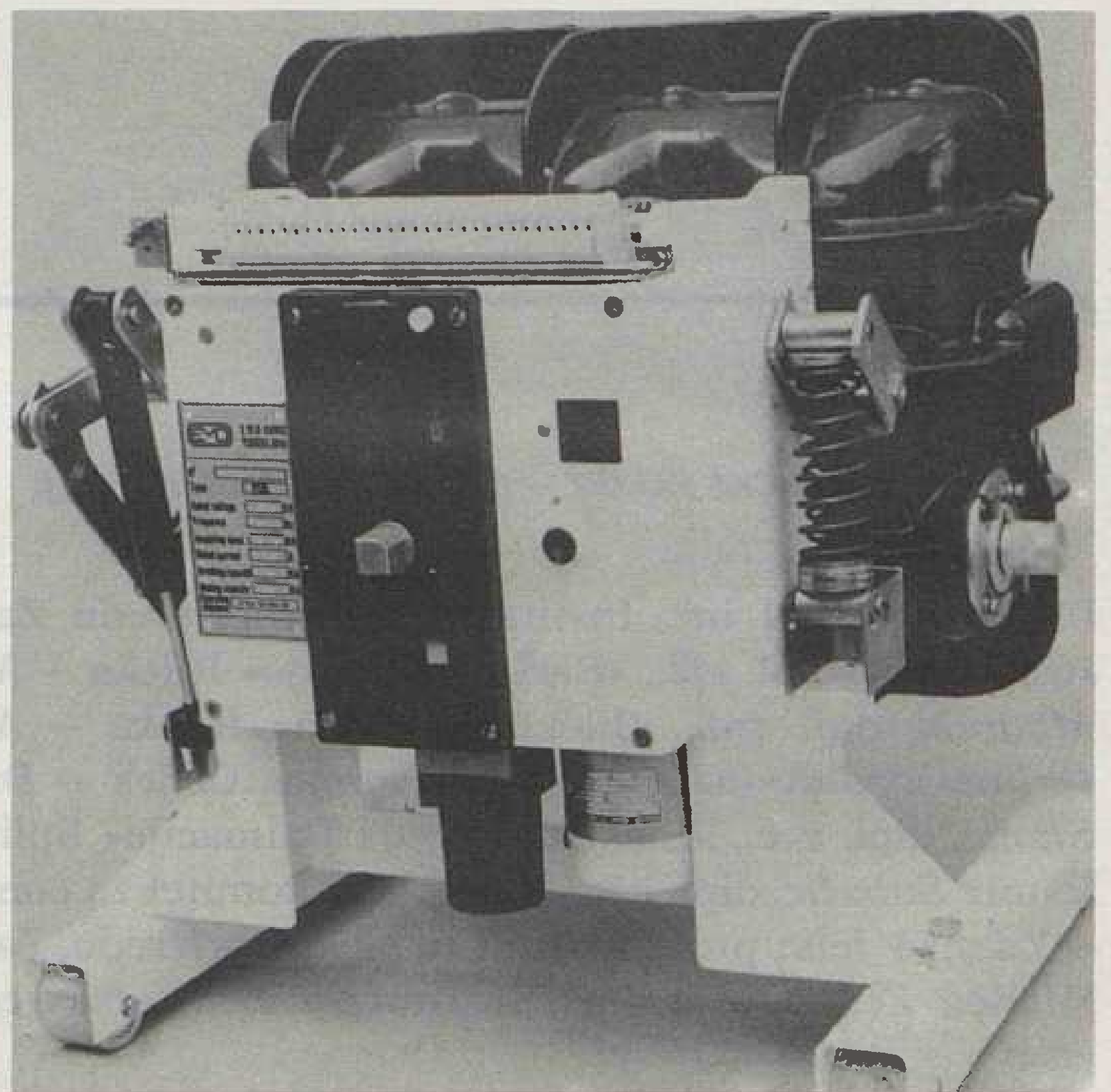


## INŽENJERING

- Preuzimanje kompletnih radova po sistemu »ključ u ruku«, odnosno projektiranje, proizvodnja i nabavka materijala i opreme, transport, montaža, ispitivanje i puštanje u pogon:
- Dalekovode svih napona
  - Visokonaponske i niskonaponske mreže
  - Elektroinstalacije (motorski razvod, automatika, instalacije za unutrašnje i vanjsko osvjetljenje, grobrianske instalacije i dr.)
  - Elektrostatske filtere za suho prečišćavanje otpadnih plinova
  - Metalne konstrukcije za tvorničke hale, mostove, visokonaponska razvodna postrojenja i dr.
  - Cjevovode, naftovode, plinovode i dr.
  - Hidro i termoelektrane, rafinerije, skladišta, silosa, objekte za crnu i obojenu metalurgiju, kemijsku industriju i dr.



Kelija sa izvlačivim SF6 prekidačem, 12 kV



SF6 prekidač, 12 kV, 1250 A



Suhi transformator, 630 kVA  
Termička klasa izolacije H

# TRODIMENZIONALNI PRIKAZ SKUPA PROCESNIH INFORMACIJA PRIJENOSNOG ELEKTROENERGETSKOG POSTROJENJA

Juraj Šimunić, Rijeka

UDK 681.3:64.311.1

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Prikazuje se modeliranje izvora procesnih informacija za prijenosno elektroenergetsko postrojenje (PEEP-a). Pritome se koristi trodimenzionalni prikaz kako bi se dobio opći model izvora procesnih informacija. Pokazuje se da je dinamika procesnih informacija slučajna veličina i prikazuju se statističke vjerojatnosti pojave procesnih informacija za komponente postrojenja, koje su dobivene na temelju eksperimentalnih istraživanja.

**Ključne riječi:** (PEEP) prijenosno elektroenergetsko postrojenje, (DC) dispečarski centar, skup procesnih informacija, (TSU) tehnički sistem upravljanja.

## 1. UVOD

Analogno materijalnim i energetske tokovima možemo i informacijske tokove u procesu proučavati tako da ih podijelimo u tri osnovne cjeline (sl. 1):

- izvor informacija kojima se opisuje rad elektroenergetskih postrojenja (EEP) u pogonu
- prenos informacija koji se hardverski realizira mrežom za prijenos podataka uz primjenu suvremenih baza podataka
- korištenje informacija u dispečarskim centrima (DC) koje se ostvaruje nizom algoritama obrade njih uglavnom u obliku softverskih paketa.

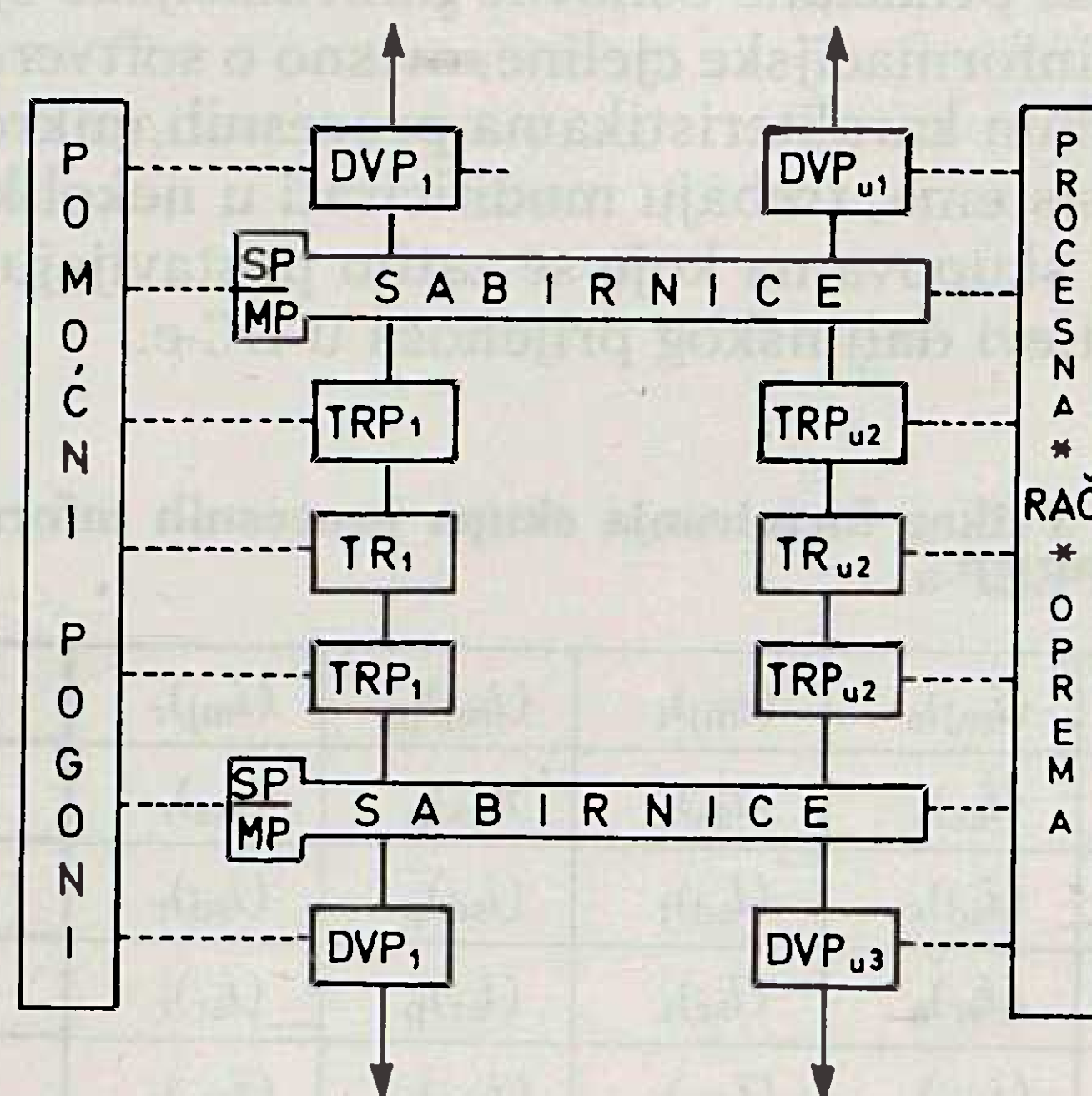
U suvremenim tehničkim sistemima upravljanja (TSU) elektroenergetskih sistema postavljaju se veliki zahtjevi na sigurnost, kvalitetu i brzinu osvježavanja procesnih informacija u dispečarskim centrima (DC). Ti zahtjevi traže kvalitetne mikroračunarske sisteme za prikupljanje informacija u postrojenjima i efikasne mreže za prijenos podataka. Ako se žele optimirati mikroračunarski sistemi u postrojenjima, mreže za prijenos podataka i algoritmi korištenja informacija u DC-ma, potrebno je poznavati, osim statičkih i dinamičke karakteristike procesnih informacijskih tokova. Definiranje dinamike procesnih informacijskih tokova može slijediti tek na temelju poznavanja dinamičkih karakteristika skupa procesnih informacija na nivou samih postrojenja.

Prvi dio ovog rada razrađuje model skupa procesnih informacija prijenosnog elektroenergetskog postro-

jenja (PEEP-a) u obliku trodimenzionalne matrice, a u drugom dijelu se prikazuju rezultati statističke obrade skupa procesnih informacija dobiveni na temelju esperimentalnih podataka iz pogona.

## 2. OSNOVNI TEHNOLOŠKI MODEL PEEP-a I PRIPADNI INFORMACIJSKI PODSKUPOVI

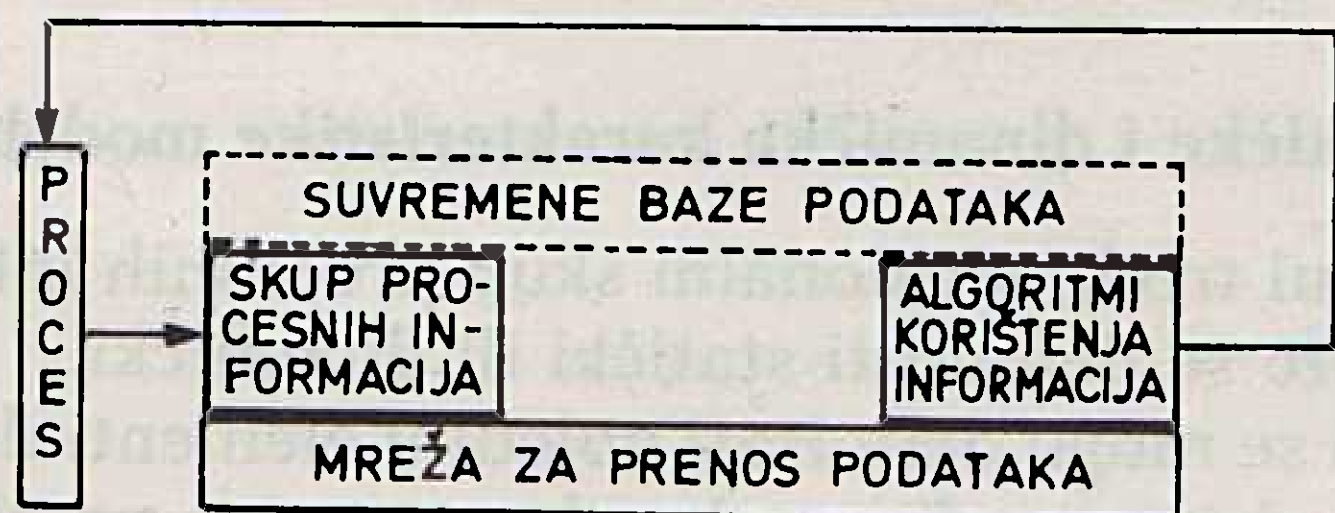
Kako bi se definirao skup procesnih informacija raznih industrijskih i elektroenergetskih postrojenja, za potrebe automatiziranog upravljanja pomoću procesnih mikroračunarskih sistema, potrebno je definirati osnovni tehnološki model postrojenja. Na sl. 2.



Slika 2. Skica tehnološkog modela PEEP-a

prikazan je tehnološki model jednog prijenosnog elektroenergetskog postrojenja (PEEP-a) na kojem se mogu uočiti sljedeće osnovne funkcionalne cjeline:

- dalekovodna polja (d)
- sabirnice (s)



Slika 1. Prikaz informacijskih tokova

- transformatori sa transformatorskim poljima (**t**)
- pomoćni pogoni (**p**)
- procesna mikroračunarska oprema (**r**).

Svaka od navedenih funkcionalnih cjelina postrojenja sastoji se od niza komponenti i predstavlja izvor procesnih informacija, koje se na nivou PEEP-a mogu podijeliti na sljedeće **informacijske cjeline**:

- mjerenja (**mj**)
- signalizacija sklapanja (**ss**)
- signalizacija (alarma) događaja (**sd**)
- signalizacija regulacije (**sr**)
- signalizacija mikroračunarske opreme (**sm**)
- nalozi upravljanja (**nu**)

Skup procesnih informacija PEEP-a definiran je nizom informacijskih podskupova koji se mogu formirati na temelju funkcionalnih cjelina ili na temelju informacijskih cjelina. Način dobivanja skupa procesnih informacija prikazan je tablicom 1. Za skup procesnih informacija  $I$ , definiran na temelju funkcionalnih cjelina, možemo prema tablici 1. pisati:

$$I = \{i_d, i_s, i_t, i_p, i_r\} \quad (1)$$

a za skup procesnih informacija definiran na temelju informacijskih cjelina vrijedi:

$$I = \{i_{mj}, i_{ss}, i_{sd}, i_{sr}, i_{sm}, i_{nu}\} \quad (2)$$

Malim slovom  $i$  označeni su informacijski podskupovi, a indeksi označuju određenu funkcionalnu ili informacijsku cjelinu. Tako naprimjer podskup  $i_d$  u izrazu (1) predstavlja sve informacije koje pripadaju jednom dalekovodnom polju, a podskup  $i_{mj}$  u izrazu (2) sve informacije mjerenja na nivou postrojenja.

Iz iznesenog proizlazi da se skup procesnih informacija može definirati na temelju funkcionalnih cjelina ili na temelju informacijskih cjelina. Sistem eksploatacije EEP-a, te način odlučivanja i upravljanja u centrima vođenja EES-a zahtijevaju analizu skupa procesnih informacija po **informacijskim cjelinama**. Pritome se prikazane osnovne informacijske cjeline, osnovne informacijske cjeline, ovisno o softverskim i hardverskim karakteristikama procesnih mikroračunarskih sistema, trebaju modificirati u nekoliko prioritarnih skupova na koje se zatim postavljaju određeni zahtjevi daljinskog prijenosa u DC-e.

**Tablica 1. Prikaz formiranja skupa procesnih informacija na nivou PEEP-a**

$(i_{mj})_d$	$(i_{mj})_s$	$(i_{mj})_t$	$(i_{mj})_p$	$(i_{mj})_r$	$i_{mj}$
$(i_{ss})_d$	$(i_{ss})_s$	$(i_{ss})_t$	$(i_{ss})_p$	$(i_{ss})_r$	$i_{ss}$
$(i_{sd})_d$	$(i_{sd})_s$	$(i_{sd})_t$	$(i_{sd})_p$	$(i_{sd})_r$	$i_{sd}$
$(i_{sr})_d$	$(i_{sr})_s$	$(i_{sr})_t$	$(i_{sr})_p$	$(i_{sr})_r$	$i_{sr}$
$(i_{sm})_d$	$(i_{sm})_s$	$(i_{sm})_t$	$(i_{sm})_p$	$(i_{sm})_r$	$i_{sm}$
$(i_{nu})_d$	$(i_{nu})_s$	$(i_{nu})_t$	$(i_{nu})_p$	$(i_{nu})_r$	$i_{nu}$
$i_d$	$i_s$	$i_t$	$i_p$	$i_r$	$I$

- $i$  — informacijski podskup
- indeksi u zagradama označavaju informacijsku cjelinu
- indeksi izvan zagrada označavaju funkcionalnu cjelinu

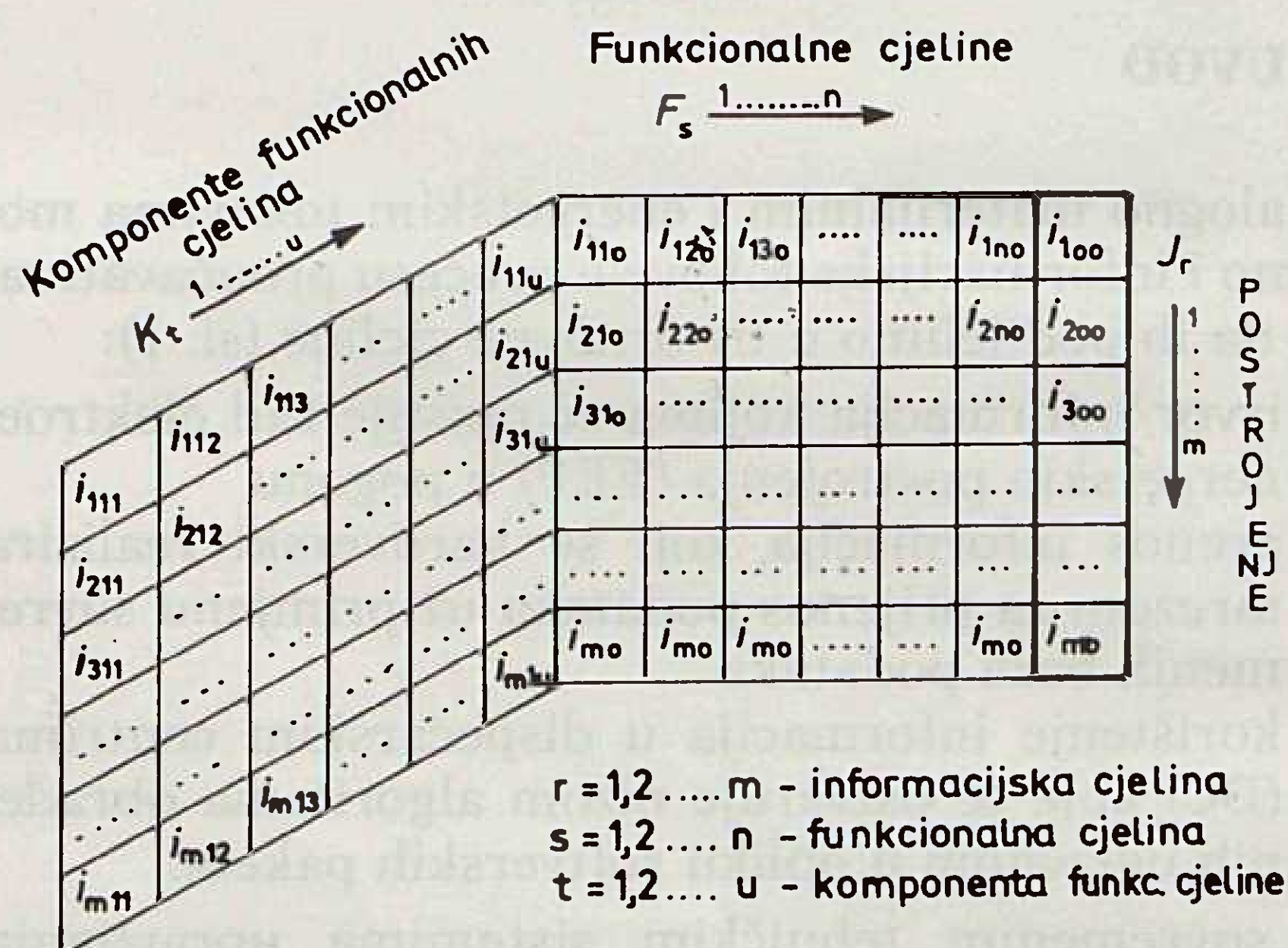
### 3. MODEL SKUPA PROCESNIH INFORMACIJA NA NIVOU POSTROJENJA

#### 3.1. Osnovni prikaz modela

Model skupa procesnih informacija razrađen je na osnovi informacijskih cjelina kao univerzalni model, koji se može primijeniti na svako PEEP-a, bez obzira na njegovu konfiguraciju i složenost. Da se to postigne, potrebno je skup procesnih informacija definirati najprije na nivou komponenti funkcionalnih cjelina postrojenja jer one predstavljaju osnovne module koji se ponavljaju u svakom PEEP-u.

Sintezom podskupova informacija komponenti dolazi se na nivo podskupa informacija funkcionalnih cjelina, a daljnjom sintezom podskupova informacija funkcionalnih cjelina dolazimo do traženih informacijskih podskupova postrojenja.

Prema opisanom formiran je model skupa procesnih informacija PEEP-a kao trodimenzionalna matrica (sl. 3).



**Slika 3. Trodimenzionalni prikaz skupa procesnih informacija PEEP-a**

Elementi dubina  $i_{rst}$  predstavljaju podskupove informacija na nivou komponenti funkcionalnih cjelina, elementi širina  $i_{rs..}$  predstavljaju podskupove informacija na nivou funkcionalnih cjelina, a elementi visina  $i_r$  predstavljaju tražene podskupove informacija na nivou postrojenja koji su, kao što je navedeno, formirani na temelju informacijskih cjelina postrojenja. Na taj način definiran je postupak formiranja konačnog skupa informacija na nivou PEEP-a, iz poznatih parcijalnih informacijskih podskupova na nivou komponenti postrojenja. U daljnjem izlaganju su opisane karakteristike pojedinih elemenata prikazane matrice skupa procesnih informacija.

#### 3.2. Statičke i dinamičke karakteristike modela

Prikazani trodimenzionalni skup procesnih informacija može se definirati statički ili dinamički.

**Statički** se mogu definirati pojedini elementi dubina, širina i visina trodimenzionalne matrice na sljedeći način:

— za elemente dubina vrijedi

$$i_{rst} = (k_s \cdot b_r)_t \quad (3)$$

$(k_s)_t$  — t-ta komponenta s-te funkcionalne cjeline

$(b_r)_t$  — broj informacija za t-tu komponentu r-te informacijske cjeline

— za elemente širina vrijedi

$$i_{rs} = \sum_{t=1}^u (k_s \cdot b_r)_t \quad (4)$$

$u$  — broj komponenti s-te funkcionalne cjeline

— za elemente visina vrijedi

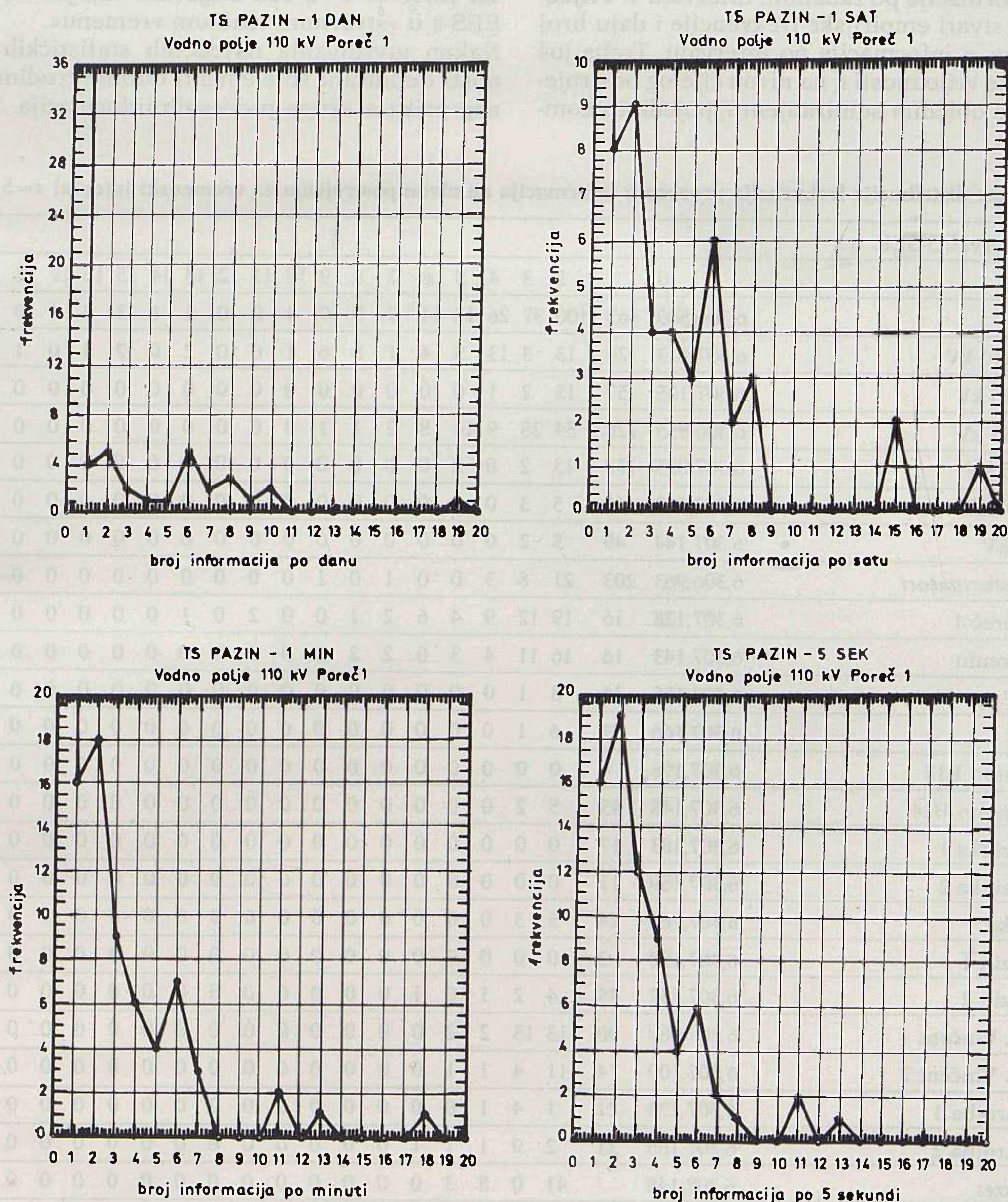
$$i_{r..} = \sum_{s=1}^n \left[ \sum_{t=1}^u (k_s \cdot b_r)_t \right] s \quad (5)$$

Procesni informacijski tokovi koji slijede iz takvog pristupa definiranja skupa procesnih informacija mogu se definirati samo deterministički, a to u suvremenim tehničkim sistemima upravljanja EES-om

ne pruža zadovoljavajuća rješenja. Jedino se statistički skup procesnih informacija može koristiti za osnovno dimenzioniranje hardverskih struktura mikroračunarskih sistema na nivou samih postrojenja. Istraživanja **dinamičkog skupa** procesnih informacija pokazuju da se informacija u procesu pojavljuje kao slučajne veličine, te se problem istraživanja dinamike procesnih informacija svodi na istraživanje slučajne varijable dubine skupa procesnih informacija  $X_{rst}$ :

$$X_{rst} = \left\{ p(x_i) \right\}_{rst} \quad i = 0, 1, 2 \dots n \quad (6)$$

Vrijednost  $p(x_i)_{rst}$  predstavlja statističku vjerojatnost dubina, tj. vjerojatnost pojave procesnih informacija na nivou komponenti funkcionalnih cjelina postrojenja. Ta vjerojatnost utvrđuje se esperimentalno na temelju statističke obrade procesnih informacija ko-



Slika 4. Grafički prikaz distribucije frekvencija jedne komponente PEEP-a za različite vremenske intervale

je se kronološki registriraju uz pomoć procesnih mikroračunarskih stanica instaliranih u postrojenjima. Kako je vremenska rezolucija zapisa procesnih informacija u suvremenim sistemima vrlo visoka (10 ms), može se postići i vrlo visok stupanj kvalitete statističke obrade procesnih informacija za PEEP-a. Primjenom kronološki registriranih podataka u jednoj godini, provedeno je statističko istraživanje dinamike procesnih informacija za jednu transformatorsku stanicu 110/35 kV. Pritome nisu uzete u obzir promijene mjernih veličina koje se ne zapisuju kronološki s postojećim mikroračunarskim uređajima. Rezultati istraživanja prikazani su u tablici 2, tablici 3. i sl. 4. Tablica 2. daje sumarni pregled distribucije frekvencije broja procesnih informacija u vremenskom intervalu  $\tau=5$  sek, za postrojenje u cjelini i komponente postrojenja pojedinačno. Pritome  $x_i$  predstavlja vrijednosti slučajne varijable  $X$ , tj. pokazuje broj informacija po zadanom intervalu  $\tau$ . Vrijednosti  $f_i$  su u stvari empirijske frekvencije i daju broj intervala  $\tau$  sa  $x_i$  informacija po intervalu. Treba još naglasiti da se vrijednosti  $f_i$  na nivou cijelog postrojenja ne dobiju običnim sumiranjem  $f_i$  pojedinih kom-

ponenti postrojenja, već se sumarni  $f_i$  za cijelo postrojenje ili za grupu komponenata postrojenja može dobiti kombinatorikom pojedinačnih empirijskih frekvencija  $f_i$ . Tako je npr. za  $x_i=6$  na nivou postrojenja dobivena vrijednost  $f_i=14$ . Ta vrijednost  $f_i$  može se dobiti kao zbroj bilo koje kombinacije vrijednosti  $f_i$  za pojedine komponente postrojenja ((2+1+7+3+1) ili (6+5+3) ili 7+2+1+1+1+2) ili .....)). Tablica 3. daje prikaz statističkih vjerojatnosti za jednu komponentu postrojenja (dalekovodno polje 110 kV) i za različite vremenske intervale promatranja  $\tau$ , a sl. 4. daje grafički prikaz distribucije frekvencija za tu istu komponentu postrojenja u različitim vremenskim intervalima.

Vremenski interval  $\tau=1$  dan odgovara zahtjevima vođenja procesa EES-a u tzv. »bliskom realnom vremenu«, vremenski interval  $\tau=1$  min odgovara zahtjevima »proširenog realnog vremena«, a vremenski interval  $\tau=5$  sek odgovara zahtjevima vođenja EES-a u »stvarnom realnom vremenu«.

Nakon utvrđivanja navedenih statističkih vjerojatnosti definirani su elementi dubine trodimenzionalnog prikaza skupa procesnih informacija. Daljnjom

Tablica 2. Prikaz distribucije frekvencija procesnih informacija na nivou postrojenja za vremenski interval  $\tau=5$  s

Vremenski interval: 5-SEK	$f_i$																					
	$X_i$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	>20
Trafostanica	6,306,500	463	100	37	26	18	14	9	9	9	4	0	0	1	1	3	3	1	0	0	1	1
Vodna polja 110 kV	6,307,113	26	13	3	13	5	4	1	8	6	1	0	0	2	0	2	1	0	1	0	0	1
Trafo polja 110 kV	6,307,125	57	15	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vodna polja 35 kV	6,306,855	228	54	28	9	14	8	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trafo polja 35 kV	6,307,025	158	13	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabirnice 110 kV	6,307,182	10	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabirnice 35 kV	6,307,144	49	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ukupno transformatori	6,306,963	203	21	8	3	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VP 110 kV Poreč 1	6,307,128	16	19	12	9	4	6	2	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
VP 110 kV Plomin	6,307,143	16	16	11	4	3	0	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TP 110 kV T1	6,307,155	36	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TP 110 kV T2	6,307,166	27	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SP 35 kV spojno B13	6,307,196	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MP 35 kV mjerno B14	6,307,148	45	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VP 35 kV Pazinka 1	6,307,183	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VP 35 kV Pazinka 2	6,307,189	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VP 35 kV Učka	6,307,168	24	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VP 35 kV Pazin 1	6,307,198	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VP 35 kV Pazin 2	6,307,157	35	4	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VP 35 kV Sv. Vincent 1	6,307,080	90	13	13	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VP 35 kV Sv. Vincent 2	6,307,109	74	11	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VP 35 kV Karojba 1	6,307,173	21	1	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VP 35 kV Karojba 2	6,307,165	21	2	9	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VP 35 kV Buzet	6,307,148		41	0	8	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pomoćno postrojenje	6,307,121	75	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tablica 3. Prikaz statističkih vjerojatnosti broja procesnih informacija za jednu komponentu postrojenja**

$x_i$	Statističke vjerojatnosti $p(x_i)$			
	= 1 dan	= 1 h	= min	= 5 s
0	0,920 540	0,995 037	0,999 871	0,999 9886
1–5	0,035 616	0,003 196	0,000 101	0,000 0095
6–10	0,035 616	0,001 256	0,000 019	0,000 0014
11–15	0,000 000	0,000 228	0,000 007	0,000 0005
16–20	0,002 745	0,000 114	0,000 002	0,000 0000
20	0,005 479	0,000 114	0,000 000	0,000 0000

$x_i$  — vrijednost slučajne varijable

sintezom elemenata dubina i širina dolazimo do traženih informacijskih podskupova na nivou PEEP-a, koji nam omogućuju definiranje dinamičkih karakteristika procesnih informacijskih tokova. Da se mogu utvrditi što točnije statističke vjerojatnosti pojave procesnih informacija na nivou komponenti postrojenja, potrebno je ovakvo esperimentalno istraživanje provesti za niz sličnih EEP-a.

#### 4. ZAKLJUČAK

U tehničkom sistemu upravljanja na EES-e vrlo je važno poznavati dinamičke karakteristike skupa informacija kojima opisujemo rad procesa. Provedena analiza skupa procesnih informacija za jedno PEEP-e pokazuje da se modeliranje skupa procesnih informacija može efikasno izvesti preko jedne trodimenzionalne matrice. Kako se informacije u procesu pojavljuju kao slučajne veličine to su pojedini elementi prikazane matrice u stvari vjerojatnosti slučajne varijable. Pokazano je da su promatrane vjerojatnosti slučajnih varijabli vrlo male veličine, tj. pojava procesnih informacija vrlo je rijedak događaj. Taj parametar bi trebao biti i jedan od osnovnih pokazatelja pri planiranju i projektiranju pojedinih dijelova suvremenih tehničkih sistema upravljanja procesima.

#### LITERATURA

[1] S. VUKADINOVIĆ: »Elementi teorije vjerojatnosti i matematičke statistike«, »Privredni pregled«, Beograd, 1973.

- [2] N. BARANOVIĆ, V. KAVUR: »Minimizacija količine podataka i broja obrada sistema daljinskog vođenja u realnom vremenu«, XVIII. savjetovanje CIGRE, Budva, 1987.
- [3] J. ŠIMUNIĆ: »Učestalost spontanih informacija u procesu prenosne mreže«, Energija, god. 30, broj 5–6, 1981.
- [4] K. WILL: »Wie trägt die informationstechnik zur Sicherheit, Rationalisierung und Optimierung der Elektrizitätsversorgung bei?«, Elektrizitätswirtschaft, Jg 74, 1974. g. br. 16.
- [5] Z. Pauše: »Vjerojatnost, informacija — stohastički procesi«, Školska knjiga, Zagreb, 1974.
- [6] Z. VUJAKLIJA: »Končar pro master — sistem procesnog upravljanja otvoren po mogućnostima i aplikacijama«, Končar, Stručne informacije 4/1987. g.

#### A THREE DIMENSIONAL PROCESS INFORMATIONS SET OF ELECTRIC POWER TRANSMISSION SYSTEM

In the article is presented a method for modeling of process information set. Dynamics of process informations is presented as a statistical value. Presented are state probabilities for system components that are based on experimental data.

#### DREIDIMENSIONALE SCHILDERUNG EINER GRUPPE VON PROZESS — INFORMATIONEN DER ÜBERGANGSGRUPPE EINER ELEKTROENERGETISCHEN ANLAGE

Hier schildert man das Modellieren der Quellen der Prozess Informationen für die Übertragungselektroanlage (PEEP). Dabei benutzt man die dreidimensionale Schilderung um das allgemeine Modell der Quelle für Prozess Informationen zu bekommen. Es wird gesagt, daß die Dynamik der Prozess Informationen eine zufällige Größe ist. Außerdem beschreibt man statistische Wahrscheinlichkeiten der Erscheinung von Prozess Informationen für die Komponenten der Anlagen zu denen man durch experimentelle Versuche gekommen ist.

#### ТРЕХМЕРНОЕ ОБОЗРЕНИЕ СКОПЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИЙ ПРОЦЕССОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА

Представлено моделирование источников информации процесса прасредельной электроэнергетической установки. При этом используется трехмерное обозрение для получения общей модели источников информации процессов. Получается, что динамика информации процессов является случайной величиной и показаны статистические вероятности явления информации процессов для составляющих устройства, получаемые на основании экспериментальных исследований.

Naslov pisca:

**Mr. Juraj Šimunić, dipl. inž.  
Tehnički fakultet Rijeka  
Sveučilišta »Vladimir Bakarić«  
51000 Rijeka, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1989-10-25

**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**



# PROJEKTIRANJE BAZNIH I IZVEDENIH RELACIJA ZA OSNOVNE ANALIZE MREŽE EES

Dr. Marija Ožegović, Split

UDK 621.31:681.3

PRETHODNO PRIOPĆENJE

Ukratko su izneseni najosnovniji zahtjevi u strukturiranju međusobno povezanih zapisa minimalne logičke redundancije. Iz osnovnih analiza mreže agregacijom i generalizacijom kreirane su bazne relacije elemenata mreže i popraćene primjerom.

**Ključne riječi:** baza podataka, analize EES-a, ORACLE.

## UVOD

Razvoj elektroenergetskog sistema do danas praćen je među ostalim i razvojem matematičkih modela, koji računanjem s odgovarajućim podacima mogu dati više ili manje realnu sliku sistema u cjelini ili nekog njegova detalja. U razvoju matematičkih modela za EES dala su elektronička računala kvalitetan doprinos. Karakteristično je za ovaj period prikupljanje podataka za aplikacijske programe bez stvaranja jedinstvenog resursa podataka.

U sadašnjoj fazi razvoja informacijski sistemi putem upravljanja resursima podataka modeliraju realni sistem i oko resursa podataka formiraju se aplikacije. S time je interaktivna strategija u plarniranju resursa podataka, a zajednička odgovornost korisnika i informatičara upravo je toliko nedjeljiva koliko je nužno djeljiva po strukama.

Obrada podataka za matematičke modele EES i šire u zaostajanju je za potrebama. Razloga ima više, ali se glavni ima pripisati činjenici da su modeli baza podataka, kao okosnica informacijskog sistema, do sada biti nepodobni za jedan takav vremenski i prostorno izgrađeni, u funkciji specifičan i glomazan sistem kao što je EES.

Za razliku od starijih, relacijski model baze podataka ima takve odlike koje dozvoljavaju kreiranje baze u bilo kojem segmentu EES, ne narušavajući nasljeđe u obradi podataka tog segmenta. Ova autonomija u manipulaciji podacima dozvoljava dalje, unutar EES, rast nepovezanih informacijskih podsistema po bilo kojim viđenjima, a da to ne predstavlja gubitak vremena i sredstava uz pretpostavku da su podaci točni. Dapače, tek nad dovoljnom količinom uspostavljenih informacijskih tokova mogu se za EES uspostaviti međusobne veze, odnosno superponirati informacijski sistem.

Mogućnosti nekog softverskog paketa relacijske baze podataka mogu se iskoristiti samo ako se s podacima postupa u duhu filozofije relacijskog modela.

Taj je u direktnom pristupu osnovnim tablicama podataka određenog poglavlja i formiranju tog pogleda kroz kreiranje struktura višeg nivoa apstrakcije.

## RELACIJSKA BAZA PODATAKA

Naš pogled u život oko nas sistematiziran je kao skup pogleda u istovrsne objekte: skup stabala čini šumu, skup zgrada čini naselje, skup đaka čini razred, skup razreda čini školu, itd. Nad istovrsnim objektima gradimo po nekim kriterijima skupove novih objekata. Đake istog razreda povezuje isti nivo znanja, četvu vojnika povezuje isti rod vojske. Te nadgradnje nastaju apstrahiranjem osnovnog objekta. Kada kažemo da II. razred smjera informatike ima 25 đaka, o đacima ne kažemo ništa više no da su vezani pohađanjem upravo tog razreda.

Sistem baze podataka (BP) također je hijerarhija apstrakcija, u kojoj je svaki nivo jedna vrsta modela. Model je skup objekata i operacija nad tim objektima. Sistem upravljanja bazom podataka (SUBP) kroz svoj softver ostvaruje manipulacije podacima, uključujući transformaciju modela na višem nivou apstrakcije u modele nižeg nivoa.

Najniži nivo apstrakcije jest apstrakcija u kojoj su podaci smješteni u bazi u binarnom obliku. Taj nivo najčvršće je vezan za kompjutorski sistem na kojem se baza nalazi. Ovisi o bazi da li će za krajnjeg korisnika (u daljnjem tekstu korisnika) uopće biti interesantan fizički smještaj podataka. Dapače, u rješenjima SUBP relacijskog modela danas ne zna ni sistem-inženjer gdje mu se nalazi podatak. Unatoč tome SUBP ovakve baze mora optimalno koristiti mogućnosti baze i računarskog sistema.

Entitet je objekt ili veza među objektima opisan skupom podataka. Skup entiteta istog tipa karakteriziran je skupom atributa istog ili različitog domena, pri čemu imena svih atributa moraju biti različita.

Relacija je tablica u kojoj su  $n$ -torke entiteta redovi, a podaci pod istoimenim atributima stupci tablice. Domeni pojedinih atributa su skupovi brojeva, skupovi konačnih nizova alfabetskih znakova ili jedno i drugo. Iako podatak ne može biti opisna informacija (jer ovu tek daje skup podataka), tablica je toliko jednostavna i prirodna za korisnika da joj nema konkurencije.

Relacijska baza podataka jest skup relacija koje se mijenjaju u toku vremena. Relacijska shema opisuje strukturu relacija relacijske baze. Sastavni dio baze podataka jest jezik kojim se komunicira s bazom radi ažuriranja i pretraživanja podataka. Za relacijski model postoji nekoliko jezika. Svima njima je osnovan jednostavan formalni jezik, koji se naziva relacijska algebra. Operacijama relacijske algebre jednostavno se izražavaju tipovi upita, koji nisu ništa drugo nego operacije nad skupovima, i to operacije Dekartova proizvoda skupova, unije, presjeka i razlike, te specifične skupovne operacije nazvane projekcija, restrikcija, spajanje i dijeljenje.

Projekcija je operacija koja iz zadane relacije stvara novu relaciju iz podskupova atributa. U novoj relaciji eliminiraju se jednake  $n$ -torke.

Restrikcija ili selekcija jest izvlačenje onih  $n$ -torki iz neke relacije koje zadovoljavaju dane uvjete.

Spajanje je formiranje nove relacije iz dviju zadanih na način da se nekim atributima jedne relacije dopisuju atributi druge relacije prema zadatku. Izbacivanje redundantnih stupaca daje prirodno spajanje.

Dijeljenje je operacija kojom se jedna relacija dijeli projekcijom druge. Kvocijent je nova relacija podobna za upite koji sadrže riječ »sve«.

Normalne forme su pravila o grupiranju atributa prema logičkim vezama. Domeni, atributi, odnosno podaci relacije ne smiju biti relacije, što znači da moraju biti jednostavni (prosti). Takve su relacije u prvoj normalnoj formi (1NF). To nije dovoljan uvjet da bi se izbjegle anomalije unošenja, brisanja i ažuriranja. Druga, treća itd. forma zahtijevaju da relacija bude u prvoj normalnoj formi i da uz to zadovoljava uvjete koji su to stroži što je redni broj normalne forme viši [1]. Definicije formi višeg reda podrazumijevaju obuhvaćanje pravila prethodnih.

Kandidat za ključ je takva grupa atributa neke relacije u kojoj ne postoje dvije jednake vrijednosti  $n$ -torke te grupe, te ako se izostavi bilo koji atribut iz grupe, gubi se ta osobina. Između kandidata za ključeve bira se jedan koji se naziva primarni ključ. Vanjski ključ je grupa atributa u relaciji koja u njoj nije ključ, ali je ključ u nekoj drugoj relaciji istog modela. Atributi koji ulaze u primarni ključ nazivaju se primarnim atributima. Atributi koji ulaze u bilo koji kandidat za ključ nazivaju se ključnim atributima.

Relacija je u drugoj normalnoj formi ako je u prvoj i ako svi njezini neprimarni atributi potpuno funkcionalno zavise od svih kandidata za ključeve.

Relacija je u trećoj normalnoj formi ako je u drugoj i ako ne sadrži tranzitivne zavisnosti neprimarnih atributa od kandidata za ključ. Itd.

Strukturirani skup međusobno povezanih zapisa minimalne logičke redundancije, nezavisan od konkret-

nog softvera za upravljanje bazom podataka, naziva se kanoničkim modelom baze podataka. Model se može dobiti postepenom normalizacijom relacija tako da su barem u trećoj normalnoj formi. Osim tog postoje i drugi postupci normalizacije.

Transakcija je niz radnji koje transformiraju jedno stanje baze u drugo. Konzistentna je ona baza u kojoj su zadovoljeni uvjeti integriteta podataka. Valjana je ona transakcija nakon čijeg izvršenja je baza u konzistentnom stanju. Transakcija se u relacijskom sistemu sastoji od jednog ili više upita koji se obavljaju nad skupovima  $n$ -torki.

Istovremeno izvršenje više valjanih transakcija ne garantira a priori konzistentnost baze. Ako se transakcije izvršavaju serijski do konflikata ne dolazi, ali se smanjuje raspoloživost baze.

Usporedne transakcije kod kojih se niz isprepletenih radnji iz tih transakcija zamjenjuje nizom serijskih transakcija smanjuju ovaj nedostatak.

Povezivanje računala u mrežu računala u velikim organizacionim cjelinama logično traži kao sljedeći korak povezivanje baza podataka u mrežu baza podataka, tj. za distribuiranu mrežu računala nužno je projektirati distribuiranu bazu podataka. Odvojenost fizičkih i logičkih struktura podataka u relacijskom modelu odvaja korisnika od faktičnog smještaja podataka i manipulacija s podacima u postupcima dekompozicije i kompozicije baze po pojedinim lokacijama. U distribuiranim bazama podataka vrlo je izražen problem integriteta podataka pogotovo ako organizacijsku cjelinu čine vlasnički autonomni subjekti.

## ATRIBUTI IDENTIFIKACIJE OSNOVNIH ANALIZA MREŽE EES

Razni pogledi u iste podatke korisnika poslovno-tehničke djelatnosti EES ne smiju u prvom koraku planiranja resursa podataka obavezivati na uniformiranost, već svaki korisnik mora kreirati svoje tablice prema informatičkom nasljeđu svoje struke ili specijalnosti. Pritome je najvažnije uočavanje funkcionalnih veza radi definiranja baznih i izvedenih relacija. Nakon definiranja objekta u bazi formira se tablica tog objekta iz dva skupa atributa. Po jednom skupu identificira se objekt, a po drugom dobije se tražena informacija. Zato ćemo prvu grupu nazvati atributi identifikacije, a drugu atributima. Najoštrija je u baznim relacijama jednog pogleda u podatke. Bez obzira na podjelu, u tablici mora postojati kolekcija atributa koja garantira neposredan pristup svakom entitetu i kolekcija atributa koja daje nužnu i dovoljnu informaciju.

Strategija u planiranju resursa podataka u području analize mreže EES temelji se, svakako, na velikom broju vrijednih aplikacijskih programa. Istraživanja su pokazala da je radna datoteka pojedinoga automatiziranog programa polazno mjesto u formiranju korisnikova pogleda u podatke.

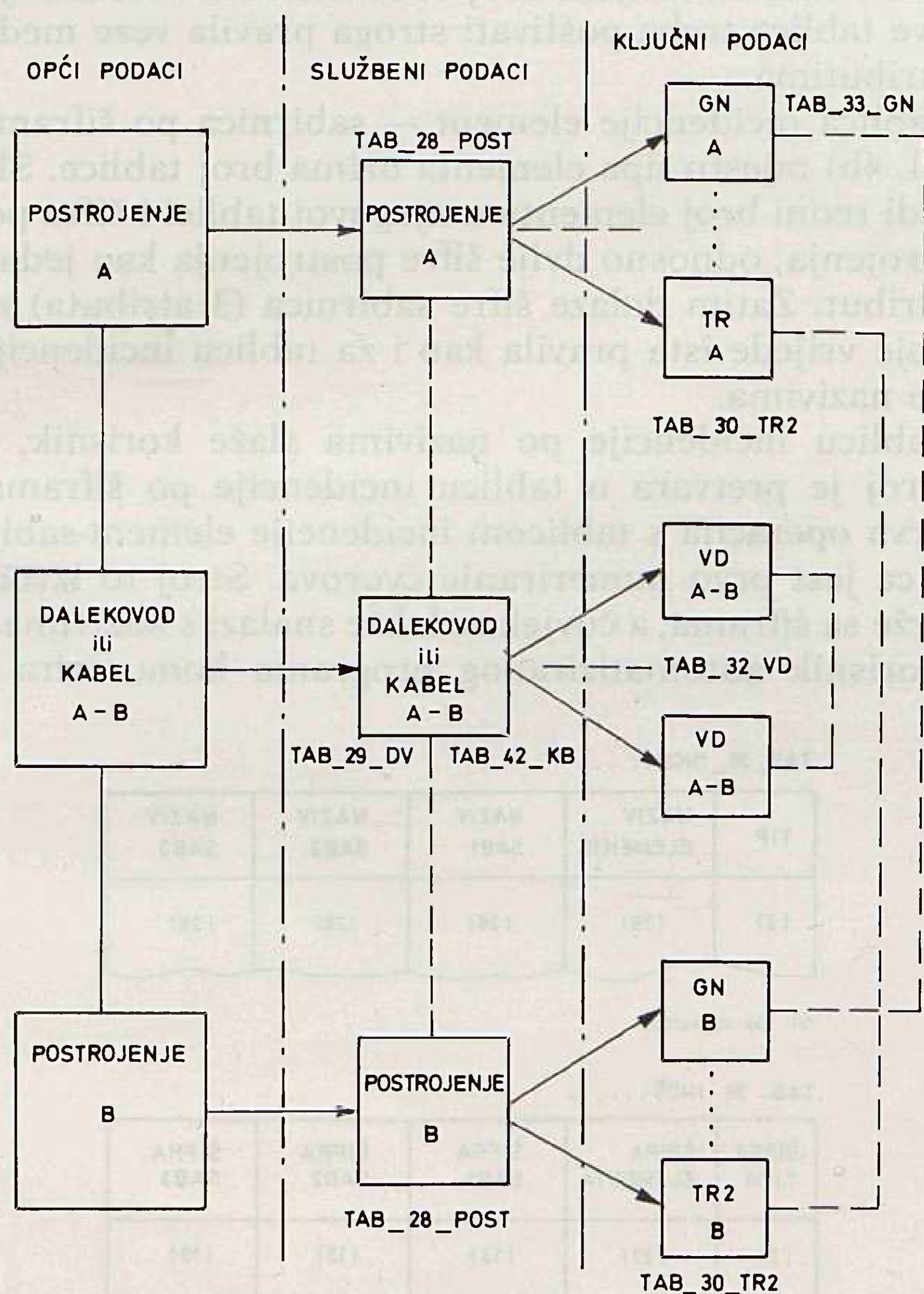
Objekti u bazi osnovnih analiza mreže (kratki spoj, tokovi snage, dinamička stabilnost) jesu generatori, vodovi, transformatori, izvori, potrošači, sabirnice i

iz ovih matematičkim postupcima za dio mreže izvedeni ekvivalentni generatori, ekvivalentni vodovi, ekvivalentni transformatori, te izvori i potrošači (u daljnjem tekstu elementi mreže). U grafu EES čvorovi su postrojenja, a grane su dalekovodi odnosno energetski kabeli. U grafu osnovne analize mreže čvorovi su sabirnice, a generatori, transformatori i trojke vodova su grane. Izvori i potrošači su injektirane snage sabirnica.

U bazi su elementi mreže nepovezani. Baza daje informacije o slobodama povezivanja odnosno o ograničenjima. Uspostavljanjem veze među elementima mreže kroz tablicu incidencije element-sabirnica uspostavlja se zapravo jedna struktura višeg nivoa nad osnovnim podacima.

Generalizacija i agregacija tablice elementa mreže rezultat je faktičkog stanja. Za iste elemente mreže traže se isti ili različiti podaci. Elementi mreže pripadaju istim ili različitim postrojenjima, istim ili različitim nadležnostima.

Identifikacija postrojenja kao čvora prenosi se na identifikaciju sabirnice kao čvora i elementa mreže u tom postrojenju. Identifikacija dalekovoda ili kabela kao grane nosi identifikaciju postrojenja koje povezuje, a prenosi se na identifikaciju trojke. Na sl. 1. pokazane su ove dedukcije. Iz općih podataka postrojenja moguće je izvući nužnu i dovoljnu kolekciju atributa, od kojih je barem jedan službeni naziv. Pretpostavlja se da je u službenom nazivu uvijek ime postrojenja i da se iz službenog naziva ili nekog drugog



Slika 1. Obrada i veze atributa za identifikaciju u tablici analize mreže

GN — generator, DV — dalekovod, VD — trojka dalekovoda

atributa mogu dobiti nazivni naponi sabirnica i tip postrojenja. Analogno vrijedi za dalekovod ili kabel. Poštivanje i očuvanje zatečenog stanja daje navedeni proces identifikacije koji od postrojenja vodi do elementa mreže, što nije u duhu relacijskog modela baze podataka. Zato se atributima identifikacije po nazivu u tablicama elemenata mreže pridružuju atributi identifikacije po šiframa. Šifra elementa mreže jest skup brojeva. Svaki broj nešto znači. Šifra postrojenja je podskup brojeva iz šifre elementa.

Kada se iz općih podataka postrojenja, dalekovoda/kabela izvuku atributi naziva, a iz šifara elemenata mreže šifre ovih istih objekata EES, mogu se složiti pomoćne tablice prema sl. 2. To su tablice službenih naziva i šifara. Tako koncipirane mogu biti zajedničke svim pogledima iz poslovno-tehničke djelatnosti EES, što s druge strane obvezuje određeni pristup tablicama općih podataka. Osnovne analize mreže traže da to bude tip, službeni naziv i šifra. Šifra mora biti također službena, dakle usvojena od EES po hijerarhiji i po djelatnostima. Šifra mora biti jednostavna jer je dio šifre elementa mreže.

TAB\_28\_POST

TIP	SLUŽBENI NAZIV	Š I F R A	
		RW	RBR
(3)	(15)	(3)	(3)

a) električno postrojenje

TAB\_29\_DV/KB

TIP	SLUŽBENI NAZIV	Š I F R A				
		SL RBR	RW	RBR	RW	RBR
(3)	(15)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)

b) dalekovod ili kabel

Slika 2. Službeni nazivi i šifre postrojenja, dalekovoda i kabela

RBR — redni broj unutar RW lokacije, SL RBR — službeni redni broj objekta

Kao što je to u referatu [4] izneseno, može se jednostavno formirati šifra postrojenja kao kolekcija šifara države, republike, RW lokacije i rednog broja u tablici postrojenja. Za ovo je prema sl. 2a potrebno 6 znamenaka. Tom broju potrebno je još dodati 2 znamenke iz naslova tablice. U slučaju RW lokacije regije Dalmacije broj 28 da bi šifra bila potpuna.

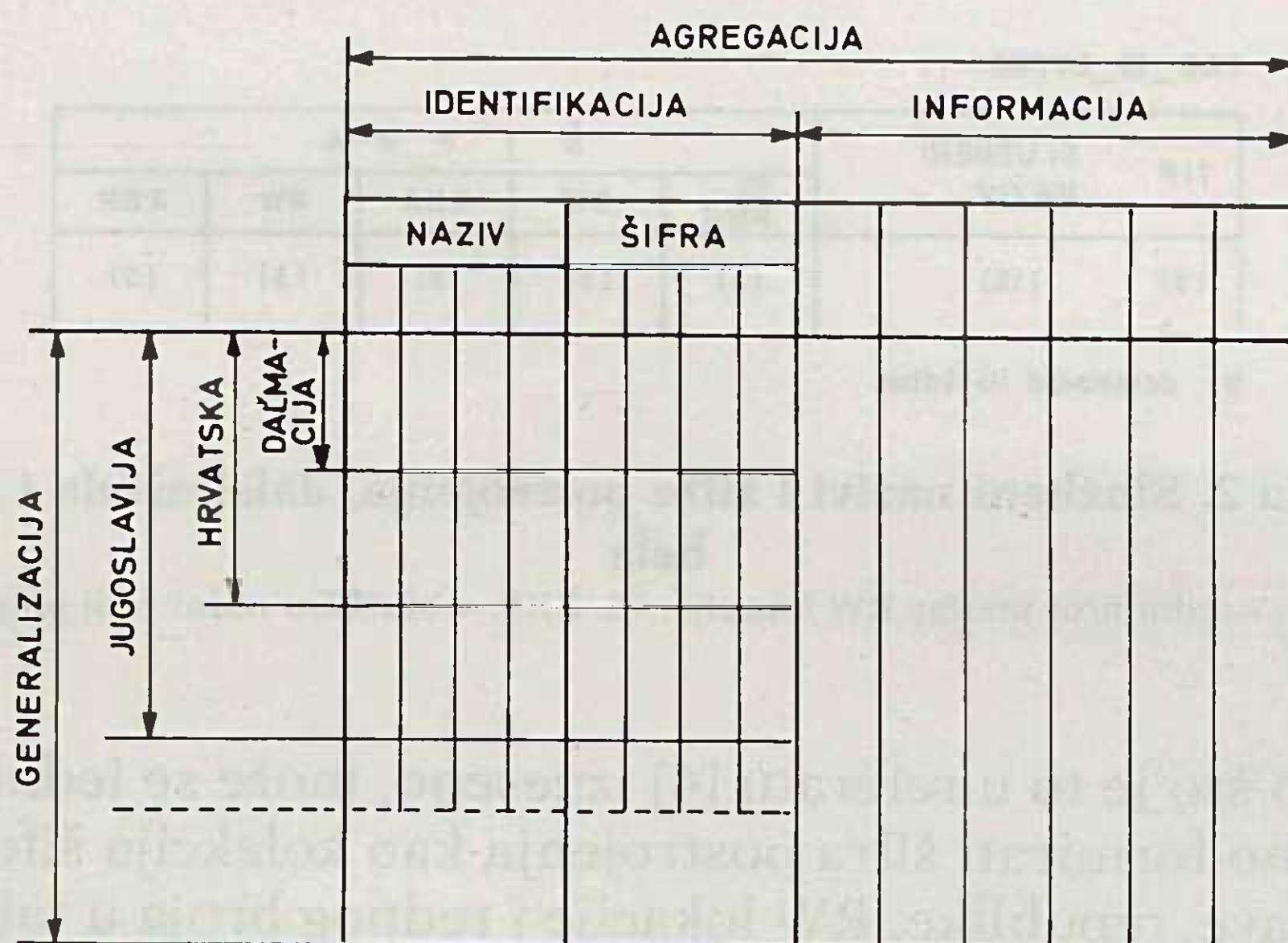
Tablica službenog naziva i šifre dalekovoda/kabela izvedena je u šifarskom dijelu iz šifri postrojenja koja povezuje. Službeni naziv također ima veze s nazivima postrojenja, barem po imenima. Važan je položaj šifri postrojenja prema imenima u nazivu. Prvo ime kaže *od*, a drugo ime kaže *do*. To se mora slagati sa položajem šifri postrojenja. Šiframa postrojenja u šifri dalekovoda/kabela potreban je još jedan redni broj u ovoj tablici. Time šifra traži u tablici 15 znamenaka. Tom broju potrebno je još dodati 2 znamenke iz naslova tablice. Dodaje se broj 29 u slučaju RW lokacije u regiji Dalmacije. Ukupno je, dakle, 17 znamenki.

Medusobno povezivanje RW lokacija u distribuiranu bazu podataka postavlja zahtjev jednoobraznog

identificiranja objekta u bazi, a to znači za dalekovod/kabel iste attribute identifikacije bez obzira na to da li povezuje postrojenja iste ili raznih RW lokacija. Da bi se tome udovoljilo na višem hijerarhijskom nivou mora biti određeno koje je postrojenje *od*, a koje *do*. U interesu optimalnog rada moraju se potisnuti identificiranja s vlasničko-pravne pozicije. Kada se radi o bivšem ili budućem postrojenju i dalekovodima/kabelima, tj. o objektima EES koji više nisu u pogonu ili koja će tek biti u pogonu, mogu se na isti način formirati tablice službenih naziva i šifri. Korisno bi bilo u ovim tablicama uvesti attribute datuma ulaska u pogon i datuma izbacivanja iz pogona. Ti atributi ne mogu biti preslikani u tablice elemenata mreže. Element ne može biti raspoloživ za pogon a da postrojenje nije. Postrojenje može biti raspoloživo za pogon a da element nije.

Unošenje u bazu fiktivnih mreža, npr. test-mreža ili školskih primjera, riješeno je stavljanjem broja 9 na mjestu broja republike. Time su i svi elementi tih mreža označeni da ne pripadaju realnom sistemu. Tako je zasada izbjegnuto posebno kreiranje tablica fiktivnih mreža.

Na sl. 3. prikazana je tablica elementa mreže. Tablica se sastoji od atributa identifikacije i atributa informacije. Slijedeći ista pravila kao i kod tablica službenih naziva i šifri, formiraju se atributi identifikacije po nazivima i atributi identifikacije po šiframa.



Slika 3. Tablica elementa mreže s pogleda osnovnih analiza

Atributi identifikacije po nazivu izvode se prvenstveno iz službenog naziva postrojenja odnosno dalekovoda/kabela. Uzima se ime (imena) i nazivni napon (nazivni naponi u formi prijenosnog omjera) i dodaje se identifikacijski broj. Tim se brojem označavaju raspoloživi paralelni elementi mreže koji imaju isto ime i iste nazivne napone.

Atributi identifikacije po šiframa elementa mreže koji se nalazi u jednom postrojenju uključuju šifru tog postrojenja i redni broj elementa u njegovoj tablici što čini 11 znamenki. Tome treba još dodati broj tablice (dvije znamenke), pa se iz 13 znamenki može pročitati država, republika, RW lokacija, postrojenje, tip elementa i redni broj elementa u njegovoj tablici.

Atributi identifikacije po šiframa elementa mreže koji povezuje dva postrojenja sadrže šifre postrojenja i

redni broj tablice, što zahtijeva 19 znamenki. Tome treba još dodati broj tablice, pa se iz 21 znamenke mogu pročitati država, republike, RW lokacije i postrojenja koje element povezuje i sam element u njegovoj tablici.

Atributi informacije predstavljaju skup atributa zajedničkih i nezajedničkih s pogleda raznih radnih datoteka automatiziranih programa iz osnovnih analiza mreže. Tipovi entiteta jesu fizički objekti, a podaci su električne karakteristike, koje mogu biti zabilježene više ili manje detaljno i na razne načine.

U radnim datotekama formiraju se linearne mreže iz ekvivalentnih shema elemenata mreže, koje su sastavljene od međusobno nezavisnih linearnih i koncentriranih parametara. Podaci zato nisu funkcije, ali su dobiveni postupcima linearizacije, dijagnolizacije itd. Opterećenja su također električne karakteristike fizičkih objekata bilo da se radi o konzumnom području ili elektrani. Ti jednostavni podaci su rezultat opsežnih analiza. Tipovi entiteta za programe iz ovih prethodnih analiza i njihovi atributi predstavljaju jednu drugu kolekciju baznih i izvedenih relacija. Podaci i ovdje mogu biti prosti kao rezultat matematičkih operacija nad podacima opet nekih drugih relacija itd.

Tablica incidencija element – sabirnica po nazivima (sl. 4a) uzima tip elementa iz naziva tablice i vodi ga kao atribut. Drugi atribut dobije se iz 1 ili 2 atributa imena, treći je napon (naponi), četvrti je identifikacijski broj. Peti, šesti i sedmi atribut su tip, ime, napon i identifikacijski broj sabirnice. Pri formiranju ove tablice treba poštivati stroga pravila veze među atributima.

Tablica incidencije element – sabirnica po šiframa (sl. 4b) mjesto tipa elementa uzima broj tablice. Slijedi redni broj elementa u njegovoj tablici i šifra postrojenja, odnosno dvije šifre postrojenja kao jedan atribut. Zatim dolaze šifre sabirnica (3 atributa) za koje vrijede ista pravila kao i za tablicu incidencije po nazivima.

Tablicu incidencije po nazivima slaže korisnik, a stroj je pretvara u tablicu incidencije po šiframa. Prva operacija s tablicom incidencije element-sabirnica jest prvo numeriranje čvorova. Stroj to izvodi brže sa šiframa, a čovjek se lakše snalazi s nazivima. Korisnik automatiziranog programa komunicira s

TAB\_38\_INCN.....

TIP	NAZIV ELEMENTA	NAZIV SAB1	NAZIV SAB2	NAZIV SAB3
(2)	(39)	(26)	(26)	(26)

a) po nazivima

TAB\_39\_INCŠ.....

ŠIFRA TIP	ŠIFRA ELEMENTA	ŠIFRA SAB1	ŠIFRA SAB2	ŠIFRA SAB3
(2)	(21)	(13)	(13)	(13)

b) po šiframa

Slika 4. Tablica incidencije mreže

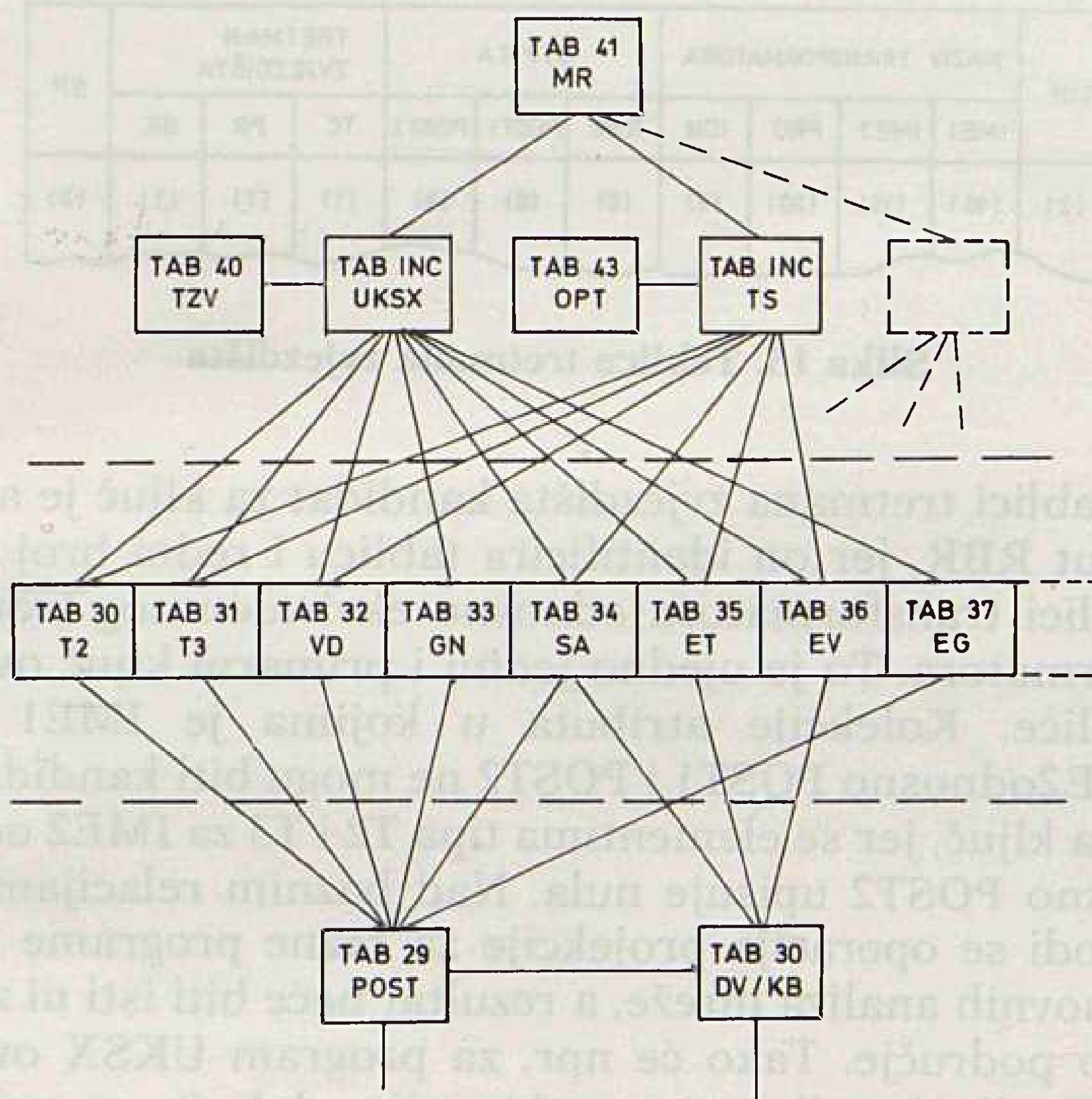
bazom preko panela, menija, grafičkog prikaza mreže i sl. On ne mora znati s kojim je kompjutorskim sistemom povezan njegov terminal, koja je relacijska baza instalirana, ni koji je jezik za komuniciranje s bazom. Važno je znati da se u bazi za određeni program nalazi osnovna mreža koja se može dobiti jednom komandom.

TAB\_41\_MR

TIP	NAZIV MREŽE	ŠIFRA		DATUM MREŽE			OPT	AUTOR		DATUM PLANIRANJA ILI AŽURIRANJA			PROGRAM
		RW	RBR	DAN	MJ	GOD.		IME	PREZ.	DAN	MJ	GOD.	
(3)	(20)	(3)	(3)	(2)	(3)	(2)	(3)	(10)	(15)	(2)	(3)	(2)	(15)

Slika 5. Tablica mreže

Na sl. 5. prikazana je tablica mreže u kojoj također prepoznajemo attribute identifikacije po nazivu i po šifri. Šifra je sastavljena od šifre RW lokacije i rednog broja mreže u tablici mreže. Broju od 5 znamenaka treba još dodati dvije znamenke tablice mreže, dakle ukupno 7. Taj broj je veza s tablicom incidencije i mora se nalaziti u naslovu tablica bilo po nazivima ili po šiframa (točkice). Među atributima su dva datuma. Jedan je datum mreže, njezino realno vrijeme bez obzira na to da li je prošlost ili budućnost, a atribut OPT kaže da li se tog datuma radi o maksimalnom, minimalnom ili srednjem opterećenju mreže. Ime autora, te datum planiranja ili ažuriranja kazuje tko i kada je unio podatke u tablicu. Na kraju je informacija za koji se program odnosno za koju radnu datoteku kupe podaci iz baze.



Slika 6. Veze baznih i izvedenih relacija za potrebe analize mreže

Slika 6. prikazuje veze baznih relacija kroz relacije pogleda programa iz osnovnih analiza mreže.

## RELACIJE AUTOMATIZIRANOG PROGRAMA UKSX

Na slikama 7. do 14. pokazane su bazne relacije automatiziranog programa UKSX. To je 7 relacija elemenata mreže plus jedna relacija sabirnica. Tablice su nacrtane kako ih vidi korisnik, a ne kako su one stvarno kreirane. U kreiranju tablica nema npr. ponavljanja atributa. Za korisnike programa UKSX odmah su razumljivi atributi informacije. Tu je potrebno samo nešto dodatno objasniti.

Za mogućnost uzemljenja transformatora (ZVJ) predviđena su 2 odnosno 3 mjesta, kako bi se moglo upisati koje je zvjezdište izvedeno.

Da li je izvedba evropska ili američka upisuje se u stupcu IZV. U tablicama na slikama 7-11, tj. u tablicama stvarnih elemenata mreže nazivni naponi su rezultat izvedbe. U tablicama 12-14 nazivni naponi ekvivalenta jesu nazivni naponi sabirnica na koje je mreža ekvivalentirana.

TAB\_30\_T2

NAZIV			ŠIFRA		$U_{n1}$	$U_{n2}$	$S_n$	$e_k$	GRSP	ZVJ	IZV
IME	PRO	IDN	RBR	POST	kV	kV	MVA	%			
(15)	(13)	(2)	(3)	(6)	(5)	(5)	(5)	(5)	(3)	(2)	(2)

Slika 7. Tablica dvonamotnog transformatora

TAB\_31\_T3

NAZIV			ŠIFRA		$U_{n1}$	$U_{n2}$	$U_{n3}$	$S_{n1}$	$S_{n2}$	$S_{n3}$	$e_{k12}$	$e_{k23}$	$e_{k13}$	GRSP	ZVJ	IZV
IME	PRO	IDN	RBR	POST	kV	kV	kV	MVA	MVA	MVA	%	%	%			
(15)	(20)	(2)	(3)	(8)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(5)	(3)	(2)

Slika 8. Tablica tronamotnog transformatora

TAB\_32\_VD

NAZIV			ŠIFRA				$U_n$	$l$	$X_1$	$X_2$
IME1	IME2	$U_n$	IDN	RBR	POST1	POST2	kV	km	$\Omega/\text{km}$	$\Omega/\text{km}$
(15)	(15)	(5)	(2)	(3)	(8)	(8)	(5)	(7)	(8)	(8)

Slika 9. Tablica voda

TAB\_33\_GN

NAZIV			ŠIFRA		$U_n$	$S_n$	$X''$
IME	$U_n$	IDN	RBR	POST	kV	MVA	%
(15)	(5)	(2)	(3)	(8)	(5)	(5)	(5)

Slika 10. Tablica generatora

TAB\_34\_SA

TIP	NAZIV		ŠIFRA			$U_n$
	IME	$U_n$	IDN	RBR	POST	kV
(2)	(15)	(5)	(2)	(3)	(8)	(5)

Slika 11. Tablica sabirnica

NAZIV				ŠIFRA			$U_{n1}$	$U_{n2}$	$X_1$	$X_2$	$X_{o1}$	$X_{o2}$	GRSP	ZVJ
IME1	IME2	PRO	IDN	RBR	POST1	POST2	kV	kV	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$		
(15)	(15)	(13)	(2)	(3)	(8)	(8)	(5)	(5)	(8)	(8)	(8)	(8)	(3)	(2)

Slika 12. Tablica ekvivalentnog transformatora

TAB\_36\_EV

NAZIV				ŠIFRA			$U_n$	$X$	$X_o$
IME1	IME2	$U_n$	IDN	RBR	POST1	POST2	kV	$\Omega$	$\Omega$
(15)	(15)	(5)	(2)	(3)	(8)	(8)	(5)	(8)	(8)

Slika 13. Ekvivalentni vod

TAB\_37\_EG

NAZIV			ŠIFRA		$U_n$	$X''$	$X_o$
IME	$U_n$	IDN	RBR	POST	kV	$\Omega$	$\Omega$
(15)	(5)	(2)	(3)	(8)	(5)	(8)	(8)

Slika 14. Ekvivalentni generator

Ekvivalentiranje mreže za program UKSX svodi se na redukciju pasivne mreže u kojoj su generatori zadani početnim reaktancijama. Proračun se mahom izvodi u jediničnim vrijednostima. Kako su iznosi jediničnih vrijednosti rezultat odabranih baznih vrijednosti, to je ovdje donesena odluka da se rezultati redukcije mreže pohranjuju u bazu podataka u fizikalnim vrijednostima. Prednost je u izjednačavanju ekvivalentnog elementa sa stvarnim, a mana je u kompliciranom formiranju elemenata iz ekvivalentnih mreža direktnog i nultog sistema komponenata. Ekvivalentni transformator može se pojaviti kao veza između sabirnica u dva razna postrojenja. Zato su u tablici potrebni atributi IME1 i IME2 odnosno POST1 i POST2. Reakcije  $X_1$  i  $X_2$  jesu reaktancija preračunata na stranu  $U_{n1}$  odnosno na stranu  $U_{n2}$ .

To isto vrijedi za  $X_{o1}$  i  $X_{o2}$ . Grupu spoja GRSP određuju transformatori među sabirnicama 1 i 2 u realnoj mreži. Mogućnost uzemljenja određuje rezultat ekvivalentiranja.

Za ekvivalentni vod nužno je unijeti nultu reaktanciju.

Nulta reaktancija ekvivalentnog generatora rezultat je uzemljenja zvjezdišta transformatora u ekvivalentiranoj mreži.

Atributi informacija u tablici tretmana zvjezdišta jesu TC, PR, SK i SP. Iz brojki prva tri i ovisno o tipu formira se SP prema pravilima programa UKSX.

## PRIMJENA OPERACIJA RELACIJSKE ALGEBRE

Logično je da kandidate za ključ u baznim tablicama osnovnih analiza potražimo najprije među atributima identifikacije. Neka to bude npr. tablica generatora. Kandidat za ključ može biti:

- kolekcija atributa po nazivu tj. IME,  $U_n$ , IND. Isпусти li se bilo koji od ova 3 atributa ostala 2 se mogu ponoviti. Isti nazivni napon i identifikacijski broj može se pojaviti u raznim postrojenjima. Isto ime i identifikacijski broj može se pojaviti za razne nazivne napone (u istom postrojenju po više generatora s istim nazivnim naponima, a ne zna se kojim). Isto ime i isti nazivni napon ima redovito više generatora u istom postrojenju i bez identifikacijskog broja ne zna se koji je generator.
- redni broj u šifri tablice RBR
- kolekcija POST,  $U_n$ , IND, u kojoj je atribut POST kao zamjena za IME.

Za primarni ključ logično se nameće izbor rednog broja u tablici RBR. Za ostale bazne tablice vrijedi slično razmatranje.

U tablici službeni nazivi i šifre postrojenja primarni ključ može biti službeni naziv ili redni broj u tablici. Kandidat za ključ ne može biti ni šifra RW lokacije ni TIP ni njihova kombinacija, jer jednoj RW lokaciji može pripadati više postrojenja istog tipa.

U tablici službeni nazivi i šifre dalekovoda/kabela primarni ključ može biti službeni naziv ili redni broj u tablici (SL RBR). Ostali atributi ili njihove kolekcije ne daju kandidate za ključ.

U tablici incidencije po nazivima jedini kandidat za ključ je kolekcija TIP i NAZIV ELEMENTA, i to je ujedno primarni ključ. U tablici incidencije po šiframa kandidat za ključ je kompletna šifra elementa, tj. šifra elementa u tablici i šifra tablice u kojoj je element.

TAB\_40\_TZV .....

TIP	NAZIV TRANSFORMATORA				ŠIFRA			TRETMAN ZVJEZDIŠTA			SP
	IME1	IME2	PRO	IDN	RBR	POST1	POST2	TC	PR	SK	
(2)	(15)	(15)	(20)	(2)	(8)	(8)	(8)	(1)	(1)	(1)	(3)

Slika 15. Tablica tretmana zvjezdišta

U tablici tretmana zvjezdišta kandidat za ključ je atribut RBR, jer on identificira tablicu i redni broj u tablici transformatora odnosno ekvivalentnog transformatora. To je ujedno jedini i primarni ključ ove tablice. Kolekcije atributa u kojima je IME1 i IME2 odnosno POST1 i POST2 ne mogu biti kandidati za ključ, jer se elementima tipa T2 i T3 za IME2 odnosno POST2 upisuje nula. Nad baznim relacijama izvodi se operacija projekcije za razne programe iz osnovnih analiza mreže, a rezultat neće biti isti ni za isto područje. Tako će npr. za program UKSX ova operacija izvući samo reaktancije, dok će za neki drugi program iz kratkog spoja uzeti i djelatne otpore elemenata mreže.

Restrikcijom ćemo iz baznih relacija izvući dio mreže koji želimo analizirati. Ako su ugrađeni u tablice atributi ulaska i izlaska iz pogona elementa mreže restrikciju možemo dopuniti vremenskim uvjetima. Itd.

Operacije relacijske algebre izvodimo i nad izvedenim relacijama. Naprimjer, za program UKSX može-

mo mijenjati neku osnovnu mrežu restrikcijom njezine tablice incidencije bilo po nazivima ili po šiframa. Restrikcija tablice tretmana zvjezdišta mora slijediti automatski.

Svi atributi u baznim i izvedenim tablicama za program UKSX su prosti, odnosno nisu funkcije i time su ove relacije u 1NF. Kako neprimarni atributi potpuno funkcionalno zavise od prethodno definiranih kandidata za ključeve, to se ove relacije mogu smatrati u 2NF. U 3NF nisu sve relacije kao npr. tablica tretmana zvjezdišta. Šifra spoja SP određuje se iz kolekcije atributa TC, PR i SK, koji su također neprimarni atributi kao i SP, što predstavlja tranzitivnu zavisnost neprimarnih atributa. Problem se može riješiti dekompozicijom tablice tretmana zvjezdišta u 2. tablice koje su u 3NF.

## ZAKLJUČAK

Kreiranje logičkih struktura iz bilo kojeg dijela poslovnog-tehničke djelatnosti EES mora započeti na način koji je pokazan u ovom članku, a to znači od apstrahiranja konkretnog relacijskog modela i uvažavanja nasljeđa u identifikaciji podataka.

Korisnik mora definirati samo svoje objekte u bazi i za te objekte nužne i dovoljne informacije. Uz bazne relacije korisnik kreira izvedene relacije i time formira svoj pogled u bazu. Na taj način postojeći podaci grupiraju se logički. Redundaciju je lako naknadno ukloniti usklađivanjem naziva atributa baznih relacija. Dobar softver konkretne baze sam rješava npr. dimenzije podatka prema najdužem i sl. Pokušaj da se izmisli takva sistematizacija podataka koja bi zadovoljila sve korisnike samo je gubitak vremena i sredstava.

Ista filozofija vrijedi i za distribuiranu bazu podataka. Nužno je na svim RW lokacijama kreirati bazu prema raznim pogledima korisnika. Ujedinjenje baze nije ujedinjenje pogleda nego ujedinjenje baznih relacija.

## LITERATURA

- [1] S. ALAGIĆ: »Relacione baze podataka«, Svjetlost, Sarajevo, 1984.
- [2] B. LAZAREVIĆ, P. DIZDAREVIĆ, V. Jovanović: »Projektiranje informacionih sistema«, Naučna knjiga, Beograd, 1985.

- [3] M. OŽEGOVIĆ: »Automatizacija aplikacionih programa iz računa kratkog spoja s osloncem na relacijski model podataka«, XI. savjetovanje o prenosu električne energije u SFRJ, Dubrovnik, 1988., Elektroprivreda, Beograd, 9–10/1988.
- [4] M. OŽEGOVIĆ: »Logičke strukture ORACLE iz analize mreže EES«, XIX Savjetovanje elektroenergetičara Jugoslavije, Bled, 1989.

### DESIGN OF THE BASE AND DERIVED RELATIONS FOR ELECTRIC POWER SYSTEM ANALYSIS

In the article are presented base requirements for construction of mutually related data with minimal redundancy. By the method of aggregation and generalisation created are base relation of net elements and an example is presented.

### DAS PROJEKTIEREN BASISCHER UND AUSGEFÜHRTER RELATIONEN UND GRUNDANALYSEN

In Kürze wurden die elementaren Ansprüche bezüglich des Strukturierens der miteinander verbundener Anmerkungen der minimalen logischen Redundanz beschrieben. Aus der Grundanalyse des Netzes wurden durch Aggregation und Generalisation basische Relationen der Netzelemente gestaltet und durch ein Beispiel illustriert.

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗИСНЫХ И ПРОИЗВОДНЫХ СООТНОШЕНИЙ ДЛЯ ОСНОВНОГО АНАЛИЗА СЕТИ ЭЭС

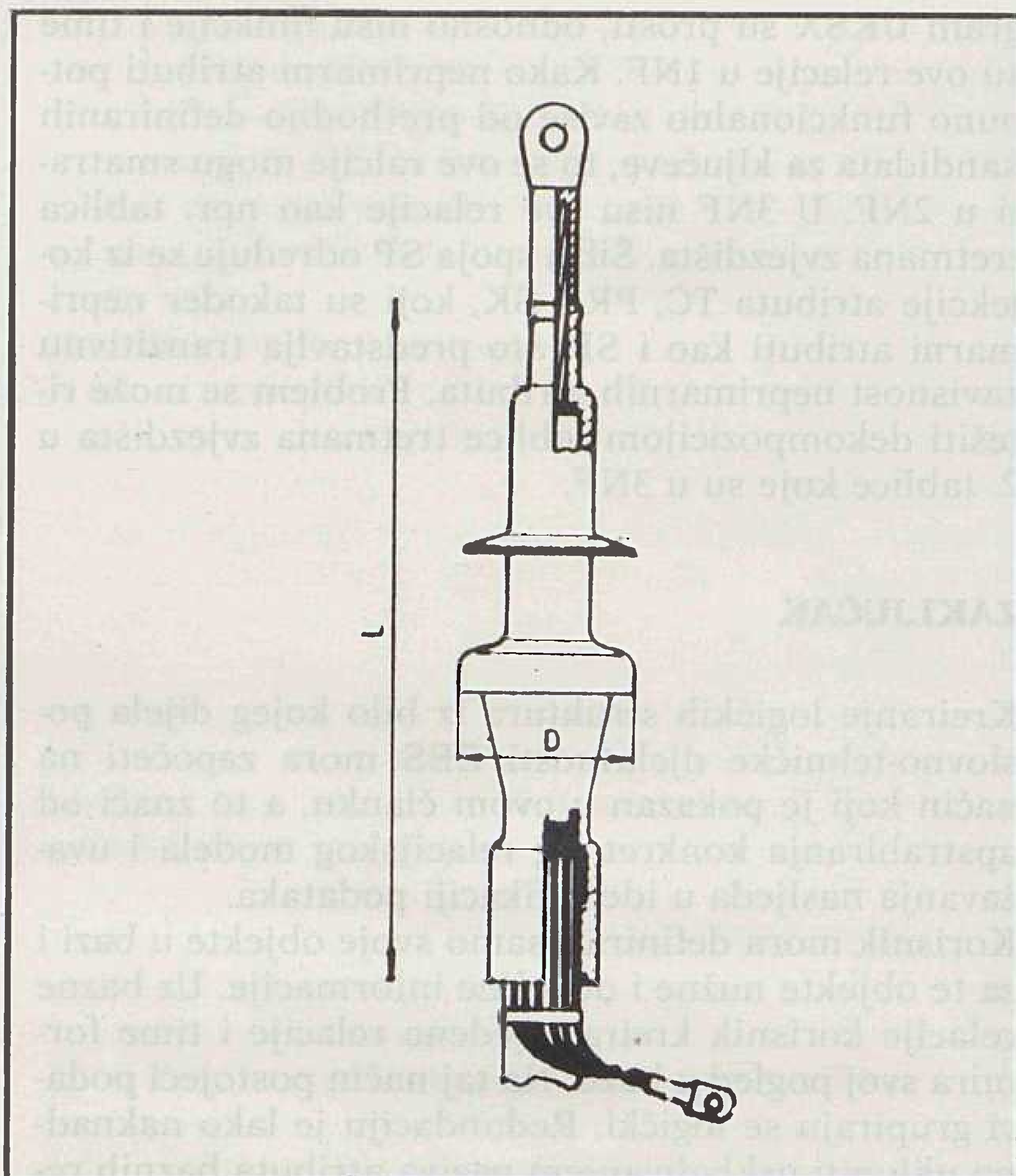
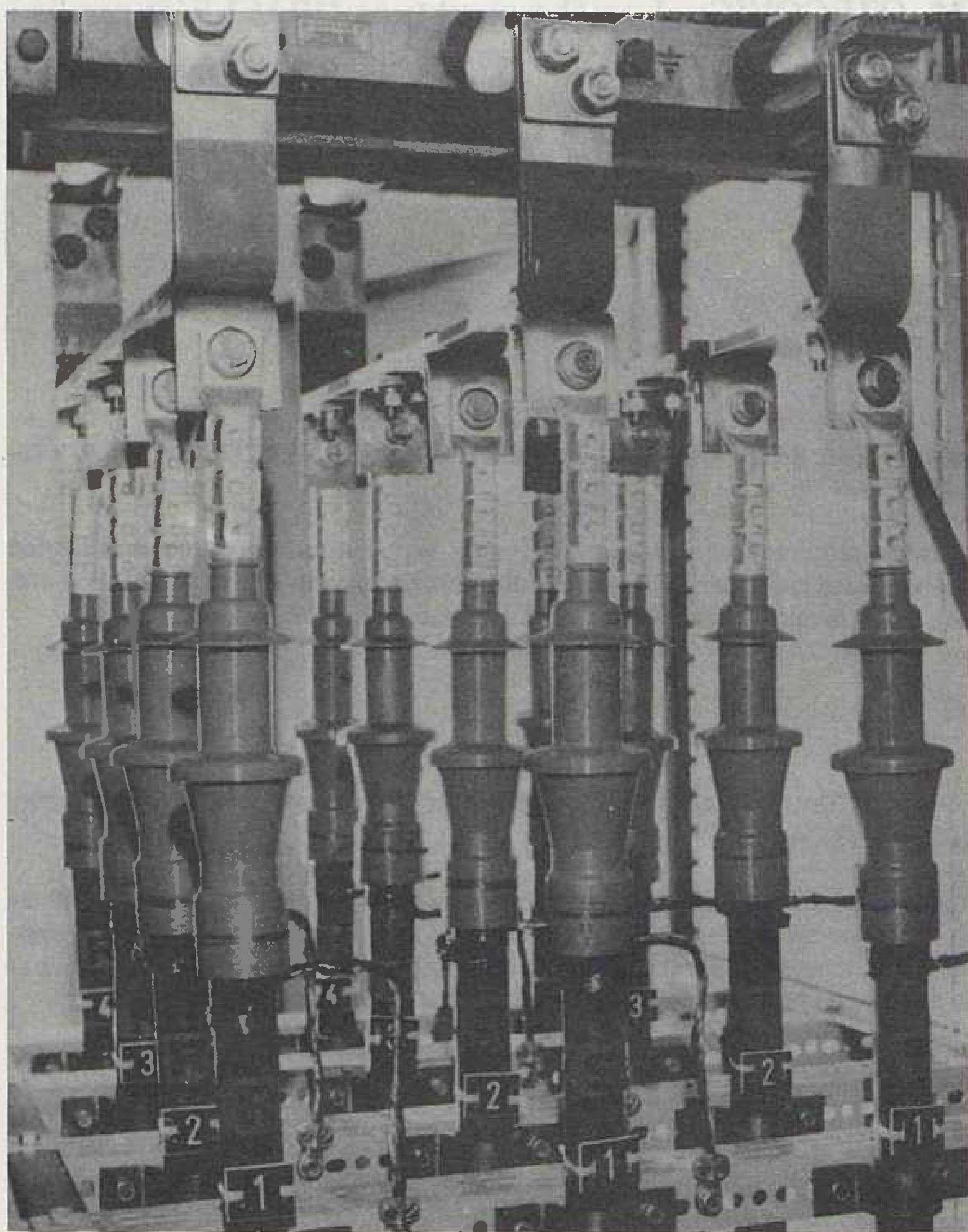
Вкратце приводятся самые основные требования по созданию взаимно связанных записей минимальной логической статической неопределенности. По основным анализам сети созданы агрегацией и обобщением базисные соотношения частей сети и пояснены примером.

Naslov pisca:

**Dr. Marija Ožegović, dipl. inž.  
Fakultet elektrotehnike,  
strojarstva i brodogradnje Split,  
58000 Split, Ruđera Boškovića  
bb, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1989-09-11

# KABELSKE GLAVE IZ SILIKONA ZA UNUTARNJU MONTAŽU U TEHNICI NAVLAČENJA KGI 10, KGI 20, KGI 35



POSTROJENJE 110/20 kV TS — VOLOVČICA  
opremljeno s TEP-ovim silikonskim glavama

## Namjena

Kabelske glave KGI 10, KGI 20 i KGI 35 koriste se za završavanje jednožilnih kabela s izolacijom od PE-a, UPE-a i EPDM-a za unutarnju montažu. Primjenjive su za kabel s bakrenim i aluminijskim vodičima, te za kabele s grafitnim i ekstrudiranim slabovodljivim slojem.

## Izvedba

Kabelska glava je izrađena iz silikona dobrih električnih i mehaničkih osobina te velike otpornosti na puzne struje. U izolator je ugrađen dio za oblikovanje polja, a polje se oblikuje geometrijskim načinom.

## Montaža

Montaža kabelske glave je brza i jednostavna, a vrši se prema tvorničkoj uputi.

## Podaci za narudžbu

Kabelske glave isporučuju se kao slog od tri silikonska izolatora s priborom za montažu. U narudžbi navesti tipnu oznaku kabelske glave ili tip kabela, materijal i presjek vodiča.

NAZIVNI NAPON kV	TIP	MAKSIMALNI PRESJEK (mm <sup>2</sup> )	D (mm)	L (mm)	PROMJER PREKO IZOLACIJE (mm)
10	KGI 10/1	35-50	55	205	16-17,5
	KGI 10/2	70-95	55		19-20,5
	KGI 10/3	120-150	62		22-24
	KGI 10/4	185-240	62		25,5-28,5
	KGI 10/5	300	62		29,5-32
20	KGI 20/0	20-50	64,5	240	19-21,5
	KGI 20/1	70-95	70,5		23-24,5
	KGI 20/2	129-150	70,5		26-28
	KGI 20/3	185-240	78		29-32,5
	KGI 20/4	300	78		34-36,5
35	KGI 35/1	50-95	83	318	27,5-32
	KGI 35/2	120-185	83		32-38
	KGI 35/3	240-300	89,5		38-42

## ISPITIVANJE I ATESTIRANJE

Sav kabelski pribor ispitan je i atestiran u Institutu za elektroprivredu u Zagrebu, prema propisima VDE i IEC.

**tvornice elektrotehničkih proizvoda · zagreb**

**TEP**

41090 ZAGREB, Medarska 69 — Telefon: 041/156-522, Telex: 21361, Telefax: 041/156-539



# DIGITALNI SIMULACIJSKI MODEL ZAŠTITE SINHRONOG GENERATORA OD ASINHRONOG RADA PRI NESTANKU UZBUDE

Doc. dr. Sejid Tešnjak — mr. Ante Marušić, Zagreb

UDK 621.313.1:681.3  
ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu se, kroz razvoj digitalnog simulacijskog modela sinhronog generatora i zaštite od asinhronog rada pri nestanku uzbude, provodi teorijska analiza pojava u generatoru tijekom trajanja asinhronog rada, te utvrđuje područje pouzdanog djelovanja analizirane zaštite.

**Ključne riječi:** analiza, asinhroni rad, nestanak uzbude, matematički model, simulacijski model, zaštita generatora.

## 1. UVOD

U posljednjih nekoliko godina u stanovitom broju elektrana elektroenergetskog sustava Jugoslavije došlo je do težih havarijskih stanja na sinhronim generatorima uzrokovanih asinhronim načinom rada. Posljedice takvih stanja na svim autorima poznatim generatorima bile su veoma teške, jer su zahtijevale djelomično prepaketiranje generatora ili potpunu zamjenu starog s novim generatorom. Te činjenice upućuju na potrebu detaljnijeg pristupa teorijskoj analizi pojava u generatoru tijekom asinhronog načina rada i izboru zaštite koja će pouzdano djelovati i pravovremeno spriječiti štete koje tada mogu nastati na sinhronom generatoru.

U ovom se radu provodi teorijsko istraživanje asinhronog rada generatora i djelovanje zaštite pri nestanku uzbude putem prikaza matematičkog modela i razvoj digitalnog simulacijskog modela sinhronog generatora s odgovarajućim zaštitnim uređajem. Kao primjer prikazat će se pojave asinhronog rada sinhronih generatora hidroagregata VES »Đurđevac« i budućeg turboagregata TE »Plomin 2«.

## 2. OPĆENITO

Asinhroni rad sinhronog generatora može biti uzrokovan različitim pogonskim situacijama, od kojih su najpoznatije:

- neispunjeni uvjeti za točnu sinhronizaciju pri uključivanju u paralelni rad
- vanjske smetnje (veliki padovi napona zbog kratkih spojeva u mreži, velike promjene opterećenja) i
- slučajno ili namjerno izazvan nestanak napona uzbude.

Asinhroni rad sinhronog generatora veoma je opasan za sam generator, a veličina opasnosti ovisi o

vrsti i načinu izvedbe generatora. Osnovna pojava koja je zajednička za sve sinhronne generatore u asinhronom radu jest »uzimanje« jalove induktivne energije (snage) iz mreže, koju obično u normalnom pogonu daje mreži.

Teorijska analiza asinhronog rada sinhronog generatora može se uspješno provoditi korištenjem matematičkog modela generatora prikazanog jednadžbama (3.1) do (3.15), polazeći, dakako, od početnih uvjeta koji vrijede za svako stanje koje karakterizira asinhroni rad.

Točna je sinhronizacija sinhronog generatora na elektroenergetski sustav ponekad povezana sa znatnim teškoćama.

Naprimjer [1]:

- U manjim mrežama, zbog njihove relativno male snage, svaka promjena opterećenja utječe na njihovu napona i frekvencije. Za brzu sinhronizaciju u ovakvim slučajevima mogu se koristiti postupci samosinhronizacije i poluautomatske sinhronizacije. Postupak samosinhronizacije sastoji se u tome da se generator s kratkospojenim uzбудnim namotom dovede, pomoću pogonskog stroja, nešto iznad sinhronne brzine vrtnje i zatim se neposredno ili preko prigušnice neuzbuđen priključuje na mrežu. Istovremeno ili nešto kasnije uključuje se uzbuda, i generator nakon prijelazne pojave (2 do 5 sekundi) ostaje u stacionarnom sinhronom radu.
- Postupak samosinhronizacije nije prikladan u elektranama gdje se primjenjuju samouzbuđeni kompaundirani sinhroni generatori, pa se u takvim slučajevima primjenjuje poluautomatska sinhronizacija. Bit je ovog postupka u tome da se uzbuđeni generator priključuje na mrežu preko odgovarajuće prigušnice. Nakon prigušenja prijelazne pojave (2 do 5 sekundi) prigušnica se kratko spaja i isključuje.
- Veliki sinhroni generatori redovno se uključuju u paralelni rad postupkom točne sinhronizacije.

Međutim, radi održanja rezultirajuće stabilnosti sustava, nakon uklanjanja smetnji koje su imale kao posljedicu kratkotrajno (do nekoliko sekundi) isključenje generatora ili dijela sustava, u pojedinim se zemljama dozvoljava primjena samosinhronizacije. Tako u SSSR-u dozvoljavaju primjenu samosinhronizacije u elektranama gdje maksimalni strujni udar nije veći za hidrogeneratore od  $3 I_n$ , a za turbogeneratore od  $5 I_n$ , dok trajanje odvojenog rada generatora ili dijela sustava ne smije prijeći 15 sekundi.

- Pogonski slučajevi tzv. resinhronizacije sinhronih generatora pripadaju grupi prijelaznih asinhronih stanja generatora. Naime, pojmom resinhronizacije označavamo proces ponovnog vraćanja u sinhroni rad generatora koji su ispali iz sinhronizma zbog smetnji, kao što su, naprimjer, nestanak uzbuđenja, vanjski simetrični i nesimetrični kratki spojevi, a generatori su pritome i dalje ostali vezani za elektroenergetski sustav ili su kratkotrajno bili odvojeni od njega.

Analiza primjera netočne sinhronizacije generatora pokazuje da je, u osnovi, nju dovoljno promatrati pri uzbuđenom i neuzbuđenom sinhronom generatoru. Rezultati proračuna procesa netočne sinhronizacije, na primjeru turbogeneratora [1], pokazuju da takvu sinhronizaciju uzbuđenog generatora prati prijelazno stanje s velikim strujama u armaturnom i prigušnom krugu, te elektromagnetskim momentom. Njihovi iznosi, kao i trajanje prijelaznog procesa, bitno ovise o veličini početnog faznog kuta između napona generatora i mreže, a manje o početnom klizanju. Pokazuje se da primjena netočne sinhronizacije uzbuđenog generatora dolazi u obzir samo kod manjih i srednjih jedinica, i to uz upotrebu prigušnice, koja se mora tako dimenzionirati da struja armature ne prekorači iznos koji bi mogao u mreži uzrokovati pad napona veći od dozvoljenoga, uz istovremeno ispunjen uvjet da prigušenje prijelaznog procesa završi do najviše 5 sekundi.

Rezultati proračuna procesa netočne sinhronizacije za isti turbogenerator kao i u prethodnom slučaju, ali za neuzbuđeno stanje, pokazuju da je prijelazna pojava znatno slabijeg intenziteta [1]. Iznos udarne struje je dvostruko manji nego u najnepovoljnijem primjeru netočne sinhronizacije uzbuđenog turbogeneratora. Ta vrijednost udarne struje praktički ne ovisi o iznosu kuta opterećenja generatora i klizanju u trenutku uklapanja, već samo od vanjske impedancije (naprimjer impedancije blok — transformatora) i početne reaktancije generatora.

Udarci elektromagnetskog momenta višestruko su manji nego u slučaju uzbuđenog generatora, a zavise od vanjske reaktancije i iznosa djelatnog otpora u krugu uzbuđenja. Ta saznanja osnovni su razlog zbog kojeg je ovaj način netočne sinhronizacije našao primjenu pri uključivanju u paralelni rad ne samo manjih već i velikih sinhronih generatora.

Nestanak uzbuđenja (kratki spoj u uzbuđenom krugu  $v_f = 0$  ili prekid uzbuđenog kruga  $\psi_f = 0$  znači za turbogenerator, a pri većem opterećenju i za hidrogenerator, prelazak u asinhroni rad. Naime, zbog tzv. reluk-

tantnog momenta hidrogeneratora (2.1) pri manjim se opterećenjima može dogoditi da hidrogenerator ostane u sinhronizmu s mrežom unatoč nestanku uzbuđenja.

$$P_a \leq \frac{v^2}{2} \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \quad (2.1)$$

Pri nestanku uzbuđenja rotor opterećenog sinhronog generatora (ako generator prelazi u asinhroni rad) počinje se gibati asinhronom brzinom, koja se mijenja sve do kvazistacionarnog nadsinhronog iznosa koji odgovara izjednačenju momenta pogonskog stroja (turbine) i elektromagnetskog momenta generatora.

Spomenuto kvazistacionarno stanje nastaje zbog pulzacije elektromagnetskog momenta, uzrokovane električkom i magnetskom nesimetrijom između uzdužne i poprečne osi generatora. Osim rada generatora u asinhronom stanju, neuzbuđeni se sinhroni generator ujedno nalazi i u kapacitivnom području opterećenja. Za svoje magnetiziranje on iz mreže uzima jalovu komponentu struje koja je određena izrazom [1]:

$$i_c = \frac{2 \cdot v}{X_d + X_q} \quad (2.2)$$

Ako se uzme u obzir da se vrijednosti sinhronih reaktancija za hidrogeneratore nalaze u granicama ( $x_d \approx 0,70 - 1,6$ ;  $x_q \approx 0,45 - 1,0$ ), onda za iznos ove komponente struje, pri  $v = 1,0$  vrijedi:  $i_{chg} \approx 0,77 - 1,74$ . Za turbogeneratore pri ( $x_d \approx 1,2 - 2,2$ ;  $x_q \approx 0,9$   $x_d$ ) iznos kapacitivne komponente struje jest  $i_{ctg} \approx 0,48 - 0,87$ . Dakle, postoje bitne razlike u iznosima kapacitivnih komponenata struja za hidrogeneratore i turbogeneratore. Ti su iznosi za hidrogeneratore gotovo dvostruko veći i prekoračuju nazivnu vrijednost generatora. To je jedan od osnovnih faktora koji hidrogeneratorima daju nepovoljno svojstvo za asinhroni rad. Ostali faktori rezultat su konstrukcije rotora hidrogeneratora. Naime, pri neuzbuđenom generatoru asinhroni elektromagnetski moment jest rezultat međusobnog djelovanja okretnog polja i struja induciranih u prigušnom i uzbuđenom namotu. U stacionarnom radu on drži ravnotežu pogonskom momentu turbine, a pritome redovito veći doprinos daje prigušni namot. Budući da ekonomičnost konstrukcije hidrogeneratora ne dozvoljava izvedbu prigušnog namota s većom masom, to zbog relativno malog toplinskog kapaciteta već i malo odstupanje od sinhronizma za njega znači znatan porast strujnog i toplinskog opterećenja koje može ugroziti pogonsku raspoloživost generatora.

U slučaju turbogeneratora prigušno djelovanje stvaraju vrtložne struje u masivnom željezu i struje u klinovima utora uzbuđenog namota. Budući da masivno željezo rotora predstavlja velik toplinski kapacitet, to njegovo opterećenje ne čini veće ograničenje asinhronom radu.

Treći faktor koji nepovoljno utječe na asinhroni rad hidrogenertora jest njegova znatna nesimetrija između uzdužne i poprečne osi. Ona uzrokuje znatna njihanja struje armature i uzimanje jalove snage, što

nepovoljno, posebice u slučaju većih jedinica, utječe na prilike u elektroenergetskom sustavu.

Navodimo još nekoliko kratkih informacija o kriterijima koji se odnose na asinhroni rad sinhronih generatora u pojedinim zemljama [1].

U pravilu, asinhroni rad hidrogeneratora nigdje se ne dozvoljava. Pri slučajno izazvanom nestanku uzbuđe iznimno ga dozvoljavaju u SSSR-u, i to u trajanju najviše 10–15 sekundi. Ako se u tom razdoblju ne može uspostaviti uzbuđa, mora se hidrogenerator isključiti iz mreže.

U suvremenoj eksploataciji turbogeneratora uz stanovita ograničenja, asinhroni rad sve te više primjenjuje. Pritome se njegovo trajanje dozvoljava i do nekoliko desetaka minuta. Tako sovjetski proizvođači dozvoljavaju trajanje asinhronog rada neuzbuđenog turbogeneratora:

- $t \leq 30$  minuta, pri  $i_a \leq 1,10$  i indirektnom hlađenju armaturnog i uzbuđenog namota
- $t \leq 15$  minuta, pri  $p_a \leq 0,50$  i indirektnom hlađenju armaturnog i direktnom hlađenju uzbuđenog namota
- $t \leq 10$  minuta, pri  $p_a \leq 0,30$  i direktnom hlađenju armaturnog i uzbuđenog namota.

U Velikoj Britaniji se dulji asinhroni rad turbogeneratora, uz malo djelatno opterećenje, uspješno primjenjivao u početnoj fazi eksploatacije objedinjenoga elektroenergetskog sustava 400 kV kad još nisu bile instalirane sve predviđene kompenzacijske priгуšnice, a za vrijeme njegova rasterećenja se pojavljivao višak jalove snage. Pri slučajnom nestanku uzbuđe asinhroni rad se dozvoljava samo toliko da se turbogenerator prije isklapanja uspije rasteretiti radi izbjegavanja porasta brzine vrtnje. U SAD prevladava mišljenje da se turbogenerator pri nestanku uzbuđe mora isključiti iz mreže.

### 3. MATEMATIČKI OPIS SINHRONOG GENERATORA

Često korišteni matematički opis u analizi pogona sinhronog generatora polazi od takozvanog komponentnog prikaza, koji sadrži sljedeće jednađbe [2]:

$$v_d = -i_d r_s - \omega \psi_q - \frac{d\psi_d}{dt} \quad (3.1)$$

$$v_q = -i_q r_s + \omega \psi_d - \frac{d\psi_q}{dt} \quad (3.2)$$

$$v_o = -i_o r_s - X_o \frac{di_o}{dt} \quad (3.3)$$

$$v_f = i_f r_f + \frac{d\psi_f}{dt} \quad (3.4)$$

$$0 = i_D r_D + \frac{d\psi_D}{dt} \quad (3.5)$$

$$0 = i_Q r_Q + \frac{d\psi_Q}{dt} \quad (3.6)$$

$$\frac{ds}{dt} = -\frac{1}{2\pi f T_m} [m_T - (\psi_d i_q - \psi_q i_d)] \quad (3.7)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = -s \quad (3.8)$$

$$\omega = 1 - s = \frac{d\beta}{d\tau} \quad (3.9)$$

$$\psi_d = X_d i_d + X_{ad} i_f + X_{ad} i_D \quad (3.10)$$

$$\psi_q = X_q i_q + X_{aq} i_Q \quad (3.11)$$

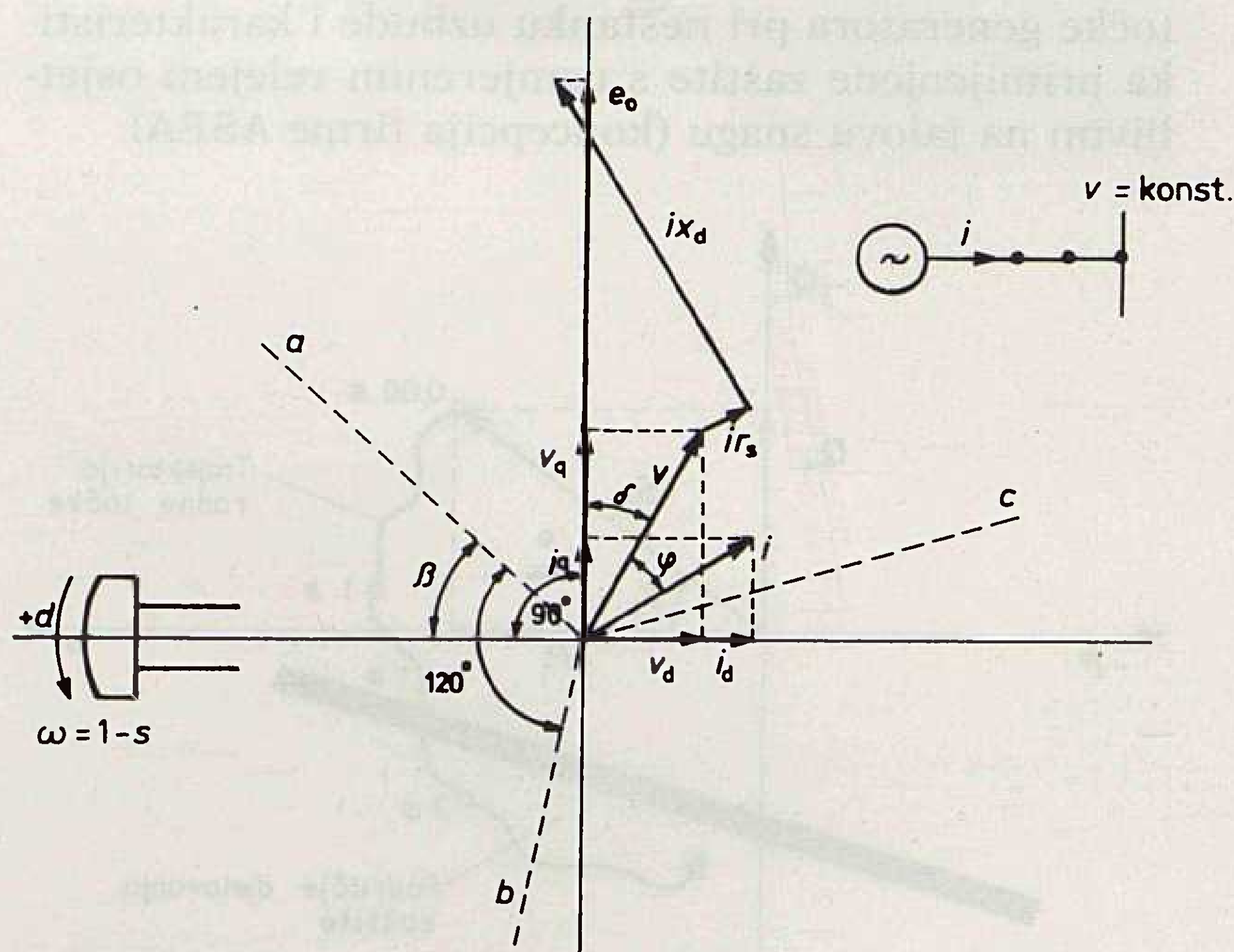
$$\psi_f = X_{ad} i_d + X_f i_f + X_{ad} i_D \quad (3.12)$$

$$\psi_D = X_{ad} i_D + X_{ad} i_f + X_D i_D \quad (3.13)$$

$$\psi_Q = X_{aq} i_q + X_Q i_Q \quad (3.14)$$

$$\beta = \beta + \Delta\delta + t = \beta + (\delta - \delta_0) + t \quad (3.15)$$

Predznaci u jednađbama slijede iz vektorskog dijagrama sa slike 1, gdje uzdužna os d prethodi poprečnoj osi q, a klizanje s ima pozitivan iznos pri brzina rotora koje su manje od sinhrona. Jednađbama (3.1) i (3.2) opisani su naponi u uzdužnoj i poprečnoj osi, a jednađbom (3.3) napon nultog sustava. Naponska jednađba uzbuđenog namota određena je izrazom (3.4). Za prigušne namote, s obzirom na to da su kratko spojeni, vrijede jednađbe (3.5) i (3.6). Jednađba gibanja sinhronog generatora, koja je drugog reda, rastavljena je na dvije »jednakovrijedne« jednađbe prvog reda (3.7) i (3.8). Algebarski odnosi između ulančanih tokova i struja generatora određeni su izrazima (3.10) do (3.14). Sve varijable u prethodnim jednađbama, ako posebno nije napomenuto, izražene su u tzv. relativnim ili jediničnim vrijednostima.



Slika 1. Vektorski dijagram turbogeneratora priklučenog na krutu mrežu

U jednađbama (3.10) do (3.14) pojavljuju se koeficijenti koji nisu dostupni bez prethodnog detaljnog proračuna generatora (naprimjer  $r_D$ ,  $r_Q$ ,  $x_D$ ,  $x_Q$ ). Od praktične je koristi pri istraživanju pojava u generatoru upotreba parametara sinhronog generatora koji se dobivaju standardnim mjerenjima. U tu se svrhu izvorni parametri:  $x_{ad}$ ,  $x_{aq}$ ,  $x_f$ ,  $r_f$ ,  $x_D$ ,  $r_D$ ,  $x_Q$  i  $r_Q$  zamjenjuju lako mjerljivim parametrima:  $x_d$ ,  $x_q$ ,  $x_s$ ,  $x'_d$ ,  $x''_d$ ,  $x'_q$ ,  $T'_{do}$ ,  $T'_d$ ,  $T'_d$  i  $T'_q$ .

Izrazi za preračunavanje mogu se naći naprimjer u [3].

#### 4. RADNA TOČKA SINHRONOG GENERATORA PRI NESTANKU UZBUDE I KARAKTERISTIKE ZAŠTITE

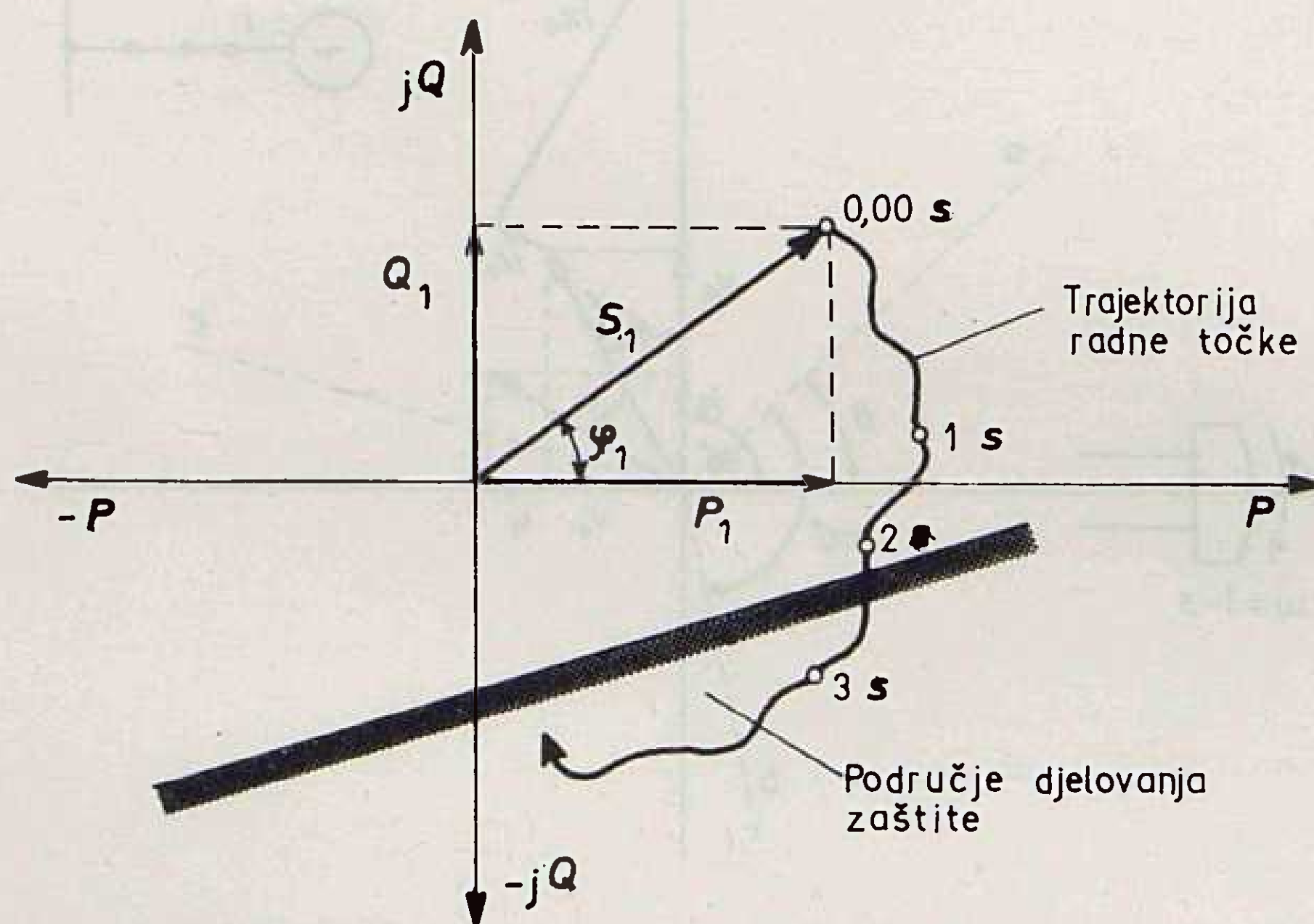
##### 4.1. Općenito

Ovo poglavlje daje opis ponašanja sinhronog generatora priključenog na elektroenergetski sustav pri nestanku uzbude, te karakteristike uobičajenih zaštita od asinhronog pogona.

Uz pretpostavku da je sinhroni generator u trenutku nestanka uzbude opterećen djelatnom snagom (uobičajeni način rada), tako da je pogonski moment turbine veći od elektromagnetskog protumomenta, generator gubi sinhronizam s mrežom, povećava mu se brzina vrtnje i prelazi u asinhroni način rada. Karakteristično je, sa stanovišta dinamike sustava, za ovakvo nestacionarno stanje da se pogonska radna točka generatora giba po trajektoriji s nelinearnim svojstvima.

Zaštitni uređaji koji se koriste za zaštitu generatora pri nestanku uzbude razlikuju se, s obzirom na kriterije koji se uzimaju za identifikaciju, prema kvarovima kod kojih zaštita mora djelovati, te s obzirom na selektivnost i osjetljivost u slučajevima gdje zaštita ne smije djelovati (na primjer njihanja u mreži i dozvoljeni rad u kapacitivnom području).

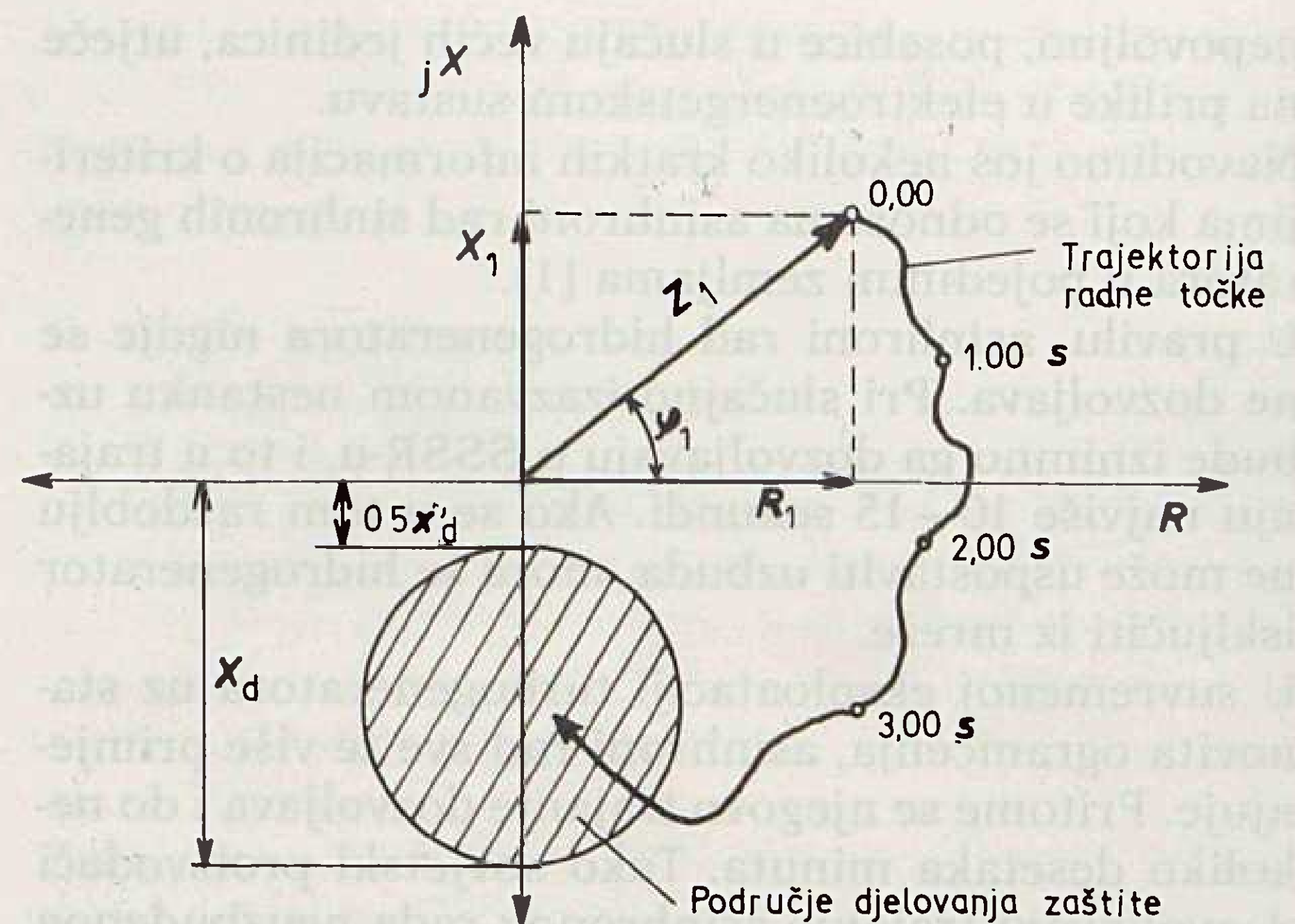
Na slici 2 kvalitativno je prikazano gibanje radne točke generatora pri nestanku uzbude i karakteristika primijenjene zaštite s usmjerenim relejem osjetljivim na jalovu snagu (konceptija firme ASEA).



Slika 2. Gibanje radne točke generatora pri nestanku uzbude i karakteristika zaštite (ASEA)

Proradna karakteristika releja nagnuta je prema P-osi. Minimalna proradna vrijednost treba da je manja od vrijednosti jalove snage za struju  $U_n/X_d$ , kako bi zaštita mogla djelovati i pri nestanku uzbude u praznom hodu sinhronog generatora.

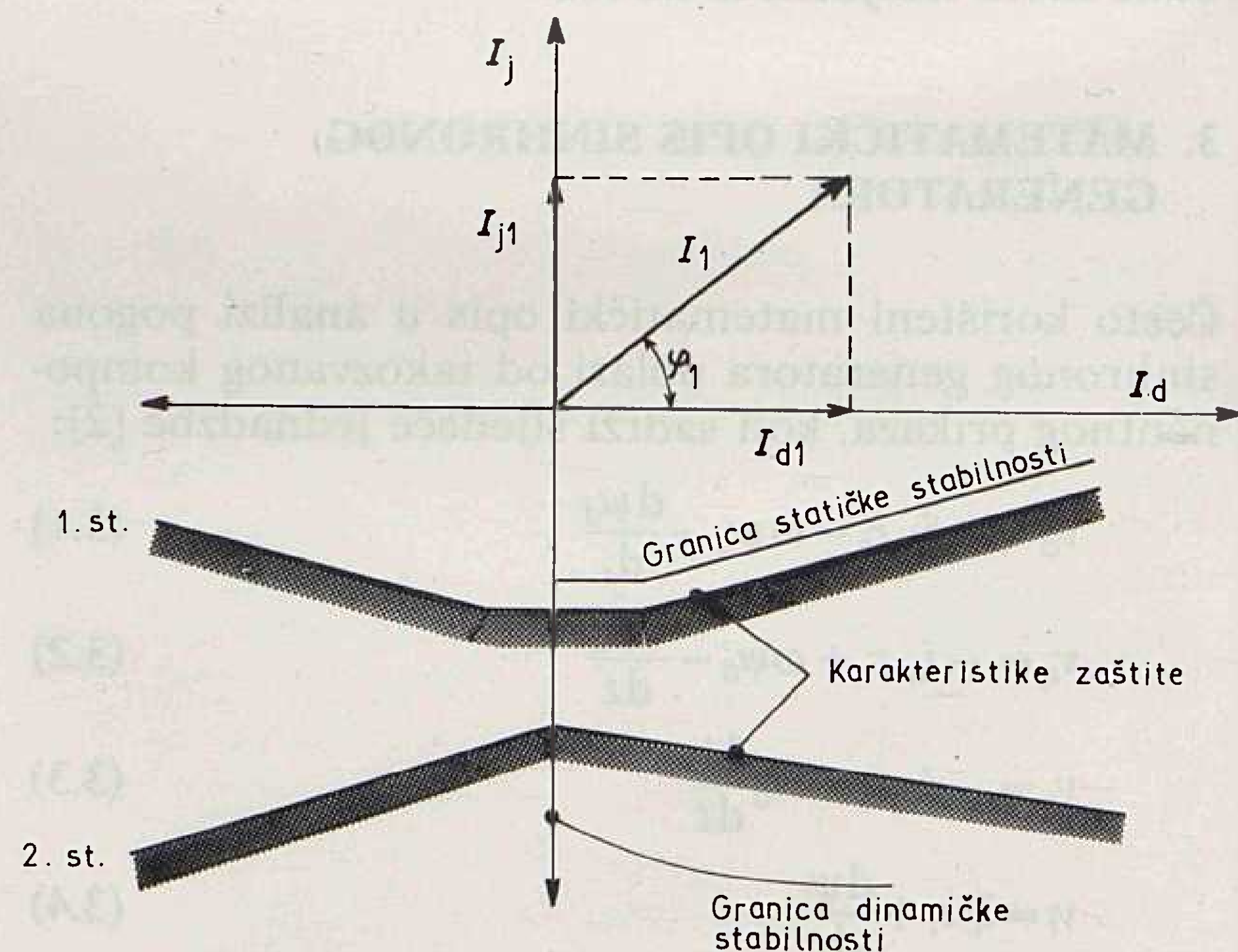
Jedno od često primjenjivanih rješenja zaštite polazi od informacije o impedanciji generatora tijekom asinhronog rada. Na slici 3 prikazana je karakteristika kompaundiranog podimpedantnog releja (prema konceptiji firme BBC).



Slika 3. Karakteristika zaštite generatora pri nestanku uzbude prema koncepciji mjerenja impedancije (BBC)

Minimalna proradna reaktancija podešava se, s obzirom na dinamiku generatora, na vrijednost  $X_d/2$  a maksimalna na iznos sinhrona reaktancije  $X_d$ .

Da bi se obuhvatio nestanak uzbude za različite režime rada generatora, razvijeni su takvi zaštitni uređaji koji se uspješno mogu prilagoditi parametrima i uvjetima rada generatora. Primjer zaštitnog uređaja s karakteristikom u dva stupnja načelno je prikazan na slici 4. Izlomljena radna karakteristika ima prednost ako se radi o zaštiti generatora u reverzibilnim elektranama jer efikasno obuhvaća kako generatorsko, tako i motorsko područje. Karakteristika se može gotovo idealno prilagoditi granici statičke stabilnosti (prvi stupanj — signal alarma i eventualno isključenje s dužim vremenskim zatezanjem).



Slika 4. Karakteristika zaštite od nestanka uzbude — izvedba u dva stupnja (SIEMENS)

Drugi stupanj zaštite djeluje u području dinamičke stabilnosti s minimalno potrebnim vremenskim zatezanjem od 0,5 do 1,5 sekundi (konceptija firme SIEMENS).

Zaštitu od asinhronog načina rada moguće je izvesti i sa zaštitnim uređajima koji identificiraju pojavu izmjeničnog napona u uzбудnom krugu, pri pojavi klijanja rotora generatora.

Ako je generator građen tako da određeno vrijeme može asinhrono raditi, tada se zaštita od nestanka uzbude može kombinirati s podnaponskom zaštitom. Ako je napon mreže dovoljno visok, tj. nestanak uzbude ne ugrožava stabilnost sustava, zaštita samo signalizira kvar. Ako se, međutim, s nestankom uzbude pojavi i pad napona u mreži, iznosa 0,7 do 0,8  $U_n$ , proradi podnaponski relej i zaštita djeluje na isključenje i zaustavljanje generatora, odnosno agregata.

#### 4.2. Matematički opis djelovanja zaštite od nestanka uzbude sinhronog generatora

Za potrebe istraživanja, u sklopu ovog rada, prikazat će se matematički opis metode na kojoj se temelji djelovanje zaštitnog uređaja koji identificira promjenu impedancije generatora za vrijeme prijelaznog stanja koje je uzrokovano nestankom uzbude sinhronog generatora.

##### 4.2.1. Izračunavanje impedancije sinhronog generatora

Linearnom transformacijom varijabli rotirajućeg koordinatnog sustava  $\mathbf{d}$ ,  $\mathbf{q}$ ,  $\mathbf{o}$  dobivaju se fazne struje i naponi armaturnih strujnih krugova ( $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{c}$ ).

Prema slici 1 slijede izrazi za napon i struju u fazi  $\mathbf{a}$ :

$$v_a = v_d \cos \beta - v_q \sin \beta \quad (4.1)$$

$$i_a = i_d \cos \beta - i_q \sin \beta, \quad (4.2)$$

gdje je  $\beta$  kut između uzdužne osi i početka namota faze  $\mathbf{a}$ . Taj kut određen je izrazom (3.15).

Uvrštenjem izraza (3.15) u izraze (4.1) i (4.2) dobiva se vrijednost napona i struja u svakom trenutku. Iz tih trenutnih veličina upotrebom Lobosove A4 metode, izračunava se vrijednost impedancije sinhronog generatora.

##### 4.2.2. Lobosova A4 metoda

Lobosova A4 metoda zasniva se na izračunavanju impedancije generatora na osnovi R–L nadomjesne sheme sinhronog generatora [5, 6]. Za određivanje impedancije generatora potrebne su četiri uzastopno izračunate trenutne vrijednosti napona i struje (slika 5). Uzorci napona i struje uzimaju se s frekvencijom  $1/T$  u trenucima  $t_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ).

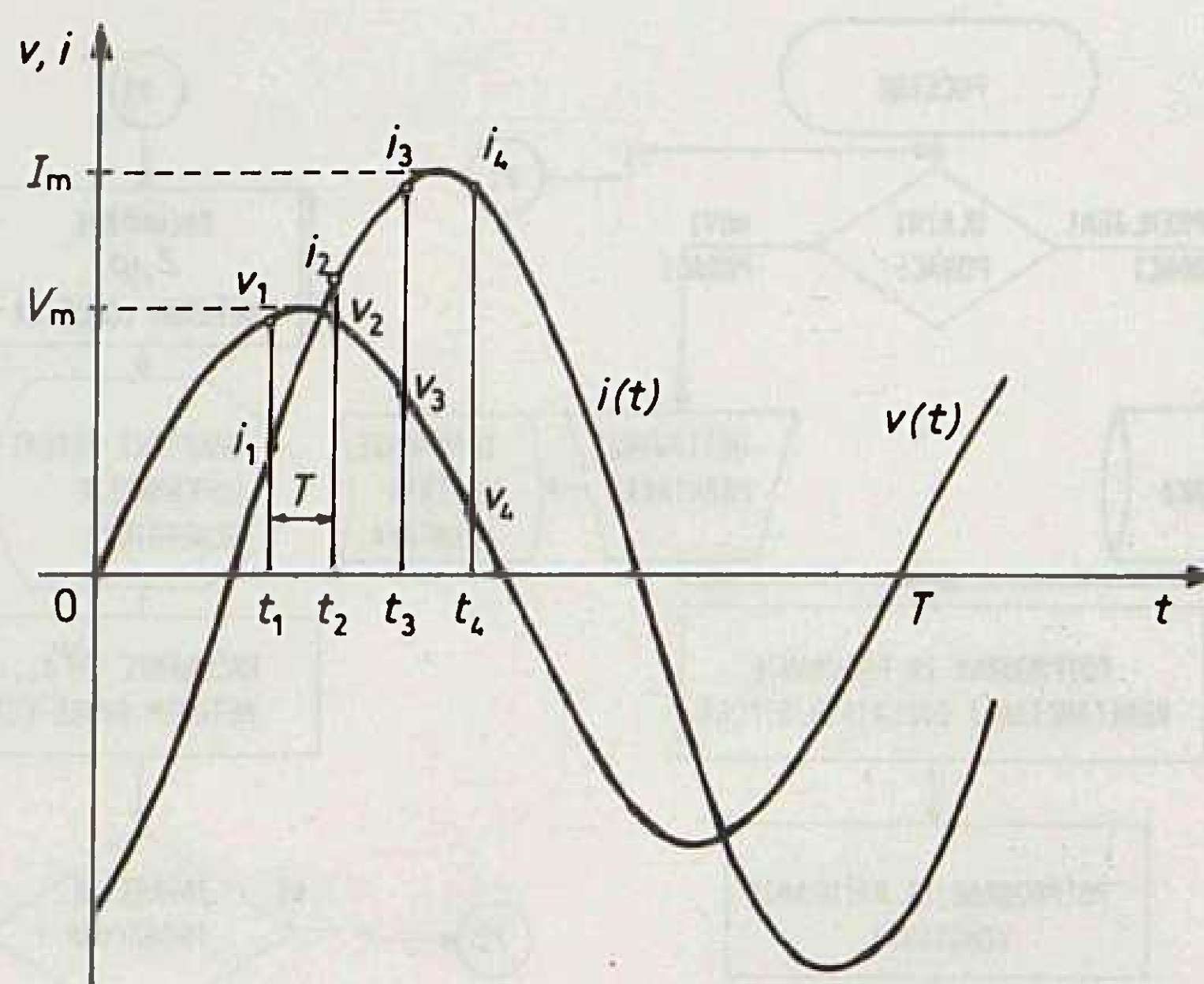
Vrijednosti napona i struje u trenucima  $t_2$  i  $t_3$  mogu se direktno uvrstiti u diferencijalnu jednadžbu (4.3), pri čemu se moraju interpolirati samo prve derivacije struje u navedenim trenucima (izrazi 4.4 i 4.5).

$$v = Ri + L \frac{di}{dt} \quad (4.3)$$

$$\bar{i}'_2 = (i_3 - i_1) / 2T \quad (4.4)$$

$$\bar{i}'_3 = (i_4 - i_2) / 2T \quad (4.5)$$

Jednadžbe (4.4) i (4.5) uvrste se u diferencijalnu jednadžbu (4.3) i riješe po nepoznicama  $R$  i  $L$ . Tim postupkom dobivaju se izrazi za približno određivanje impedancije sinhronog generatora.



Slika 5. Uzimanje uzoraka napona i struje po metodi Labos A4

$$R \approx [v_2(i_4 - i_2) - v_3(i_3 - i_1)] / [i_2(i_4 - i_2) - i_3(i_3 - i_1)] \quad (4.6)$$

$$L \approx 2T(v_3i_2 - v_2i_3) / [(i_2(i_4 - i_2) - i_3(i_3 - i_1))] \quad (4.7)$$

Uz pretpostavku sinusoidalnosti struja i napona provodi se naknadna korekcija koja u potpunosti isključuje aproksimativnu pogrešku iz izraza (4.4) i (4.5). Prema tome, dobivaju se konačni izrazi za određivanje vrijednosti impedancije sinhronog generatora pri nestanku uzbude.

$$R = [v_2(i_4 - i_2) - v_3(i_3 - i_1)] / [i_2(i_4 - i_2) - i_3(i_3 - i_1)] \quad (4.8)$$

$$L = 2 \sin \Delta (v_3i_2 - v_2i_3) / \{[i_2(i_4 - i_2) - i_3(i_3 - i_1)]\omega\} \quad (4.9)$$

Modul i argument impedancije generatora pri nastanku uzbude određuju se na osnovi izračunatih vrijednosti za djelatni otpor i induktivitet prema sljedećim izrazima:

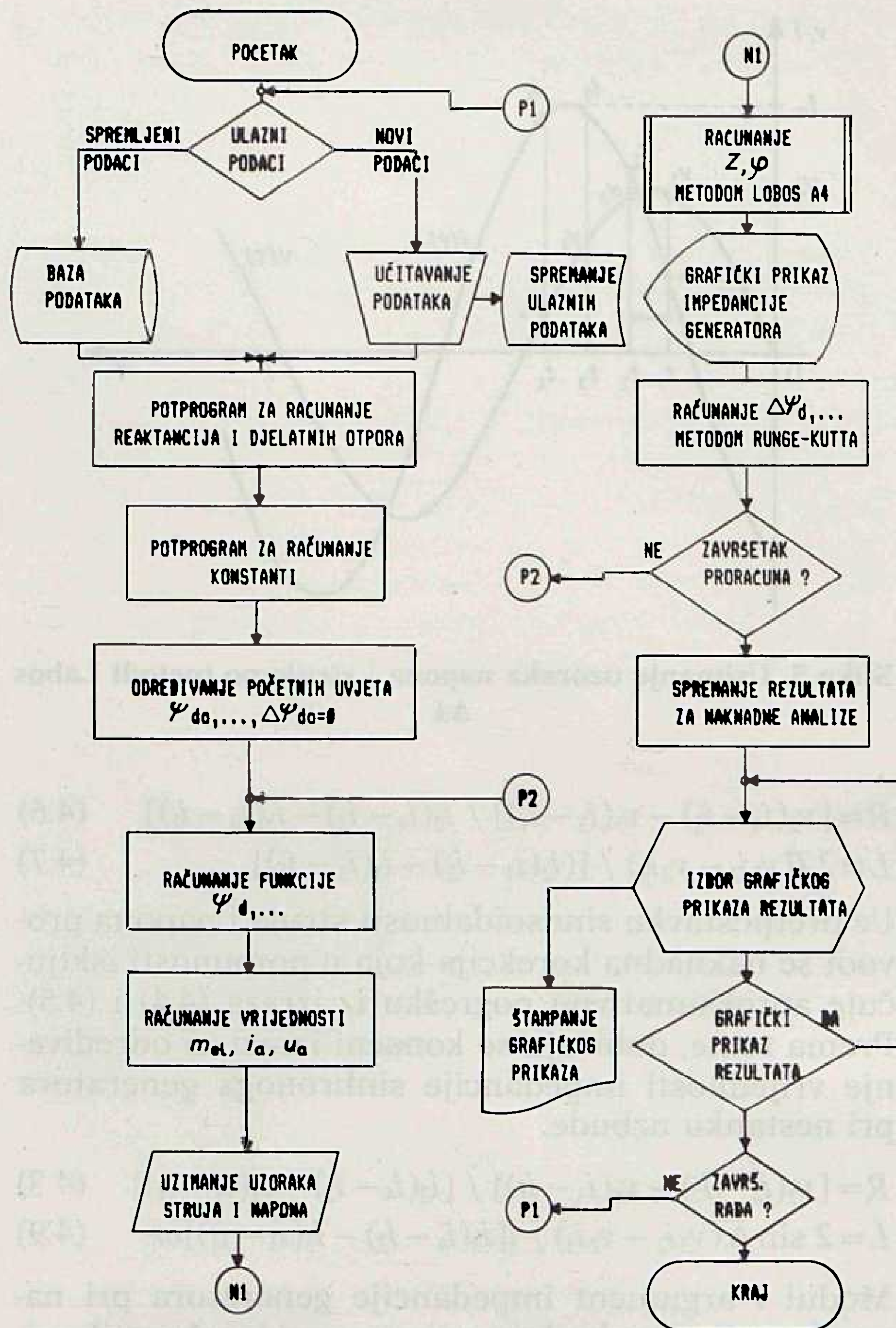
$$|Z| = (R^2 + (\omega L)^2)^{0,5} \quad (4.10)$$

$$\varphi = \arctg(\omega L / R) \quad (4.11)$$

Na slici 6. prikazana je struktura glavnog programa ASPOGEN za analizu asinhronog pogona sinhronog generatora. Iz tog dijagrama vidljiv je položaj potprograma »A4« za određivanje impedancije sinhronog generatora na osnovi uzoraka armaturnih struja i napona pri nestanku uzbude.

## 5. ANALIZA ASINHRONOG POGONA GENERATORA

Na osnovi matematičkog modela, opisanog u poglavlju 3, razvijen je programski paket ASPOGEN za analizu rada sinhronog generatora, pomoću PC/AT računala. Ponašanje sinhronog generatora opisano je sistemom sedam diferencijalnih jednadžbi koje se rješavaju pomoću Runge-Kutta metode četvrtog reda. Ta numerička metoda, uz dovoljno mali korak, daje točne rezultate i pri brzim vremenskim promjenama promatranih varijabli. Određivanje modula i argumenta impedancije sinhronog generatora izvedeno je pomoću algoritma digitalnog distantnog releja zasnovanog na Lobos A4 metodi. Analiza ponašanja generatora pri nestanku uzbude i testiranje programskog paketa izvršeno je s podacima generatora koje



Slika 6. Strukturalni dijagram glavnog programa ASPOGEN

se planira ugraditi u VES »Đurđevac« i TE »Plomin 2«.

Izvorni parametri generatora, korišteni u analizi, jesu: nazivna snaga, napon i faktor snage, početne, prijelazne i sinhronne reaktancije u  $d$  i  $q$  osi, rasipna reaktancija armaturnog namota, vremenske konstante uzbuđenog namota u praznom hodu i uz kratko spojeni armaturni namot, vremenske konstante prigušnog kruga uz kratko spojeni armaturni i uzbuđni namot, vremenska konstanta stacionarne struje i mehanička vremenska konstanta zaleta. Ostali ulazni podaci izvedeni su iz ovih podataka [3].

Rezultati proračuna daju se tabelarno i grafički na ekranu računala i štampaču. U vremenskoj domeni prikazuje se: (1) električni protumoment sinhronog stroja, (2) klizanje, (3) kut opterećenja i (4) impedancija u asinhronom pogonu sinhronog stroja. Osim toga prikazuje se promjena impedancije sinhronog generatora pri nestanku uzbuđenja u kompleksnoj ravni. Ovaj prikaz omogućava izbor i podešavanje zaštitnog uređaja jer se na istoj slici mogu ucrtati i radne karakteristike releja. Spomenuti dijagrami izrađuju se za razne kvarove na uzbuđenom sustavu generatora, i to za: (1) kratko spojeni uzbuđni strujni krug bez i s dodatnim otporom iznosa 5 ili  $10 \cdot R_f$  i (2) prekid uzbuđenog strujnog kruga s različitim vremen-

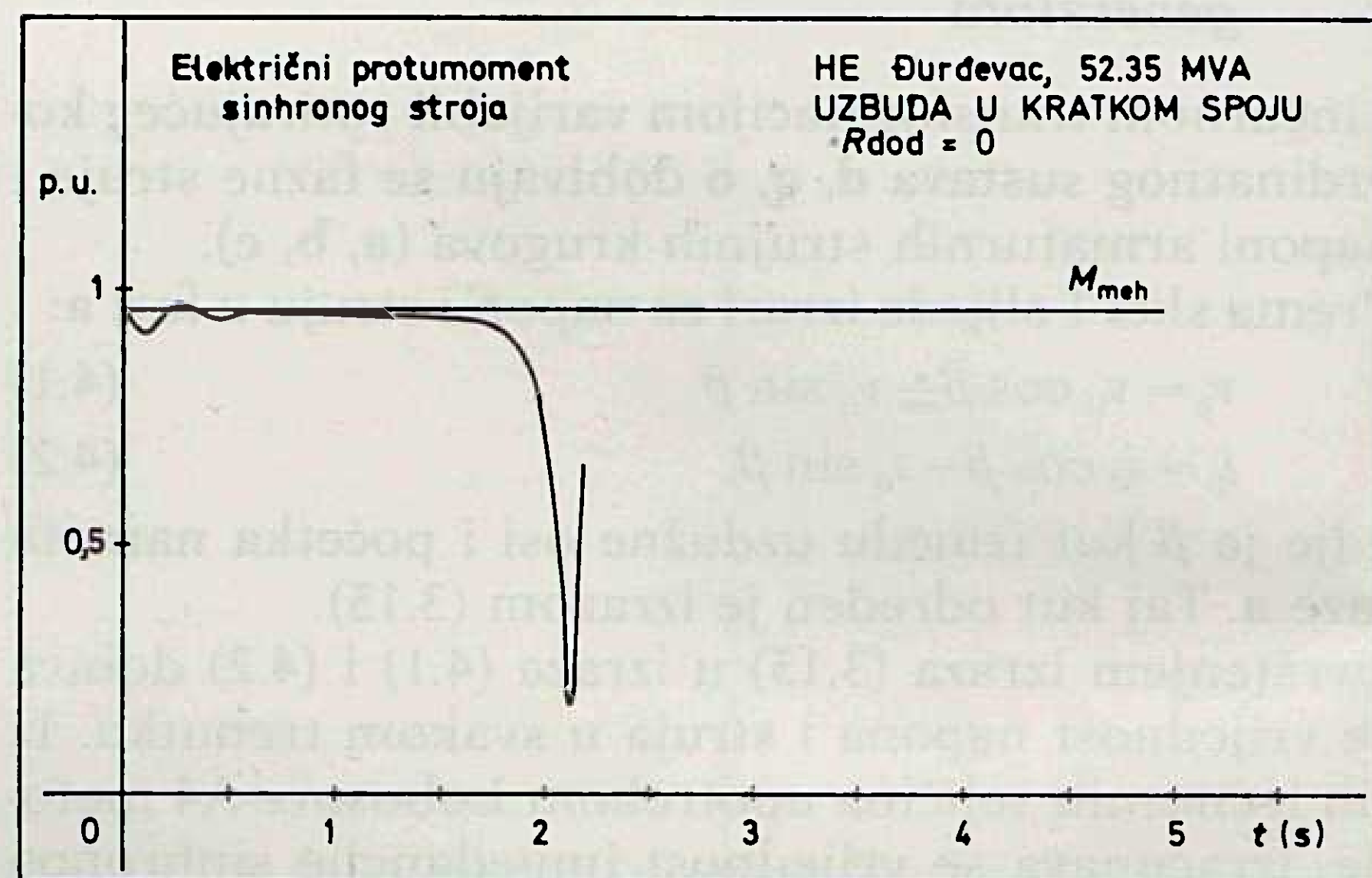
skim konstantama pada uzbuđenog toka (naprimjer 1, odnosno 3 sekunde).

### 5.1. Analiza asinhronog pogona generatora u VES »Đurđevac«

Dio rezultata proračuna asinhronog pogona hidrogenatora nazivne snage 52,35 MVA u VES »Đurđevac« prikazan je na dijagramima 7 do 12.

Na slikama 11 do 14 označeni su vremenski trenuci na krivulji promjene impedancije sinhronog stroja u asinhronom pogonu, te su ucrtane radne karakteristike distantnih releja za zaštitu generatora pri nestanku uzbuđenja (krivulje a do d). O radnim karakteristikama ovog distantnog releja bit će više govora u poglavlju 5.3. ovog rada.

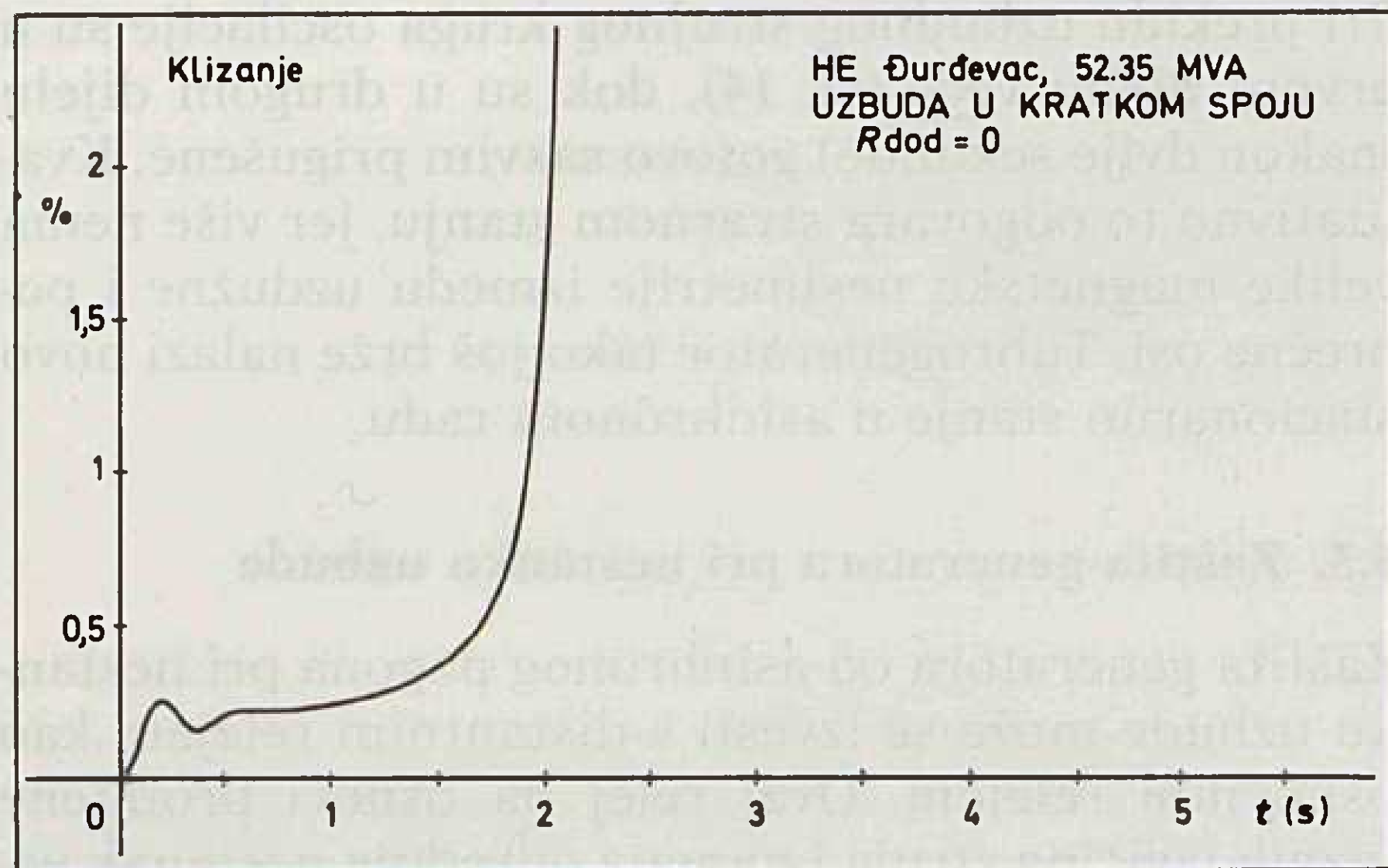
Uz kratko spojeni uzbuđni strujni krug (u  $t=0$  bez dodatnog otpora ( $R_{dod}=0$ )) električni protumoment (sl. 7) blago oscilira u trajanju od otprilike jedne sekunde, s vremenskim periodom 0,37 sekundi, te dolazi do smirivanja protumomenta u sljedećoj sekundi. U toku te dvije sekunde vrijednost protumomenta niža je od nazivnog stacionarnog električnog protumomenta, a nakon toga dolazi do naglog pada i znatnijih oscilacija.



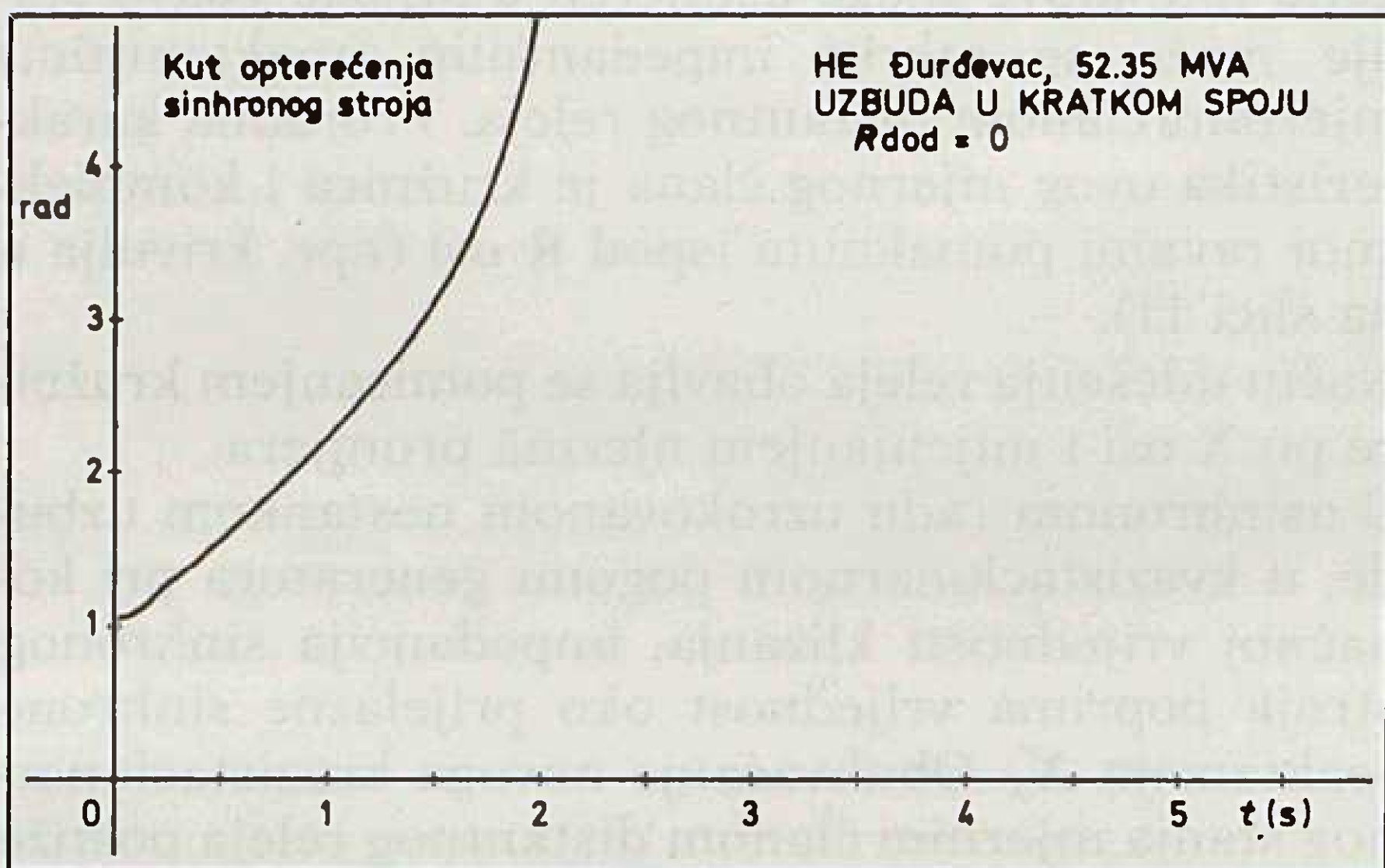
Slika 7. Promjena električnog protumomenta sinhronog stroja pri pojavi kratkog spoja u uzbuđenom krugu

Može se uočiti da momentna karakteristika ima dva dijela. Prvi dio krivulje je s blagim oscilacijama protumomenta oko nešto niže vrijednosti od nazivnog stacionarnoga električnog protumomenta, dok su za drugi dio karakteristične vrlo velike oscilacije protumomenta. Prvi dio odgovara prijelaznoj pojavi kada generator gubi sinhronizacionu snagu i prelazi u asinhroni rad, dok drugi dio odgovara ekstremnim pulzacijama električnog protumomenta uzrokovanih magnetskom nesimetrijom između uzdužne i poprečne osi generatora, te dugotrajnim njihanjem stroja (sl. 8), kada oscilacije teže izjednačavanju s momentom pogonskog stroja.

Klizanje (sl. 8) prati električni protumoment. Uz početne oscilacije klizanje kontinuirano raste zbog utjecaja pogonskog stroja, čiji momenti, gledajući protumomentnu karakteristiku, prevladava. Kut opterećenja (sl. 9) linearno se povećava u toku prve 1,5 sekunde, te nakon toga počinje naglo rasti. Taj nagli



Slika 8. Klizanje rotora sinhronog stroja pri kratkom spoju u uzбудnom krugu

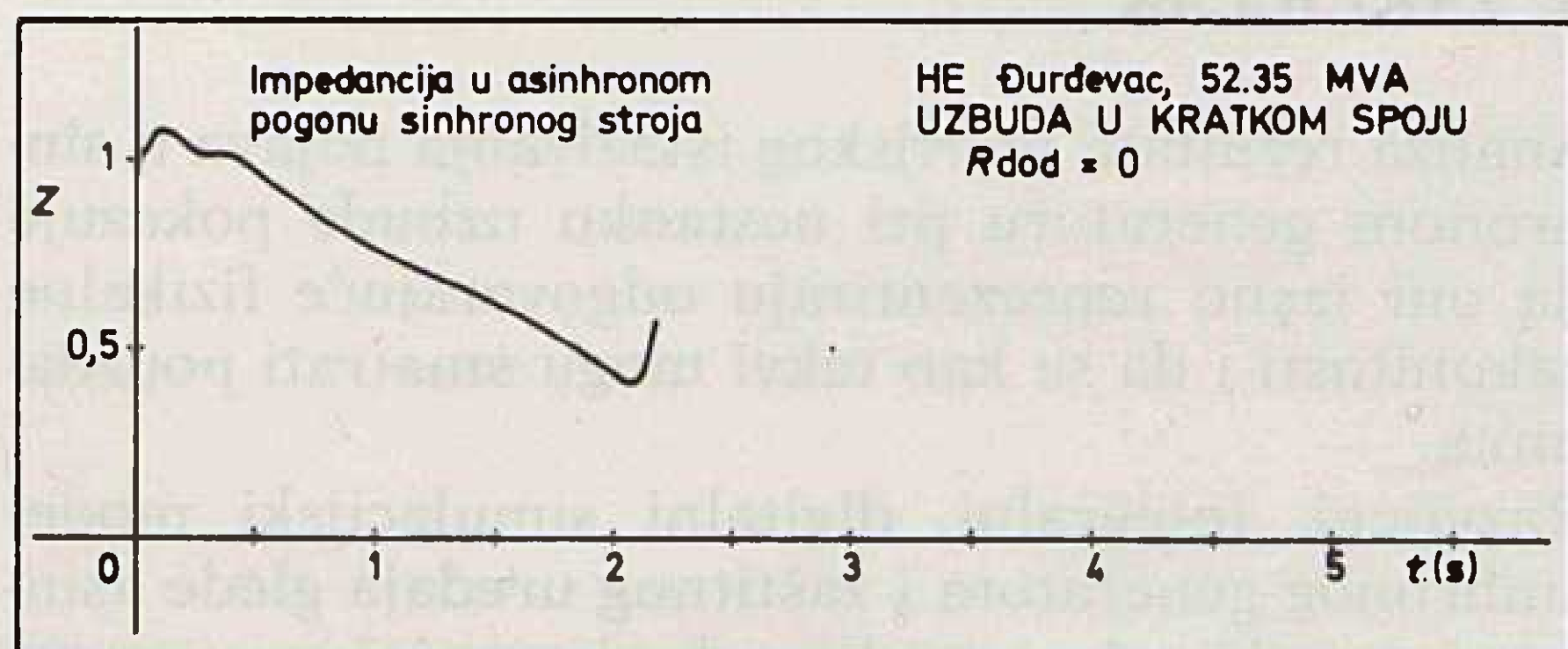


Slika 9. Promjena kuta opterećenja pri kratkom spoju u uzбудnom krugu

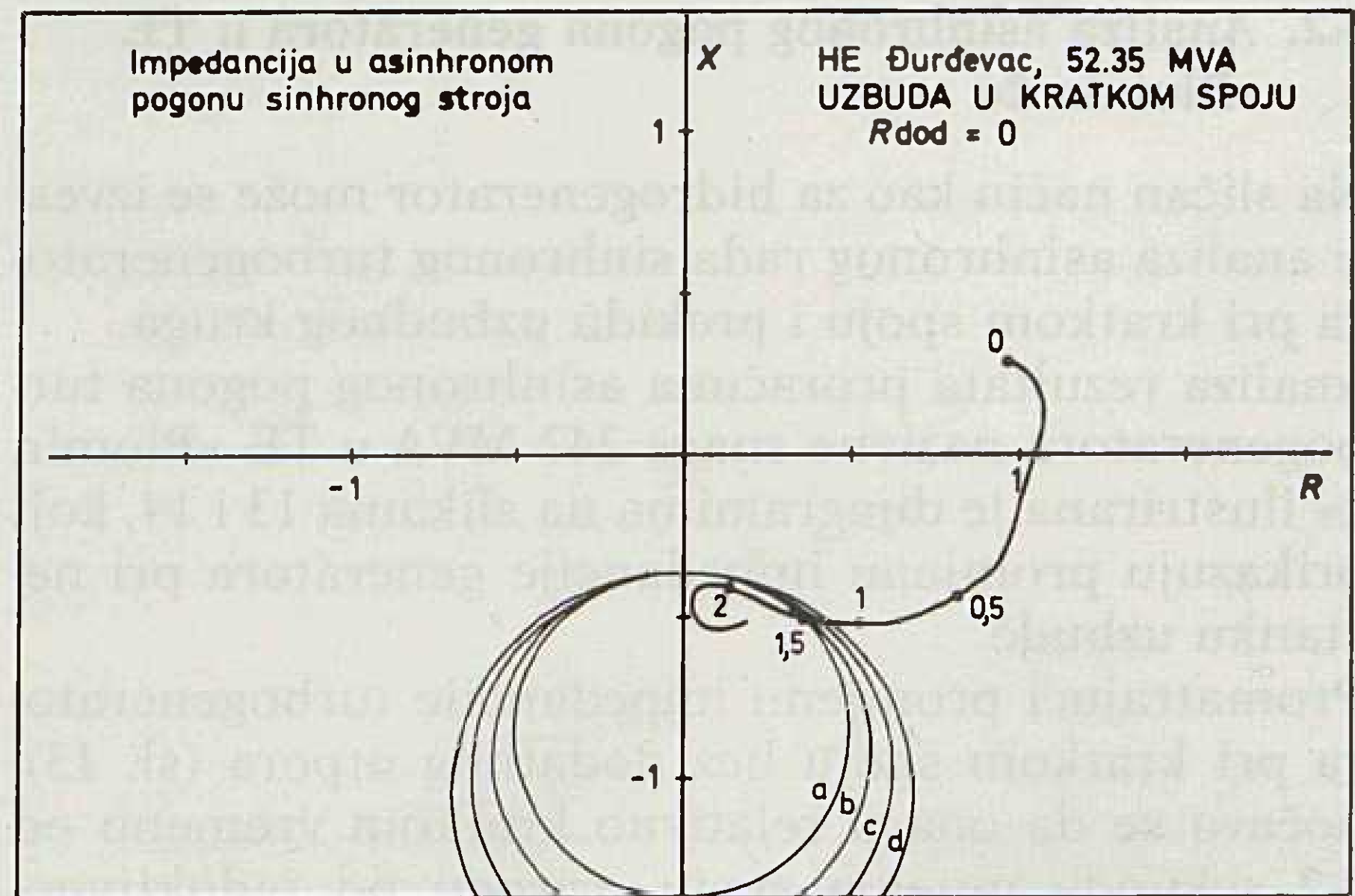
rast karakterizira potpuni asinhroni rad sinhronoga generatora.

Promatrajući impedanciju hidrogenatora (sl. 10 i 11), uočava se da ona u relativno kratkom vremenu od 0,2 sekunde mijenja svoju prirodu od induktivno/radne prema kapacitivno/radnoj. Nakon 2 sekunde pojavljuju se znatnije oscilacije impedancije, što se može pripisati dinamičnijim zbivanjima u generatoru i sve većem utjecaju viših harmoničkih članova u armaturnoj struji.

Dodavanjem otpora u kratko spojeni uzбудni strujni krug prvi dio opisane promjene momenta odvija se brže i za to vrijeme su veće oscilacije protumomenta. Oscilacije koje nastaju u drugom dijelu prijelazne pojave manje su izražene nego u prethodnom slučaju



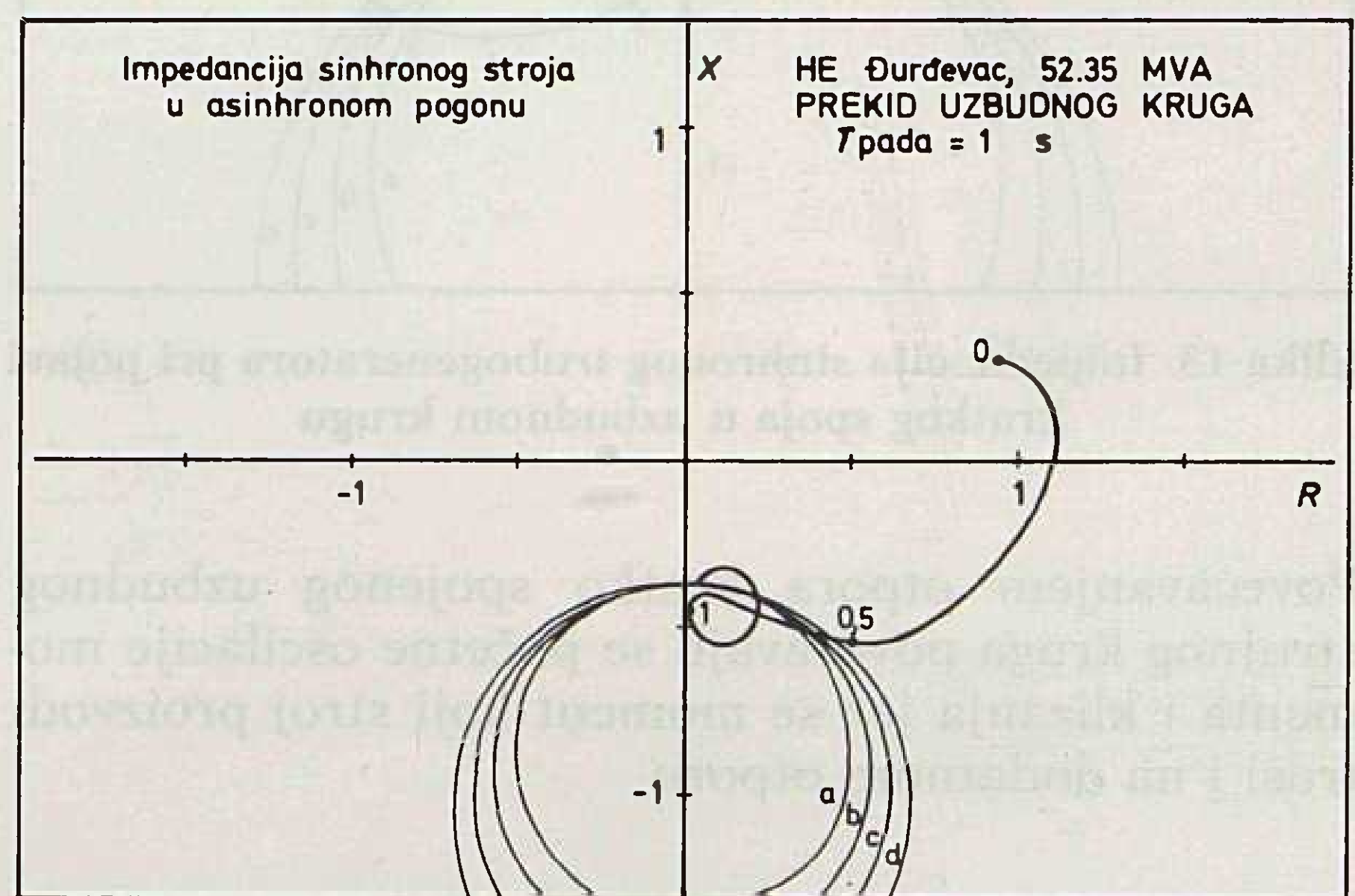
Slika 10. Impedancija sinhronog stroja pri kratkom spoju u uzбудnom krugu



Slika 11. Promjena impedancije pri kratkom spoju u uzбудnom krugu sinhronog generatora

sa  $R_{\text{dod}}=0$ . Iz navedenog slijedi da se, u asinhronom pogonu sinhronog generatora, dodavanjem otpora u kratko spojeni uzбудni strujni krug može smanjiti njihanje stroja, tj. njihanje snage između generatora i elektroenergetske mreže.

Uključivanjem otpora u uzбудni strujni krug generator za kraće vrijeme dolazi do asinhronog stacionarnog stanja, a srednja vrijednost asinhronog protumomenta veća je što je dodatni otpor u kratko spoje-  
nom uzбудnom strujnom krugu veći.



Slika 12. Impedancija sinhronog hidrogenatora pri prekidu uzбудnoga kruga

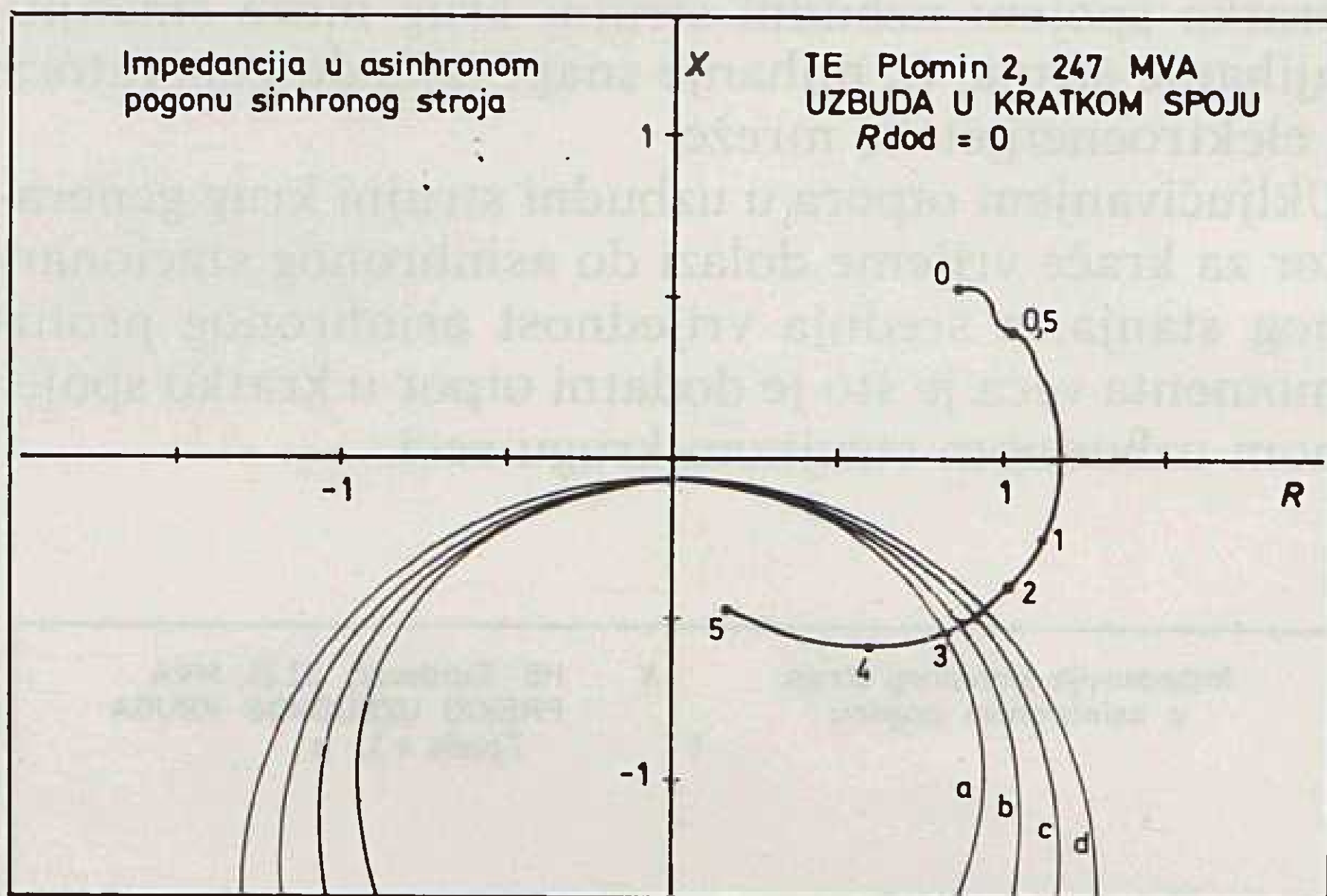
Za slučaj prekida uzбудnog strujnog kruga analizirano je ponašanje hidrogenatora s vremenskom konstantom pada uzбудnog toka ( $T_{\text{pada}}$ ) od jedne sekunde (sl. 12) do tri sekunde. U ovim slučajevima hidrogenator prelazi u asinhroni rad s manjim protumomentom, tj. većim klizanjem. Trajektorija radne točke generatora veoma je slična promjeni impedancije u slučaju kratko spojenog uzбудnog strujnog kruga s dodatnim otporom, dok u kapacitivnom području impedancija vrlo brzo (za približno jednu sekundu) poprima vrijednost oko prijelazne sinhronne reaktancije.

## 5.2. Analiza asinhronog pogona generatora u TE »Plomin 2«

Na sličan način kao za hidrogenerator može se izvesti analiza asinhronog rada sinhronog turbogeneratora pri kratkom spoju i prekidu uzbuđnog kruga.

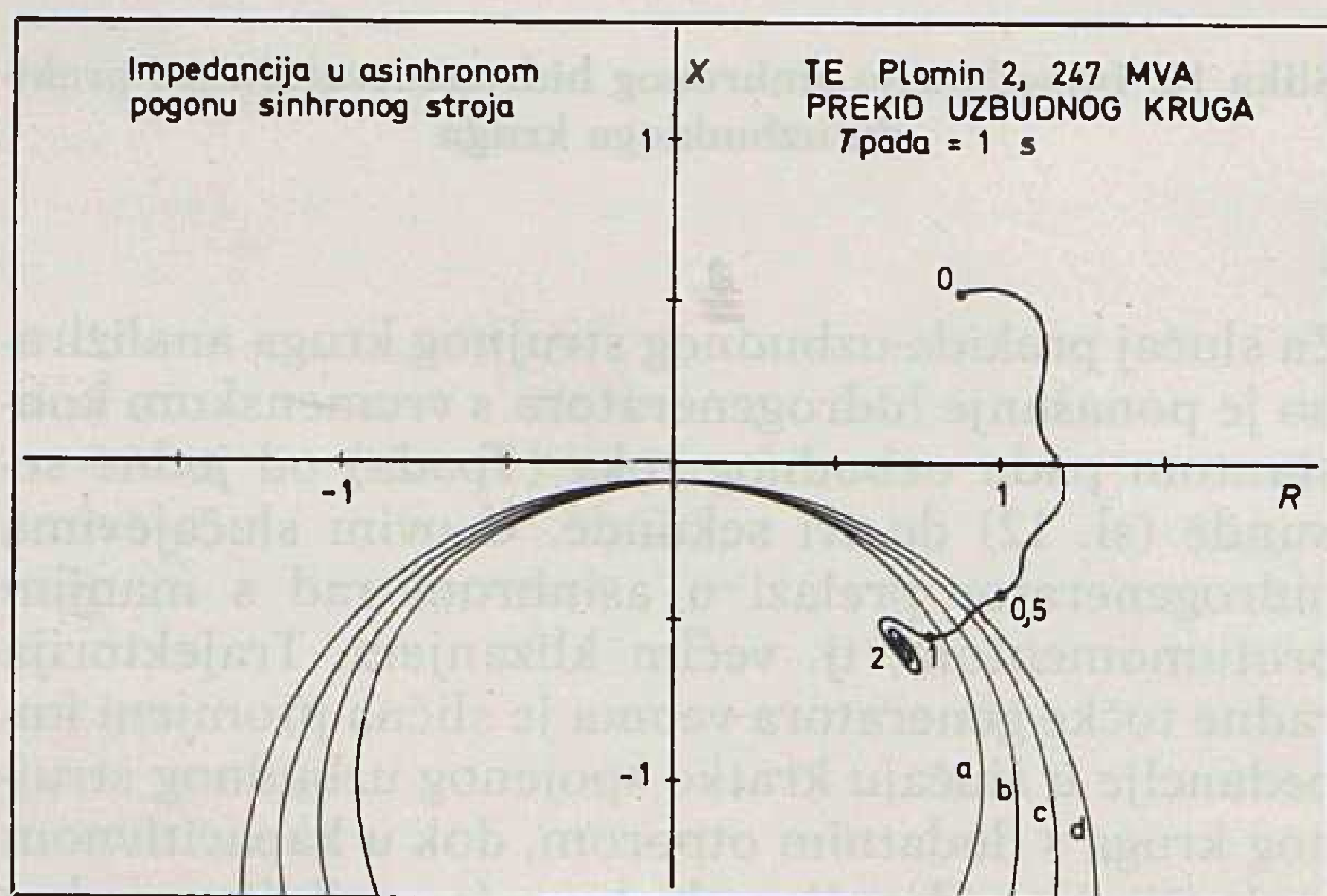
Analiza rezultata proračuna asinhronog pogona turbogeneratora nazivne snage 247 MVA u TE »Plomin 2« ilustrirana je dijagramima na slikama 13 i 14, koji prikazuju promjenu impedancije generatora pri nestanku uzbuđe.

Promatrajući promjenu impedancije turbogeneratora pri kratkom spoju bez dodatnog otpora (sl. 13), uočava se da ona u relativno kratkom vremenu od 0,2 sekunde mijenja svoju prirodu od induktivno/radne prema kapacitivno/radnoj, uz nešto izraženije oscilacije u odnosu na hidrogenerator. Nakon približno jedne sekunde pri manjem klizanju u odnosu na hidrogenerator, dolazi do postupnog smirivanja oscilacija jer se turbogenerator nalazi u novom stacionarnom (asinhronom) stanju.



Slika 13. Impedancija sinhronog trubogeneratora pri pojavi kratkog spoja u uzbuđnom krugu

Povećavanjem otpora kratko spojenog uzbuđnog strujnog kruga povećavaju se početne oscilacije momenta i klizanja jer se moment koji stroj proizvodi troši i na dodatnom otporu.



Slika 14. Impedancija sinhronog turbogeneratora pri prekidu uzbuđnoga kruga

Pri prekidu uzbuđnog strujnog kruga oscilacije su u prvom dijelu veće (sl. 14), dok su u drugom dijelu (nakon dvije sekunde) gotovo sasvim prigušene. Kvalitativno to odgovara stvarnom stanju, jer više nema velike magnetske nesimetrije između uzdužne i poprečne osi. Turbogenerator tako još brže nalazi novo stacionarno stanje u asinhronom radu.

## 5.3. Zaštita generatora pri nestanku uzbuđe

Zaštita generatora od asinhronog pogona pri nestanku uzbuđe može se izvesti s distantnim relejem kao osnovnim relejem. Ovaj relej na osnovi promjene faznih veličina struja i napona određuje nestanak uzbuđe generatora. Primarni pokazatelj nestanka uzbuđe sinhronog generatora je velik tok jalove induktivne snage iz mreže u stroj, jer je u normalnom pogonu tok jalove snage usmjeren u mrežu. Takvo stanje može se otkriti impedantnim (reaktantnim) mjernim članom distantnog releja. Proradna karakteristika ovog mjernog člana je kružnica i kompleksnoj ravnini pomaknuta ispod R osi (npr. krivulja a na slici 11).

Način udešenja releja obavlja se pomicanjem kružnice po X osi i mijenjanjem njezina promjera.

U asinhronom radu uzrokovanom nestankom uzbuđe, u kvazistacionarnom pogonu generatora pri konačnoj vrijednosti klizanja, impedancija sinhronog stroja poprima vrijednost oko prijelazne sinhronne reaktancije  $X'_d$ . Obuhvaćanje novoga kvazistacionarnog stanja mjernim članom distantnog releja postiže se pomicanjem karakteristike za vrijednost  $X'_d/2$  u smjeru  $-X$  osi, dok se za promjer proradne kružne karakteristike uzimaju vrijednosti od  $0,8$  do  $1,1 \cdot X'_d$ . Impedancija mijenja svoju prirodu od induktivno/radne prema kapacitivno/radnoj za  $0,1$  do  $0,75$  sekundi, što ovisi o sinhronom stroju i vrsti kvara. Nestanak uzbuđe generatora bit će otkriven za  $0,6$  do  $3$  sekunde, jer u tom vremenu vrijednost impedancije sinhronog stroja ulazi u kružnu radnu karakteristiku distantnog releja.

Najniže udešenje distantnog releja, koje odgovara promjeru proradne kružne karakteristike prije nastanka kvara, iznosi  $0,8 \cdot X'_d$ . Da bi se obuhvatili i slučajevi nestanka uzbuđe bez ispadanja iz koraka, ali uz sniženje napona, u sustav zaštite od asinhronog pogona ugrađuje se podnaponski relej koj nakon  $2$  do  $5$  sekundi djeluje na povećanje promjera proradne karakteristike distantnog releja na  $1,1 \cdot X'_d$ .

## 6. ZAKLJUČAK

Analiza rezultata teorijskog istraživanja pojava u sinhronom generatoru pri nestanku uzbuđe pokazuje da oni jasno reprezentiraju odgovarajuće fizikalne zakonitosti i da se kao takvi mogu smatrati pouzdanim.

Razvijeni, integralni, digitalni simulacijski model sinhronog generatora i zaštitnog uređaja glede asinhronog rada pri nestanku uzbuđe uspješno se može koristiti u praktične svrhe za detaljnu analizu potrebne zaštite i njeno selektivno podešavanje.



## LITERATURA

- [1] ČULIG Z.: »Istraživanje izvanrednih pogonskih stanja i smetnji sinhronih generatora«, III dio: Asinhrona stanja, Elektrotehnika, Zagreb, broj 6, 1975.
- [2] ČULIG Z.: »Istraživanje izvanrednih pogonskih stanja i smetnji sinhronih generatora«, I dio: Matematički model, Elektrotehnika, Zagreb, broj 4 1975.
- [3] FRANČIĆ B., KAJARI M., ŠANTEK V.: »Analiza dinamike reguliranog sinhronog generatora pomoću digitalnog računala«, Informacije »Rade Končar«, Zagreb, broj 47–48, 1969.
- [4] TEŠNJAK S.: »Teorijska i eksperimentalna analiza dinamike hidroelektrane«, doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet, Zagreb, 1984.
- [5] KOGLIN H. J., LOBOS T.: »Distanzschutz mit mikrorechnern«, etz Archiv, H. 6, 1981., 169–177
- [6] MARUŠIĆ A.: »Analiza algoritama digitalne distantne zaštite visokonaponskih vodova«, magistarski rad, Elektrotehnički fakultet, Zagreb, 1986.
- [7] PHADKE A. G., THORP J. S.: »Computer Relaying for Power Systems«, Research Studies Press Ltd., Taunton, 1988.

**THE DIGITAL SIMULATION MODEL FOR SYNCHRONOUS GENERATOR PROTECTION FROM ASYNCHRONOUS OPERATION IN CASE OF LOSS OF EXCITATION**

In the article is described a development of digital simulation model of synchronous generator and its protection from asynchronous operation in case of loss of excitation. It is analysed a generator transient of reliable operation of protection system.

**DIGITALES SOMULATIONSMODELL DER SCHUTZMASSNAHME EINES SYNCHRONEN GENERATORS VOR ASYNCHRONER ARBEIT IM FALLE EINES ALARMAUSFALLES**

In der Arbeit wird durch die Entwicklung des digitalen Simulationsmodells eines synchronen Generators und der Schutzmaßnahmen vor asynchroner Arbeit bei Alarmausfall, eine theoretische Analyse der Erscheinungen im Generator während eines asynchronen Arbeitsverlaufs durchgeführt. Man bestimmt auch das Gebiet einer zuverlässigen Wirkung dieser analysierten Schutzmaßnahme.

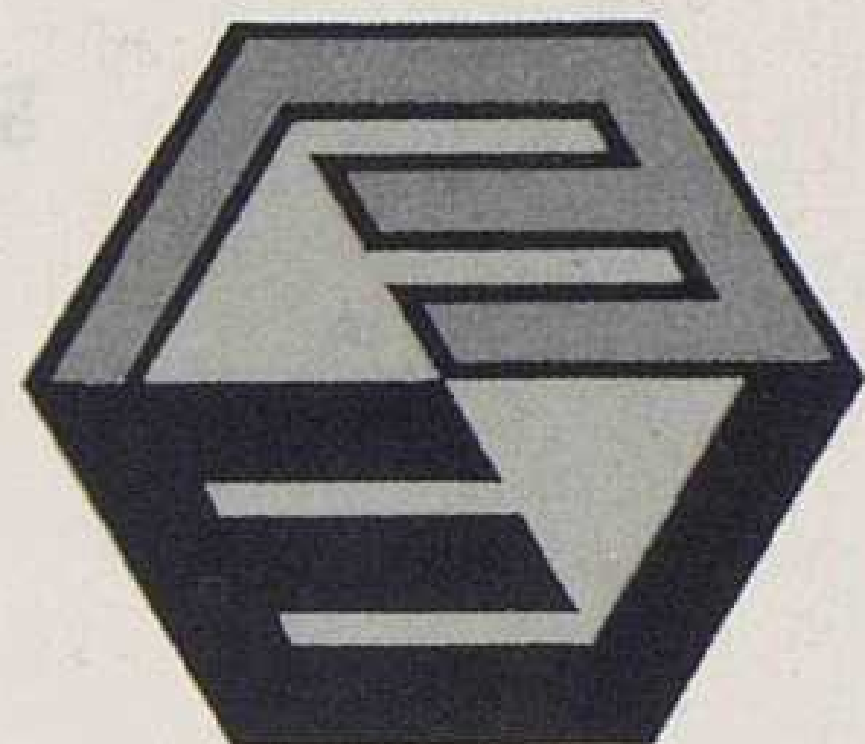
**ЦИФРОВАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЗАЩИТЫ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ОТ АСИНХРОННОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИ ИСЧЕЗНОВЕНИИ АВАРИЙНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ**

В работе при обсуждении цифровой вычислительной модели синхронного генератора и защиты от асинхронного функционирования при исчезновении аварийной сигнализации производится теоретический анализ явлений в генераторе во время продолжающегося асинхронного функционирования, а также определяется область надежного действия анализированной защиты.

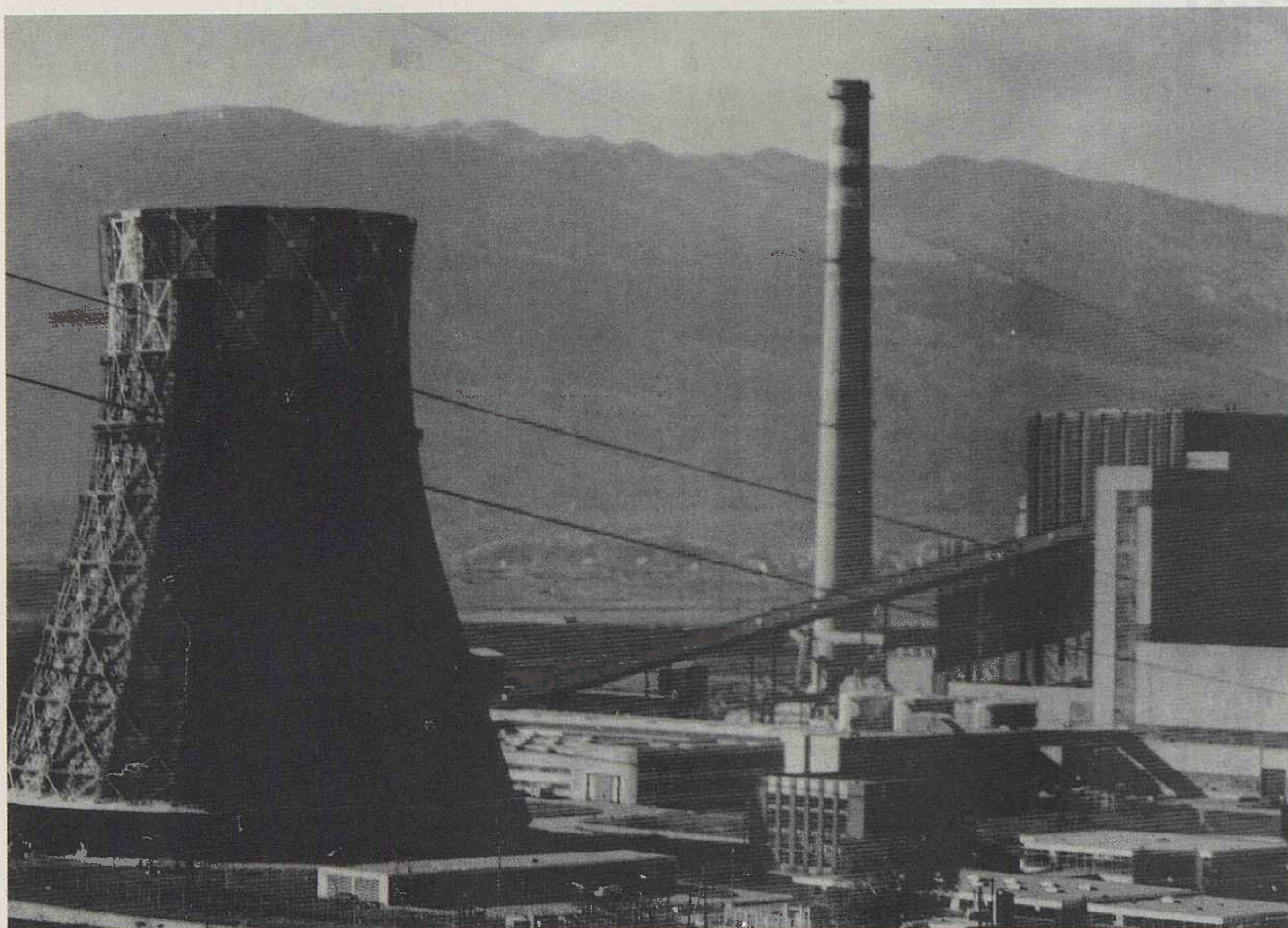
Naslov pisaca:

**Doc. dr. Sejid Tešnjak, dipl. inž.  
Mr. Ante Marušić, dipl. inž.  
Elektrotehnički fakultet  
41000 Zagreb, Unska 3,  
Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1990–01–16



# MONTING ENERGETIKA ZAGREB



**PODUZEĆE ZA IZGRADNJU,  
PROIZVODNJU OPREME I  
MONTAŽU ENERGETSKIH I  
INDUSTRIJSKIH OBJEKATA**

**41000 ZAGREB  
Kesterčankova 1**

Telefoni:  
Centrala 041/217-700  
Generalni direktor 235-644  
Komercijalni sektor 235-270  
Tehnički sektor 233-880  
Financijski sektor 234-007  
Kadrovski sektor 233-878  
Telex 21473 yu mont  
Telefax 235-560

TE »GACKO« – Gacko: Kompletna montaža bloka 1 instalirane snage  $1 \times 300$  mW, 1982. godine.  
Rekonstrukcija kotla kapaciteta 990 t/h pare i kapitalni remont turbogenerators 300 MW, 1989. godine.

# PROBLEM GENERATORA PARE U PWR-SISTEMIMA

Vladimir Vuković, Zagreb

UDK 621.039:621.18

PREGLEDNI RAD

Na temelju svjetske literature prikazuje se razvoj generatora pare u nuklearnim elektranama tipa PWR, kao i problem u njihovoj eksploataciji. Također se ukratko prikazuju korektivne akcije vezane za korištenje generatora pare radi produžetka vijeka trajanja.

**Cljučne riječi:** generatori pare, PWR, eksploatacija, održavanje, korektivne akcije.

## 1. UVOD

Dosadašnji razvoj nuklearne energetike u praktičnoj je primjeni donio primat lakovodnim reaktorima. U vrijeme pripreme izgradnje NE Krško na tržištu se vodila borba uglavnom između sistema BWR i PWR, dok je Kanada, također s kvalitetnim sistemom (teškovođni), krenula svojim vlastitim putem. Njezini teškovođni reaktori u principu koriste se neobogaćenim gorivom, s kontinuiranom zamjenom, ali i skupim (teškovođnim) moderatorom. Proizvođači BWR sistema iznose kao glavnu svoju prednost prema PWR sistemima da ne koriste skupe, velike i osjetljive generatore pare, dok proizvođači PWR-sistema naglašavaju svoju prednost u indirektnom ciklusu, a BWR-u predbacuju potrebu ugradnje sistema za tretiranje plinova iz sekundarnog ciklusa te »izolacije« turbine.

Bez obzira na prednosti i nedostatke pojedinih sistema, činjenica je da PWR ima dominantnu ulogu u nuklearnoj energetici danas. Osim prednosti (i nedostataka) koje ima ovaj sistem i javnost je općenito više naklonjena indirektnom ciklusu. Ali i pri projektiranju ovih sistema javlja se dosta problema. Jedan od njih je i površina za transport energije s primarne strane na sekundarnu (generatori pare). Zbog niskih parametara radnog medija (da se postigne niža temperatura nuklearnog goriva) mora se nekako izbalansirati veličina komponenata i specifično opterećenje s razumnom kontrolom održavanja procesa proizvodnje energije. Proizvođači postrojenja rado to nazivaju optimalnim dimenzioniranjem. Radi se zapravo o kompromisu cijene i kvalitete.

Kada je već riječ o PWR-sistemu, treba upozoriti da se i Velika Britanija odlučila za tlačnovodne sisteme kao sljedeću fazu u gradnji nuklearnih elektrana, čak nakon trideset godina iskustva sa svojim tradicionalnim, plinom hlađenim reaktorima (Sizewell B, sa Westinghousovim reaktorskim sistemom snage 3425 MWt, treba se završiti 1993). Na ovaj su se korak, kažu, odlučili zbog ispitane tehnologije, jednostavnosti,

pouzdanosti, sigurnosti i cijene. No ni PWR-sistem nije savršen. Jedan od ozbiljnijih problema u mnogim elektranama su generatori pare. Ti problemi rezultirali su u činjenici da mnogi neće trajati projektirani vijek od 40 godina.

Pregled i analiza ove problematike tema je ovog rada.

## 2. KRATKI HISTORIJAT RAZVOJA I SADAŠNJE STANJE

Kao što se može vidjeti iz tablice 1 (statistika IAEA), od 26 zemalja koje posjeduju nuklearne energetske reaktore, njih 11 više od trećine električne energije proizvode u nuklearnim elektranama. Svih 429 reaktora u radu 1988. godine, proizvelo je 1 794,4 TWh električne energije, za usporedbu s ukupnom svjetskom proizvodnjom od 1 803 TWh u 1957. godini (vrijednosti sa zvjezdicom u tablici su procjene IAEA).

Budući da tlačnovodni i teškovođni nuklearni sistemi za proizvodnju pare uglavnom predstavljaju pretežni ili isključivi način proizvodnje pare (izuzetak je Meksiko, koji gradi dvije BWR jedinice sa američkim General Electricom, odnosno Velika Britanija, koja je doskora gradila uglavnom plinske reaktore), fenomen generatora pare u nuklearnoj energetici ima najšire značenje.

Generatori pare kao nuklearne komponente počinju se razvijati prije 40 godina. Westinghouse, kao jedan od pionira nuklearne energetike, još je davne 1950. godine isprojektirao i proizveo prve generatore pare približne površine 200 do 1 200 m<sup>2</sup> sa oko 1 600 cijevi i 90 tona težine. Sadašnji najnoviji modeli (Model F) sa 5 160 m<sup>2</sup> površine, sa više od 5 600 cijevi teže i preko 350 tona. Na slici 1, prikazano je 19 od 25 različitih modela, koje je Westinghouse proizvodio u ovom dugom periodu. Za ilustraciju, na tablici 2. dano je stanje generatora pare do 31. 12. 1982, nakon što su prikupljena veća pogonska iskustva i ugrađene velike jedinice koje i danas predstavljaju normalne veliči-

Tablica 1, Nuklearni reaktori u eksploataciji i gradnji, potkraj 1988. (prema IAEA)

Naziv države	U eksploataciji		U izgradnji		Proizvodnja energije u NE tokom 1988. g.		Ukupno radno iskustvo krajem 1988.	
	Broj jedi.	Ukupno MWe	Broj jedi.	Ukupno MWe	TWh	Postotak od ukupne	Godina	Mjeseci
Argentina	2	935	1	692	5.1	11.2	20	7
Belgija	7	5 480			40.6	65.5	86	7
Brazil	1	626	1	1 245	0.6	0.3	6	9
Bugarska	5	2 585	2	1 906	16.0	35.6	43	8
Kanada	18	12 185	4	3 524	78.2	16.0	206	0
Kina			3	2 148				
Kuba			2	816				
Čehoslovačka	8	3 264	8	5 120	21.7	26.7	44	1
Finska	4	2 310			18.4	36.0	39	4
Francuska	55	52 588	9	12 245	260.2	69.9	488	1
Njemačka DR	5	1 694	6	3 432	10.4*	9.5*	72	5
SR Njemačka	23	21 491	2	1 520	137.8	32.0	279	3
Mađarska	4	1 645			12.8	48.9	14	2
Indija	6	1 154	8	1 760	5.4	3.0	72	8
Iran			2	2 392				
Italija	2	1 120					77	10
Japan	38	28 253	12	10 931	167.8*	23.4	394	0
R. Koreja	8	6 270	1	900	38.0	46.9	36	4
Meksiko			2	1 308				
Nizozemska	2	508			3.5	5.3	35	9
Pakistan	1	125			0.2	0.6	17	3
Poljska			2	880				
Rumunjska			5	3 300				
J. Afrika	2	1 842			10.5	7.3	8	3
Španjolska	10	7 519			48.3	36.1	82	7
Švedska	12	9 693			66.3	46.9	135	2
Švicarska	5	2 952			21.5	37.4	68	10
Tajvan	6	4 924			29.3*	41.0*	44	1
V. Britanija	40	11 921	2	1 833	55.5	29.3	810	10
SAD	108	95 273	7	7 689	526.9	19.5	1261	10
SSSR	56	33 823	26	21 230	215.7	12.6	687	2
Jugoslavija	1	632			3.9	5.2	7	3
Sveukupno	429	310 812	105	84 871	1794.4		5040	9

ne. Tablica sugerira i dio problematike vezane za projektiranje PWR postrojenja (izbor materijala i postupaka sekundarnih sistema).

Početak šezdesetih godina (start KWO, Obrigheim 1969) Njemačka, a poslije i Japan te Francuska, koriste Westinghouseova iskustva u gradnji generatora pare. U najnovije vrijeme sličan princip transfera tehnologije koristi i Kina, kako bi nakon stečenih iskustava na prvim jedinicama počela graditi vlastite generatore pare.

U Americi se uz Westinhouse kao proizvođači javljaju i Combustion Engineering te Babcock & Wilcox, a u Kanadi kanadski Babcock & Wilcox gradi generatore pare za teškovodne reaktore. Koristeći iskustva prethodnika, noviji proizvođači primjenjuju i nove ideje, poboljšava se dizajn, tehnologija izrade i materijala. Danas generatore pare uglavnom proizvode i/ili projektiraju:

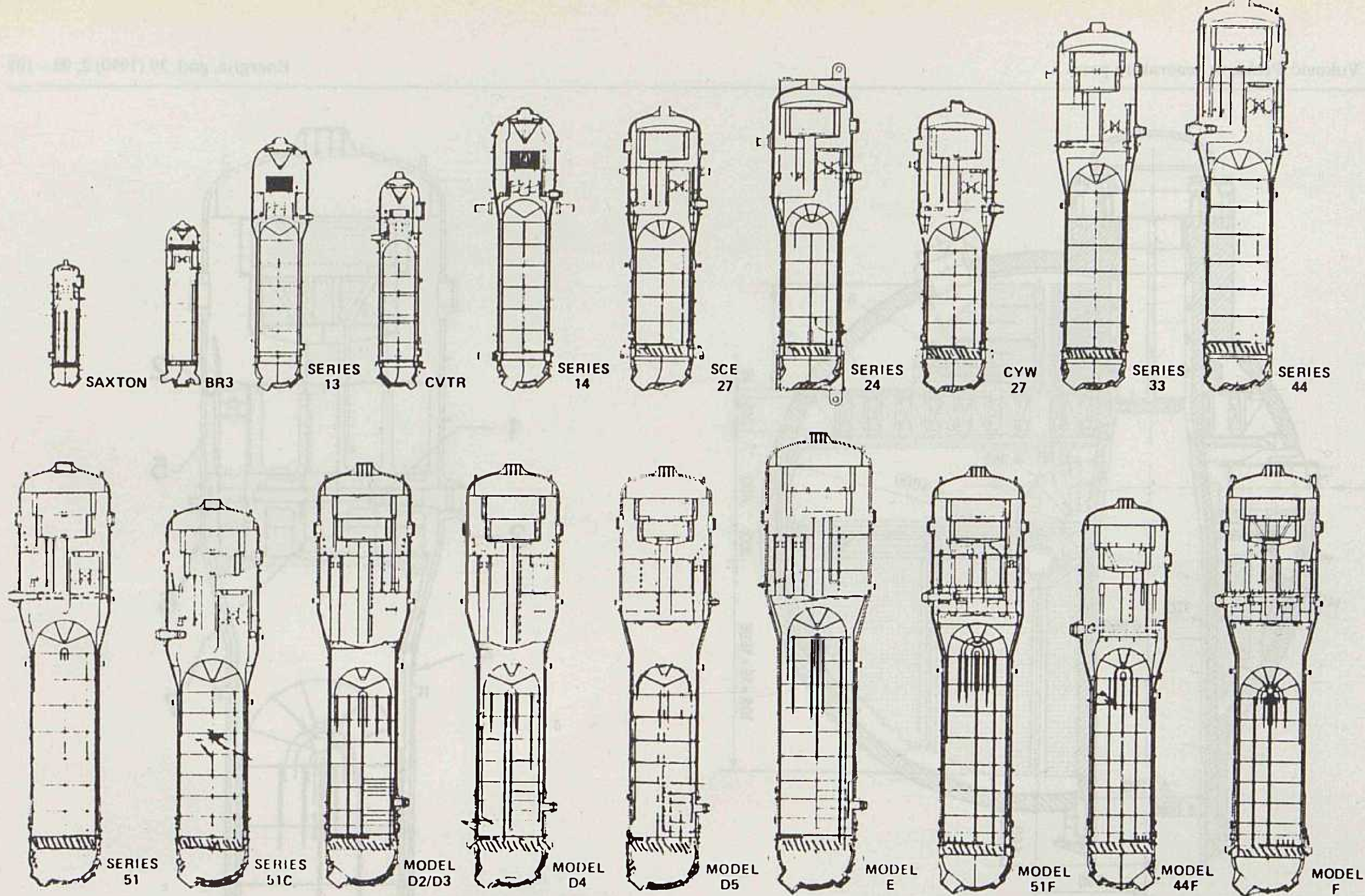
- Westinghouse, SAD
- Framatome, Francuska
- KWU i dr., SR Njemačka
- Mitsubishi heavy Industries i dr., Japan
- Babcock and Wilcox,
- Babcock and Wilcox, Kanada
- Combustion Engineering, i dr.

Sve su to izmjenjivači topline s obrnuto okrenutim »U« cijevima, osim jednoprolaznih ravnih cijevi kod generatora pare B&W, USA.

Sovjetski projekti pretežu više na klasičnu kotlogradnju, pa za svoje tlačnovodne reaktore grade generatore pare u obliku horizontalnih bubnjeva u koje su također horizontalno položene U cijevi i zavarene u vertikalne komore (slika 2). Jedna komora je vezana na hladni, a druga na vrući kraj optočnog kruga reaktora. Veličina generatora pare prilagođena je i željezničkom transportu.

Sekundarna kemija je u prvo vrijeme bazirala na korekciji vodnog režima s fosfatima, da bi kasnije to izvršilo na hlapljivim (beztaložnim) tvarima kao što su amonijak, hidrazin ili drugi kompleksioni.

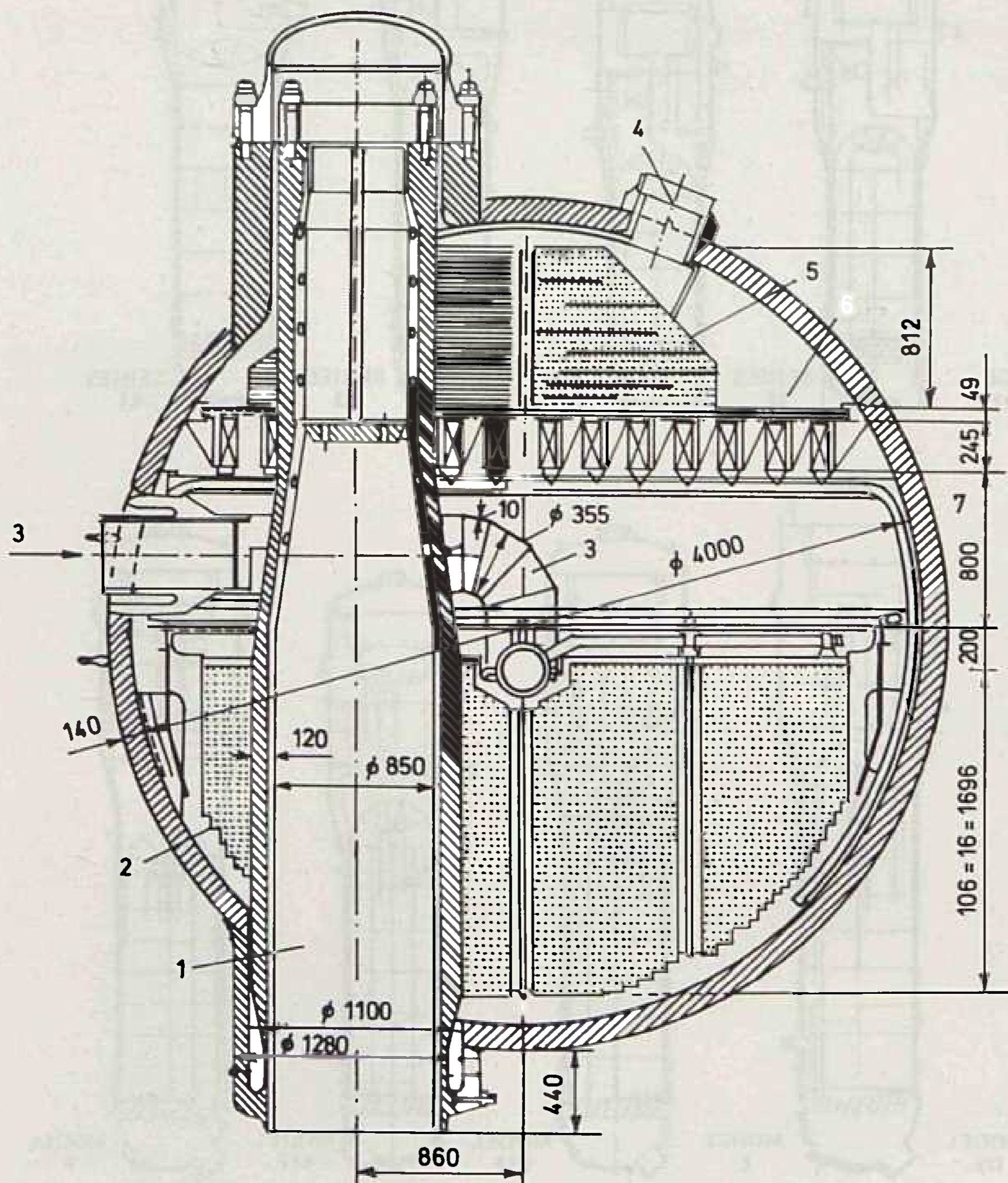
Nakon višegodišnjeg iskustva i oscilacija u razvoju generatora pare, Westinghouse predstavlja kao rješenje svoj generator pare, Model F. Prva elektrana sa ovim modelom je bila Kori 2 (punu snagu dostigla u srpnju 1983). U ovom se modelu proizvodi suha para na 285°C, s potrebnim ohlađivanjem primarne vode od 325°C. Ulaz napojne vode izveden je s gornje strane generatora pare preko napojnog prstena i J-mlaznica. Voda tada odlazi prema dolje u međuprostor između omotača cijevi i vanjskog plašta, da bi iznad cijevne ploče promijenila smjer i ušla u cijevni snop.



Slika 1. Različiti modeli generatora pare proizvođača Westinghousea

Tablica 2. Stanje generatora pare Westinghouse do 31. 12. 1982.

Ime Rx jedinice	Neto snage MWe	Početak komerc. proizvod.	Broj generatora pare	Broj cijevi po SG	Materijal cijevi kond.	Rashladna voda	Sek. kemija	Broj oštećenih cijevi	EFPD
1. ALMARAZ-1	930	81/12	3	4674	—	Riječna	AVT	—	201
2. BEAV. VALLEY-1	852	77/04	3	3388	SS	Riječna	AVT	1	746
3. VEZNAU-1	350	69/09	2	2604	70/30CuZn	Riječna	AVT	1117	3620
4. BEZNAU-2	350	71/12	2	2604	70/39CuZn	Riječna	AVT	331	3448
5. COOK-1	1054	75/08	4	3388	ASCU	Riječna	AVT	40	1853
6. COOK-2	1065	78/06	4	3388	ASCU	Riječna	AVT	51	1138
7. FARLEY-1	829	77/12	3	3388	Titan	Riječna	AVT	287	1071
8. FARLEY-2	829	81/07	3	3388	Titan	Riječna	AVT	286	424
9. GINNA	490	70/09	2	3260	Admiralty	Riječna	AVT/CD	253	3189
10. HADDAM NECK	575	68/01	4	3794	Admiralty	Riječna	AVT	68	4203
11. INDIAN POINT 2	538	77/09	4	3260	Admiralty	Slana	BOR	119	1591
12. INDIAN POINT 3	566	82/03	4	3260	Admiralty	Slana	BOR	1333	1124
13. ZORITA	153	69/08	1	2604	Admiralty	Riječna	PO4	7	3705
14. KEWAUNEE	540	74/06	2	3388	Admiralty	Riječna	AVT	0	2394
15. KORI-1	597	78/04	2	3388	AL Bron.	Morska	AVT/CD	0	1114
16. KRŠKO-1	625	83/01	2	4674	90/10 CuNi	Riječna	AVT/CD	—	177
17. MC GUIRE-1	1160	81/12	4	4674	SS-304	Riječna	AVT/CD	1	171
18. N.ANNA-1	943	78/06	3	3388	SS-304	Riječna	BOR.	284	959
19. N.ANNA-2	907	80/12	3	3388	SS-304	Riječna	BOR.	0	503
20. OHI-1	1120	79/03	4	3388	Al.Bron.	Morska	AVT/CD	826	726
21. P.BEACH-1	497	70/12	2	3260	Admiralty	Riječna	AVT	904	3091
22. P.BEACH-2	497	72/10	2	3260	Admiralty	Riječna	AVT	118	3006
23. PR.ISLAND-1	520	73/12	2	3388	SS	Riječna	AVT	34	2352
24. PR.ISLAND-2	520	74/12	2	3388	SS	Riječna	AVT	90	2245
25. RINGHALS-2	822	75/04	3	3388	Titan	Morska	AVT	348	1696
26. RINGHALS-3	915	81/04	3	4674	Titan	Morska	AVT	55	193
27. ROBINSON-2	700	71/03	3	3260	SS-439	Riječna	PO4	976	2747
28. SALEM-1	1090	77/06	4	3388	AL6X	Riječna	AVT/CD	86	1017
29. SALEM-2	1115	81/10	4	3388	AL6X	Riječna	AVT/CD	0	408
30. SAN ONOFRE-1	430	68/01	3	3794	Titan	Morska	PO4	979	3372
31. SEQUOYAH-1	1148	81/07	4	4785	90-10CuNi	Riječna	AVT	0	376
32. SWQUOYAH-2	1200	82/06	4	4785	90-10CuNi	Riječna	AVT	0	193
33. SURRY-1	788	81/07	3	4784	Titan	Slana	AVT/CD	0	420
34. SURRY-2	788	80/08	3	4784	Titan	Slana	AVT/CD	0	462
35. TAKAHAMA-1	780	74/11	3	4785	Al.Bronz.	Morska	AVT	463	1396
36. TROJAN	1130	76/05	4	3388	Admiralty	Slana	AVT/CD	376	1194
37. TURKEY P.2	693	72/12	3	3260	Titan	Morska	AVT	1196	1987
38. TURKEY P.3	693	82/04	3	3260	Titan	Morska	AVT/CD	0	227
39. TURKEY P.4	693	73/09	3	3260	Titan	Morska	AVT	2352	2235
40. YANKEE ROWE	175	61/07	4	1620	Admiralty	Riječna	AVT	107	5471
41. ZION-1	1050	73/12	4	3260	SS	Riječna	AVT	378	1984
42. ZION-2	1050	74/09	4	3260	SS	Riječna	AVT	13	1783

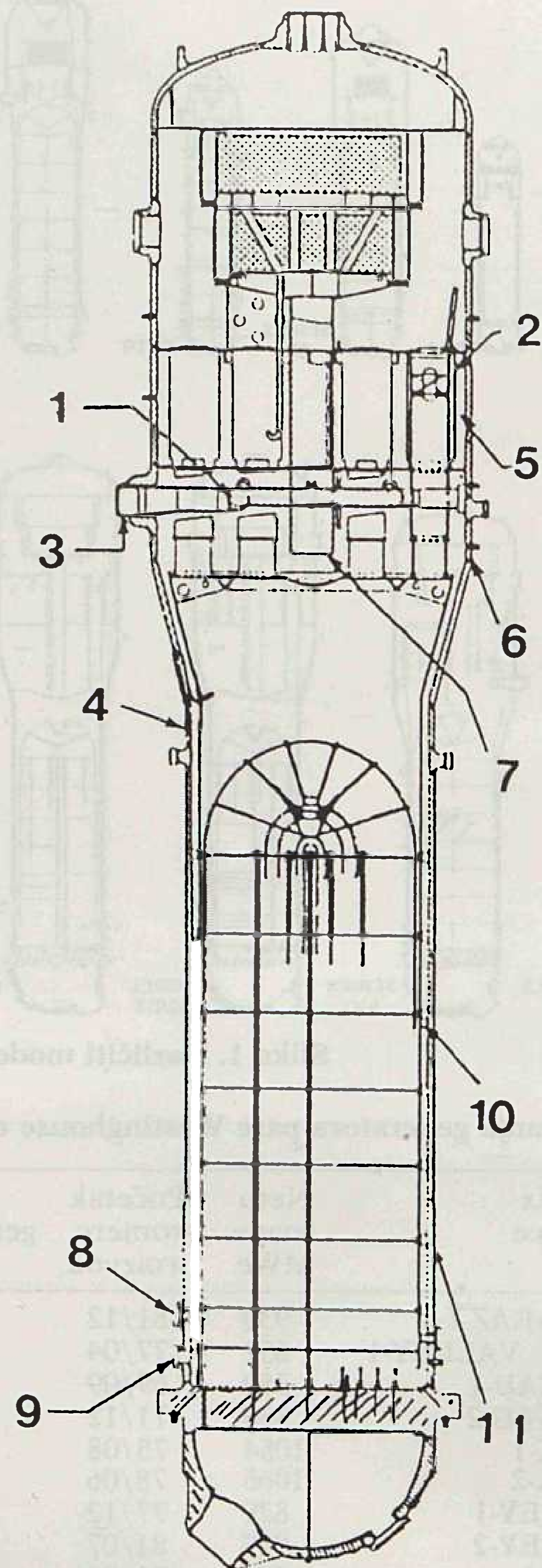


**Slika 2. Horizontalni generator pare sovjetske proizvodnje**

1 — kolektor primarne vode, 2 — ogrjevi U-cijevi, 3 — ulaz napojne vode, 4 — izlaz pregrijane pare, 5 — cijevi pregrijača, 6 — separatori, 7 — odvod vode iz separatora

Toplinskom obradom cijevi (u vakuumu na  $760^{\circ}\text{C}$ , za 15 sati) ove postaju bitno otpornije na pucanje zbog napetostne korozije, za razliku od prije ugrađivanih otvrdnutih cijevi u procesu valjanja. Model F generatora pare Westinghouse je testirao na 10 MW eksperimentalnom uređaju (Tampa, Florida), a dio programa realiziran je ugradnjom instrumentacije u elektrani Wolf Creek u Kansasu (slika 3). Jedan od 4 generatora pare još je u tvornici posebno opremljen i prilagođen za mjerenje recirkulacijskog omjera, termodinamičkih stanja na donjem omotaču, performansi separatora, nivoa vode i vibracija napojnih putova. Treba napomenuti da je Westinghouse ovaj model generatora pare predložio i za prvu britansku PWR elektranu, s time da je preporučio materijal za cijevi Inconel 690 (Referentna elektrana Callaway 2, SNUPPS — Standardized Nuclear Unit Power Plant System).

Za ilustraciju stanja u projektiranju generatora pare u Njemačkoj možda je najzgodnije dati kratku informaciju o generatorima pare koje je ove godine KWU ugradio u švedskoj elektrani Ringhals 2 kao zamjenu za Westinghouseove generatore pare. Kod materijala cijevi KWU je umjesto svog standardnog materijala cijevi Incoloy 800 upotrijebio Inconel 690 TT (thermally treated) na zahtjev švedskih regulatornih organa, koji su željeli veću sigurnost u slučaju iznenađenog udara klorida na sekundarnoj strani. Slika 4. i 5. pokazuju KWU generator pare i rješenje ulaza napojne i sigurnosne vode. Može se očekivati da će Westinghouse, Framatome i KWU doći do konačnog



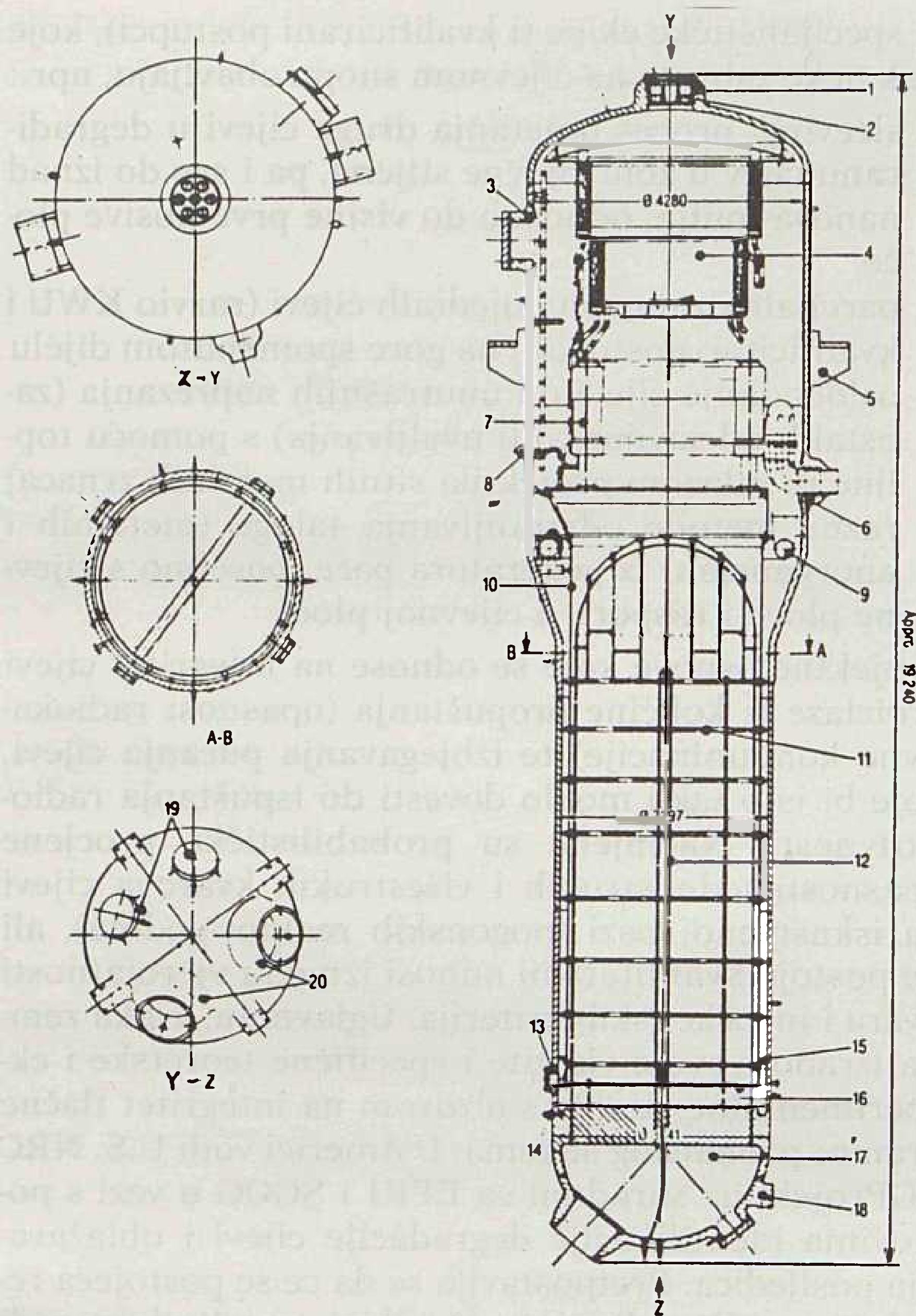
**Slika 3. Instrumentirani generator pare u NE Wolf Creek**

1 — dva transmitera tlaka u napojnom prstenu, 2 — sedam senzora tlaka na primarnim separatorima, 3 — dva senzora tlaka u napojnom cjevovodu, 4 — prsten od 12 termosenzora, 5 — dvanaest grijanih termosenzora za mjerenje razine vode, 6 — dvanaest vanjskih termosenzora, 7 — tri sonde za mjerenje protoka iz sušača, 8 — sonda sa pet termosenzora, 9 — četiri sonde sa po pet termosenzora iznad cijevne ploče, 10 — prsten od po šest sondi za mjerenje brzine i temperature vode (recirkulacije), 11 — prsten od 12 vanjskih termosenzora

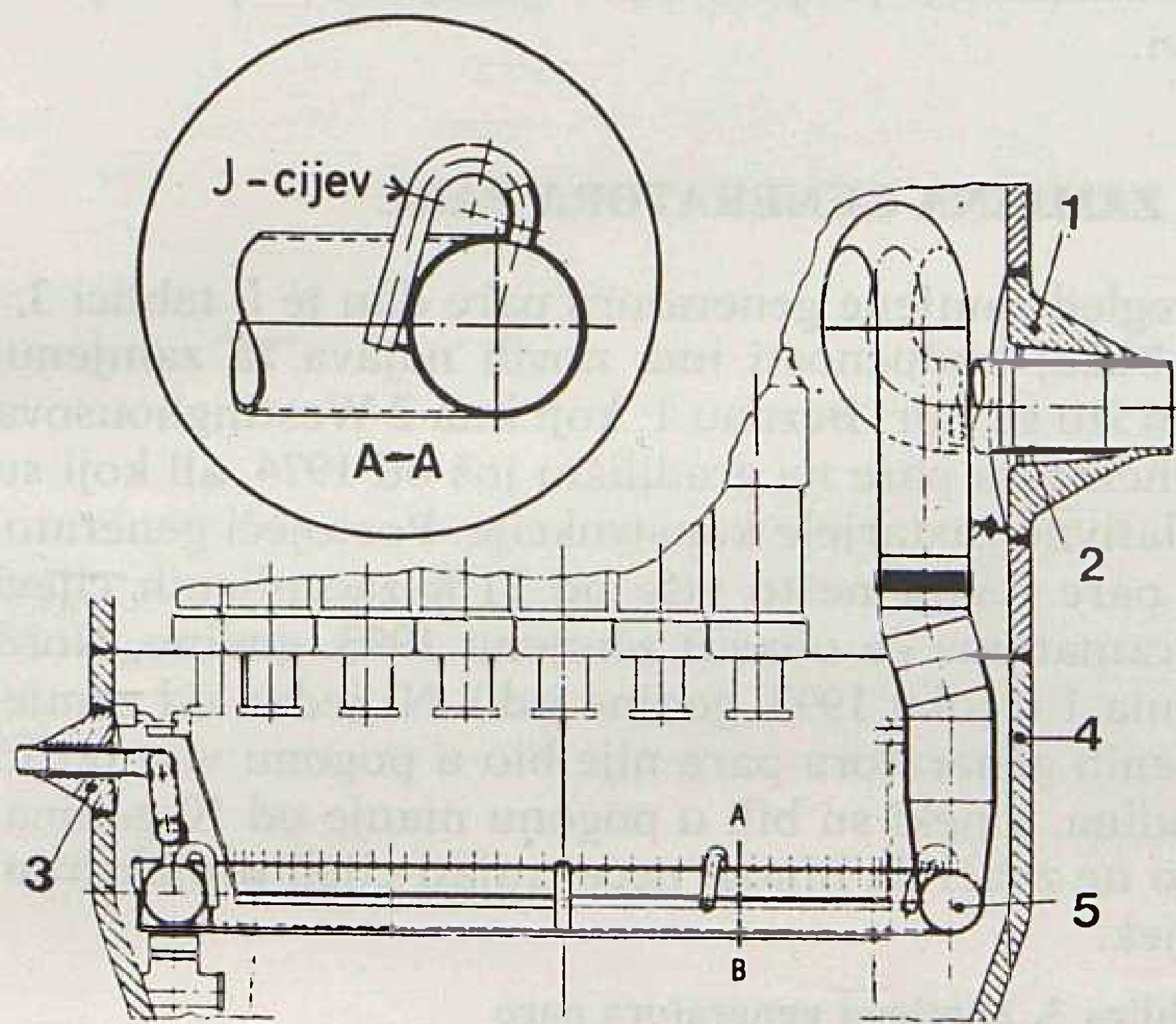
rješenja modela generatora pare s obzirom na to da imaju organiziranu suradnju »učitelji« i »učenici« na području PWR-tehnologije.

### 3. ISKUSTVA U EKSPLOATACIJI I ODRŽAVANJU GENERATORA PARE

Degradacija cijevi generatora pare rezultira iz posljedica mehaničkog projektiranja, izbora materijala, tehnologije izrade, projektiranja sekundarnih sistema i načina eksploatacije. Najveća pojedinačna degradacija cijevi jest njezino puknuće, jer je to, pored ostaloga, potencijalna radiološka opasnost. Inače se pucanje cijevi može definirati kao curenje primarnog



Slika 4. Generator pare KWU ugrađen u Ringhals 2



Slika 5. Rješenje ulaza napojne vode u generator pare

1 – priključak napojnog cjevovoda, 2 – toplinska čahura, 3 – priključak pomoćne napojne vode, 4 – plašt generatora pare, 5 – napojni prsten sa J-cijevima

medija u sekundarni u količini koja prelazi normalni kapacitet uređaja za punjenje (charging) sistema reaktorskog hladila. Vjerojatnost ovoga događaja (frekvencija pucanje cijevi kao inicijalnog događaja) procijenjena je na  $1,5 \times 10^{-2}/RY$ , a vjerojatnost taljenja jezgre zbog ovog događaja iznosi

$5,3 \times 10^{-6}/RY$  za B&W generatore pare  
 $3,9 \times 10^{-6}/RY$  za West. i CE generatore pare, gdje RY znači reaktor godinu.

Primjer pucanja cijevi generatora pare:

Point Beach 1, veljača 1975.

Surry 2, rujan 1976.

Prairie Island 1, listopad 1979.

Doel 2, 1979.

R. E. Ginna, siječanj 1982.

North Anna, srpanj 1987.

Kewanee, veljača 1987.

North Anna, veljača 1989. (izbio čep)

Duke-McGuire-1, ožujak 1989.

Da bi se izbjegla češća iznenadenja, mnogi regulatorni organi propisali su preventivne mjere u održavanju generatora pare, a i vlasnici elektrana pridaju punu pažnju kontroli stanja cijevi i vođenju »povijesti bolesti«. S druge strane, razvija se čitava »znanost« ili znanost o krpanju generatora pare, odnosno produženju vijeka trajanja. Pritome su NE u neku ruku pokusni laboratoriji s modelima u pravoj veličini.

Praksa u pojedinim zemljama razlikuje se zbog različitih iskustava, ali i različite konstrukcije, upotrijebljenog materijala, uvjeta eksploatacije i općih tehničkih performansi. I dok recimo Finci bez problema vrše svake 4 godine uglavnom samo vizuelni pregled varova u komorama »U« cijevi, na Švedskoj jedinici Ringhals 2 (u eksploataciji od 1975, s Westinghousovim generatorima pare), njemačka firma KWU je zamijenila sva tri generatora pare već ove godine (1989).

U održavanju generatora pare najznačajnije su aktivnosti:

- inspekcija cijevi i ostalih dijelova
- čepljenje cijevi
- popravak cijevi i/ili unutrašnjih površina i
- korekcije osnovnog projekta radi poboljšanja integriteta cijevi.

Čepljenje cijevi na prvi pogled čini se jednostavnim problemom, jer se na kraju krajeva lako može reći da su svi defekti ili greške na cijevima tolerantne, dok je vjerojatnost očuvanja integriteta cijevi, do iduće inspekcije, dovoljno visoka da neće doći do loma i/ili nedopustivog propuštanja primarne vode u sekundarnu stranu. Međutim, čim se pristupi analizi problema, postaje jasno da ni problem nije moguće jednoznačno postaviti. Već sama specifičnost defekta bazira na mnoštvu elemenata, kao recimo:

- uzrok
- lokacija
- pouzdanost određivanja tipa degradacije
- brzina porasta degradacije
- oblik degradacije
- potencijalne posljedice određenog defekta
- opće stanje i zahtjevi za nuklearno postrojenje itd.

S druge strane, mnogi se elementi ne mogu egzaktno odrediti i suviše ovise o kvaliteti procjene. Opći je trend smanjivanja konzervativizma tamo gdje su pouzdaniji postupci inspekcije (određivanja degradaci-

je). **Osnovna metoda testiranja je ispitivanje vrtložnim strujama, dok su druge metode (uglavnom) dodatne.**

Iako izgleda da su najeksplicitniji i najstroži kriteriji za čepljenje u Americi, ipak se zapaža da je ta strogost za rupičastu i intergranularnu koroziju blaža ako se radi o zazoru u cijevnoj ploči.

U Belgiji i Francuskoj dopušta se pogon i kod greške kroz cijelu stijenu cijevi u prelaznoj zoni, ali se to ograničava dužinom pukotine. Općenito se primjenjuje konzervativniji kriterij, gdje do pucanja cijevi može doći zbog historijske degradacije, začete još u procesu gradnje (proizvodnje), kao recimo u U-zavojima unutrašnjeg reda cijevi, i to ne samo zbog nepouzdanije karakterizacije defekta već i zbog evidentnosti brzine rasta pukotina poradi napetosne korozije, koja može biti dosta visoka. Naravno da tu vlasnik postupa strože od regulative (npr. 40 %-tne degradacije). Ponegdje se preventivno čepi čitav prvi red cijevi, bez obzira na snimljeno stanje, jer tek sada proizvođač »otrkiva tajnu« lošeg postupka pri savijanju cijevi.

Njemački regulatorni organi nedaju eksplicitne kriterije čepjenja, ali se degradacije (naročito nove) temeljito diskutiraju s vlastima. Pri odlučivanju čepjenja u obzir se uzima brzina degradacije između dvije inspekcije, kao i pouzdanost metode ispitivanja. Česte su provjere izvlačenjem cijevi iz generatora pare i zatim metalurškim ispitivanjem degradirane cijevi.

Općenito se ne može utvrditi da tehnika vrtložnih struja sama po sebi daje tip defekta. Utvrđivanje tipa defekta uz vađenje (izvlačenje) cijevi bazira se i na lokaciji defekta te na ostaloj pogonskoj praksi. Novije tehnike vrtložnih struja sa specijalnim sondama (npr. rotirajuća **točkasta** sonda) znatno su usavršile inspekciju pukotina u cijevnoj ploči u području zazora i u prijelaznoj zoni uvaljivanja. Osim ove tehnike, razvija se profilometrija (određivanje geometrije deformirane cijevi) i slijedna kalkulacija maksimalnih naprezanja. Te metode ne navode se u propisima, a inače tehnika vrtložnih struja podložna je greškama uzročnim nečistoćama, velikim volumenom gubitka materijala i tipom defekta. Općenito postoji mišljenje da se tehnikom vrtložnih struja može odrediti gubitak stijene cijevi između 10 i 20 % sa preciznošću između  $\pm 5$  i  $\pm 10$  %, dok karakterizacija pukotina povlači puno poteškoća i nepouzdanosti.

U pogledu opsega ispitivanja praksa je dosta različita. U Japanu se cijevi generatora pare ispituju 100 % svakih 12 mjeseci (po punoj dužini), dok u Švicarskoj, Americi i Kanadi, to je samo manji procent cijevi, ali se koriste dopunski programi, ako je degradacija identificirana. U Francuskoj i Njemačkoj se planovi inspekcija utvrđuju zajednički s regulatornim vlastima individualno za svako postrojenje i na bazi povijesti eksploatacije.

Popravci cijevi uglavnom se ne sastoje u klasičnim zamjenama pojedinih cijevi ili dijelova na bilo kome mjestu, odnosno navarivanju. Međutim, nužda je naterala i proizvođače i korisnike da se pokuša sve ne bi li se produžio život generatora pare. Organizirane

su specijalističke ekipe (i kvalificirani postupci), koje ipak neke zahvate na cijevnom snopu obavljaju, npr.:

- sleeving, proces umetanja druge cijevi u degradiranu cijev u zoni cijevne stijene, pa i sve do iznad nanosa mulja, odnosno do visine prve nosive ploče
- parcijalna zamjena pojedinih cijevi (razvio KWU i kvalificirao postupak) na gore spomenutom dijelu
- oslobađanje cijevi od unutrašnjih naprezanja (zaostalih od savijanja ili uvaljivanja) s pomoću topline ili mlazom projektila sitnih metalnih zrnaca;
- razne metode odstranjivanja taloga (metalnih i anorganskih) iz generatora pare, posebno s cijevne ploče i raspora u cijevnoj ploči.

Projektne osnove koje se odnose na integritet cijevi proizlaze iz količine propuštanja (opasnost radioaktivne kontaminacije) te izbjegavanja pucanja cijevi, koje bi isto tako moglo dovesti do ispuštanja radioaktivnosti. Načinjene su probabilističke procjene opasnosti jednostrukih i višestrukkih kvarova cijevi na iskustvenoj bazi (pogonskih reaktor-godina), ali ne postoje kvantitativni odnosi između vjerojatnosti kvara i inspeksijskih kriterija. Uglavnom, svaka zemlja izrađuje svoje vlastite i specifične teoretske i eksperimentalne studije s obzirom na integritet tlačne granice primarnog sistema. U Americi vodi U.S. NRC SGProjekt uz suradnju sa EPRI i SGOG u vezi s poslovima identifikacije degradacije cijevi i ublažavanja posljedica. Pretpostavlja se da će se postojeća regulativa prilagoditi istraživačkim rezultatima radi formuliranja minimalnih inspeksijskih zahtjeva i okvalifikacije cijevnih materijala te dobivanja baze za minimiziranje propuštanja i vjerojatnosti pucanja cijevi.

#### 4. ZAMJENA GENERATORA PARE

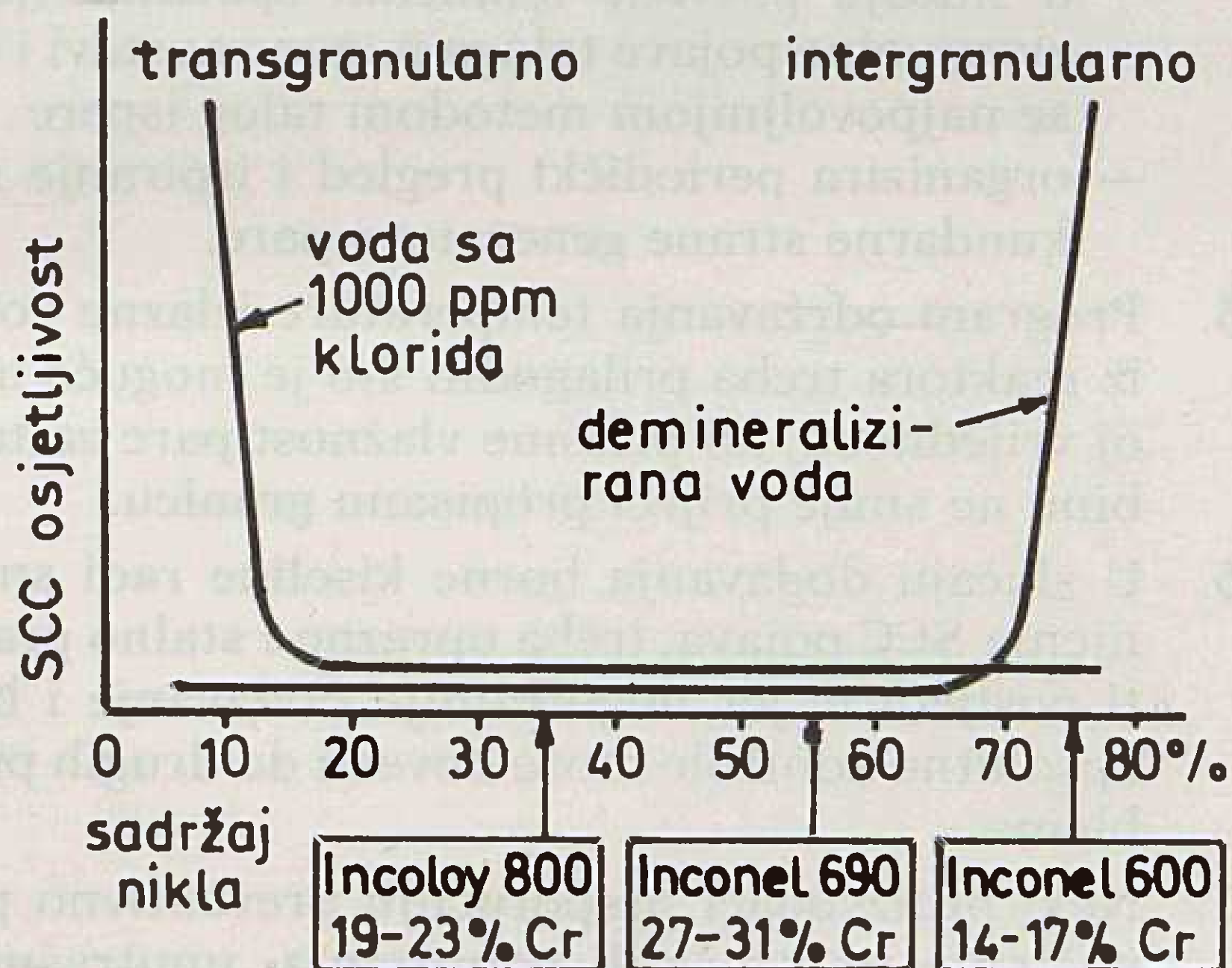
Pregled zamjene generatora pare dan je u tablici 3. U bližoj budućnosti ima novih najava za zamjenu, kao što su npr. Beznau 1, koji ima 2 Westinghousova generatora pare na gradilištu još od 1974, ali koji su relativno zastarjele konstrukcije. Postojeći generatori pare imaju nešto više od 21 % začepljenih cijevi (Framatome će obaviti zamjenu 1993. godine, Nord Anna 1 u toku 1995. godine itd.). Ni jedan od zamjenjenih generatora pare nije bio u pogonu više od 15 godina, a neki su bili u pogonu manje od 10 godina, što ne znači da mnogi neće trajati cijeli projektirani vijek.

Tablica 3. Zamjena generatora pare

Postrojenje	Broj	Stari model	Novi model	Završeno
Surry 1	3	W51	51F	1981
Surry 2	3	W51	51F	1980
Turkey Pt 3	3	W44	44F	1982
Turkey Pt 4	3	W44	44F	1983
Point Beach 1	2	W44	44F	1984
Robinson 2	3	W44	44F	1984
Cook 2	4	W44	51F	1987
Indian Pt 3	4	W44	44F	1989
Obrigeim	2	KWU	KWU	1983
Ringhals 2	3	W-51C	KWU	1989

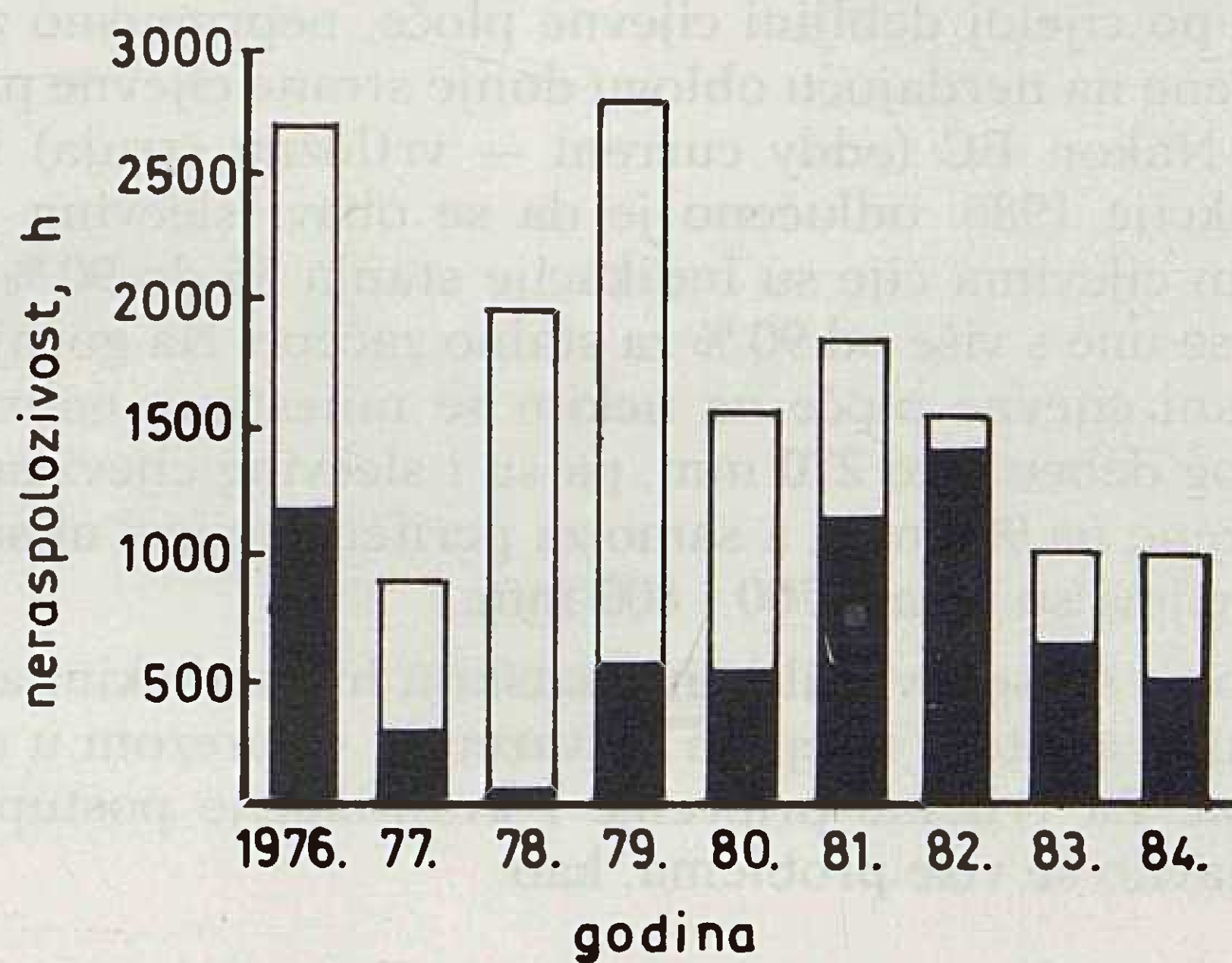


Cijena je jednog generatora pare veća od 10 milijuna USA dolara, a s kompletnom uslugom i dvostruko više. Radi ilustracije, u Švedskoj je još u prosincu 1984. godine odlučeno da se zamijene generatori pare tokom zastoja 1989, što je i učinjeno u programiranom roku od 72 dana. Zamjenu je izvršio KWU, a posao je ugovoren 3 godine prije izvršene zamjene. Prema informacijama za tisak Siemens A.G. u Offenbachu travnja 1989, 300-tonske generatore pare izradio je za Siemens MAN Gutehoffnungshütte, a same cijevi (90 km po jedinici) izrađene su u Švedskoj. Ukupna je vrijednost narudžbe sa zamjenom oko 130 milijuna DEM, a na projektu je sudjelovalo (planiranje, izrada i sigurnosne analize) i do 600 ljudi. Inače je Ringhals 2 jedinica bila opremljena sa 3 Westinghousova generatora pare s izvaljanim cijevima od Inconel 600. Nosive ploče su bile od ugljičnog čelika. Cijevi su bile djelomično ekspanzirane u cijevnoj ploči mehaničkim tvrdim uvaljivanjem. Između cijevi i cijevne ploče ostao je raspor od 0,2 do 0,3 mm na dužini otprilike 0,5 m. U četiri mjeseca početnog pogona u sekundarnoj kemiji primijenjeni su fosfati (kasnije hlapljivi dodaci). U početnom pogonu došlo je nekoliko puta do prodora rashladne vode u sekundarni sistem zbog curenja kondenzatora. Nakon dvije godine primijećena je pojava »dentinga«. U toku 4 godine zamijenjene su kondenzatorske cijevi zavarenim titanskim cijevima. Također su zamijenjeni cijevni sistemi u regenerativnom grijanju kondenzata (bakar s nerđajućim čelikom). »Denting« je tada smanjen. Praćenjem napetosnih korozijskih pukotina u zoni U-zavoja, ustanovljeno je 1979. godine da je začepljen cijeli prvi red cijevi (start elektrane 1975), odnosno imobilizirano je 2,8 % cijevi. Tokom 1981. pojavilo se više curenja u zoni cijevne ploče (pa i nekoliko prinudnih obustava). Učestala čepjenja cijevi smanjuju raspoloživost elektrane, pa je odlučeno da se traži trajno rješenje problema. Od 1981. do 1984. izvadene su 23 cijevi radi mehaničkih i metalurških analiza, koje su pokazale da je glavni uzrok oštećenja nastajanje pukotina koje rezultiraju iz korozije zbog naprezanja (stress corrosion cracking, SCC). Ta pojava dolazi zbog kemizma medija u rasporima cijevne stijene i osjetljivosti cijevnog materijala na takve uvjete. Na slici 6. prikazana je osjetljivost triju različ-

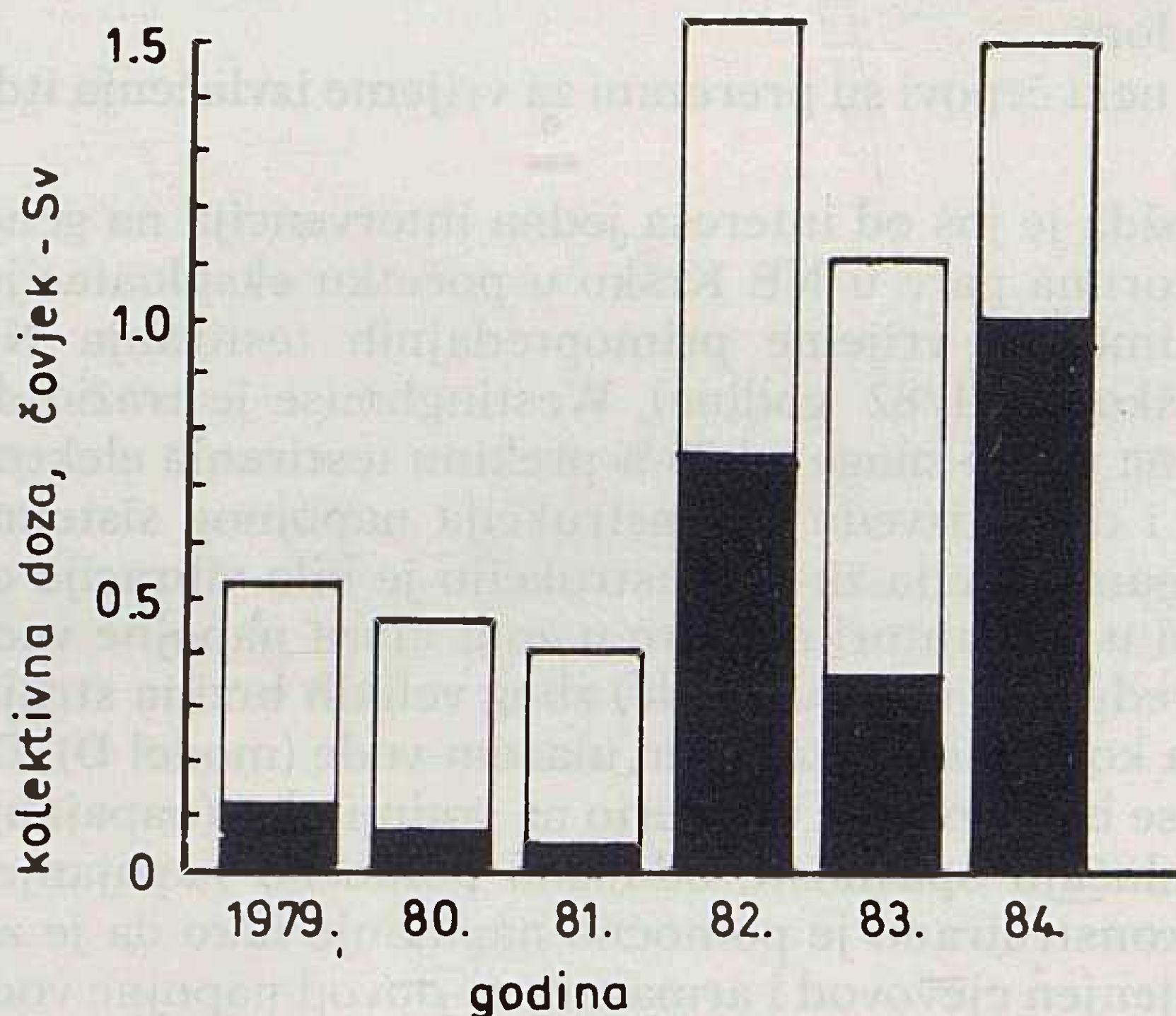


Slika 6. SCC osjetljivost u ovisnosti o sadržaju kroma i nikla

tih cijevnih materijala na pojavu pukotina zbog napetosne korozije, i to transgranularnih i intergranularnih, prema pokusima na 350 °C (KWU). Pažljivom analizom stanja i događaja na Ringhals 2 do potkraj 1984. godine došlo se do jedinog povoljnog rješenja, da se generatori pare zamijene. U tu svrhu studirano je šest scenarija uz tri opcije cijena gorivnih ciklusa sa 4 % kamata. Od 6 mogućih strategija tri su se odnosile na korekcije bez zamjene, a preostale su analizirale zamjenu. K tome je studirana (uz zamjenu) i opcija da se poveća kapacitet generatora pare jer su ostale komponente to omogućavale. Sve su analize sugerirale zamjenu. Na slikama 7. i 8. prikazani su gubici raspoloživosti odnosno prirast kolektivnih doza zbog eksploatacije problematičnih generatora pare od 1979. do 1984. godine.



Slika 7. Stanje raspoloživosti u Ringhals 2 zbog generatora pare (crno) i ukupno, po godinama



Slika 8. Ukupna kolektivna doza (crno, zbog generatora pare)

Nasuprot odluke Ringhals 2 da zamijeni generatore pare, u Koreji je za energetske jedinice Kori 1 (u pogonu od 1978) odlučeno da se izvedu korektivni zahvati. Sa ABB Reactor su 1987. ugovoreni sljedeći radovi:

- vađenje 1483 čepa
- prerada 932 cijevna završetka
- instaliranje 558 cijevi u cijev (sleeving)
- ugradnja i zavarivanje 106 čepova
- vađenje 4 cijevi radi analize
- uzorkovanje taloga
- inspekcija 27 % cijevi po cijeloj dužini s pomoću vrtložnih struja
- EC inspekcija cijevi do prve nosive ploče (100 %)
- EC inspekcija instaliranih cijevi u cijevi (100 %)
- EC profilometrija cijevi u cijevi (100 %)
- 100 % vizuelna inspekcija cijevi u cijevi (sleeving)
- 11 % ultrazvučna inspekcija cijevi u cijevi.

Generatori pare Kori 1 su Westinghousovi modeli 51 sa po 3 388 cijevi Inconel 600, vanjskog promjera 22,23 mm i debljine stijenke 1,27 mm, uvaljane valjcima po cijeloj debljini cijevne ploče, nepropusno zavarene na nerđajuću oblogu donje strane cijevne ploče. Nakon EC (eddy current — vrtložna struja) inspekcije 1986. odlučeno je da se obavi sleeving na svim cijevima čije su indikacije stanja 35 do 90 %, a da se one s više od 90 % za stalno začepi. Na gornjoj strani cijevne ploče na nekim se mjestima nabrao talog debeo i do 270 mm, pa su i sleeving cijevi produžene na 900 mm, a samo za periferne cijevi ubačene cijevi su ostale 700 i 800 mm.

Čepovi su se izvlačili automatskim hidrauličkim alatom, a kontakt s čepom ostvaren je s narezom u osi čepa. Za vrijeme pripreme i kvalifikacije postupka pojavilo se više problema, kao:

- oštećivanje nareza u čepu
- čep nije dovoljno prema dolje izvučen
- čep se ne miče
- izvlačenje se ne može izvršiti ni maksimalnom silom
- neki čepovi su prerezani za vrijeme izvlačenja itd.

Možda je još od interesa jedna intervencija na generatorima pare u NE Krško u početku eksploatacije. Naime, za vrijeme primopredajnih testiranja NE Krško (1981/82. godine), Westinghouse je tražio da se na razini snage od 75 % prekinu testiranja elektrane i da se izvede rekonstrukcija napojnog sistema. Argumentacija za rekonstrukciju je bila vibracija cijevi u generatorima pare u zoni ulaza napojne vode (predgrijač napojne vode) zbog velikih brzina strujanja kod modela s donjim ulazom vode (model D). Da bi se bar dio vode usmjerio na godnji ulaz (napajanje u slučaju opasnosti, odnosno pomoćno napajanje), rekonstruirano je pomoćno napajanje tako da je zamijenjen cjevovod i armatura za dovod napojne vode (veće dimenzije). Time je propusni kapacitet povećan na 30 % u odnosu na glavni ulaz, gdje je dozvoljeno samo 70 % ukupno potrebne količine. Ovom je rekonstrukcijom sistem postao kompliciraniji, a samo izvedbeni radovi prouzročili su dvomjesečni zastoje u proizvodnji. Ovaj slučaj je ilustracija posebnosti svake elektrane koja ima problema s generatorima pare i koji, jednom ugrađeni, vežu i obavezuju vlasnika da neprestano sam drži situaciju u svojim rukama.

## 5. ZAKLJUČAK

- 5.1. Radi maksimalne sigurnosti i raspoloživosti generatora pare vlasnik NE treba u svako doba biti u stanju da procijeni približnu situaciju svake cijevi na temelju periodičkih i/ili posebnih testiranja, kao i na temelju pogonskih događaja i uvjeta eksploatacije.
- 5.2. Generatori pare mogu predstavljati recimo 10 % ukupne vrijednosti glavne opreme NE. S druge strane, njihovo stanje može bitno utjecati na raspoloživost elektrane. Zato je važno da vlasnik NE posjeduje pouzdane informacije o cjelokupnoj situaciji i na drugim postrojenjima (svojim i tuđim) u gradnji i eksploataciji, kako bi neprestano imao elemente za kreaciju optimalne strategije odražavanja i/ili zamjene. To podrazumijeva i vlastiti nadzor i upravljanje cjelokupnom problematikom.
- 5.3. Problematika eksploatacije generatora pare dovela je do organizacije profesionalnih institucija koje prate i analiziraju postojeća stanja te daju preporuke za daljnje postupke. S druge strane, povezuju se proizvođači opreme s kupcima (npr. SGWOG, Steam Generator Westinghouse Owners Group) radi praćenja i analiza problematike u pogonu, te izvlačenja dragocjenih pouka. No, kako se pritome ne moraju uvijek poklapati i ekonomski interesi svih sudionika, svaki vlasnik mora imati i svoj odgovarajući tim, koji može biti ravnopravni partner u adekvanim aktivnostima. Posebno ako se radi o strateškim odlukama (što, kako, kada, s kime, u kakvim uvjetima i čijom opremom nešto realizirati). Treba imati na umu da lošiji generatori pare zahtijevaju skuplje intervencije u pogonu.
- 5.4. Kada su određeni generatori pare već jednom u eksploataciji, treba voditi brigu da se:
  - izbjegavaju tranzijenti koji dovode do naglih promjena temperatura u komponentama, kao i druge termohidrauličke perturbacije
  - sekundarna kemija održava u granicama tehničkih specifikacija
  - u slučaju povrede tehničkih specifikacija i eventualne pojave taloga pogon zaustavi i da se najpovoljnijom metodom talog ispere
  - organizira periodički pregled i ispiranje sekundarne strane generatora pare.
- 5.5. Program održavanja temperature izlazne vode iz reaktora treba prilagoditi što je moguće nižoj vrijednosti, ali pritome vlažnost pare za turbinu ne smije prijeći propisanu granicu.
- 5.6. U slučaju dodavanja borne kiseline radi smanjenja SCC pojava, treba oprezno i stalno pratiti posljedice, jer dugotrajnije dodavanje i bez apsolutne kontrole može dovesti do drugih problema.
- 5.7. Neki proizvođači preporučuju preventivno puštanje unutrašnjih naprezanja, unutrašnjih redova U-cijevi, posebnim postupkom ako su

neke degradacije već uznapredovale. Takve cijevi treba preventivno začepiti.

- 5.8. Uobičajene korektivne mjere, kao što su »sleeving«, »shot peening«, pa i čepljenje (imobilizacija) mogu dati dobre rezultate, ali za svaki pojedini slučaj treba procijeniti i uzroke problema i posljedice koje se od akcije očekuju. U krajnjem slučaju i privremeno čepljenje može imati dobar razlog, pogotovo ako je to nečemu paralelna akcija.
- 5.9. Pri eventualnoj odluci za nabavu novih generatora pare treba se podsjetiti da njihova kvaliteta zavisi od mnogo faktora (i od proizvođača), te da se njihov razvoj još dugo neće okončati. Dakle, treba ići na natječaj s proanaliziranom strategijom.
- 5.10. Svaka NE, pa i svaki generator pare je specifikum koji ima svoju historiju i prethistoriju te mnoštvo utjecajnih elemenata, stoga i u prilazu ovoj problematici treba specifično pristupiti, ali uz bitno poznavanje cjelokupne problematike.

#### LITERATURA

- [1] NUREG-0844, NRC Integrated program for the Resolution of Unresolved Safety Issues A-3, A-4 and A-5 REgarding Steam Generator Tube Integrity, U.S. NRC, Sept, 88
- [2] NUREG-CR-5016, Compendium and Comparison of International Practice for Plugging, Repair and Inspection of Steam Generator Tubing, U.S. NRC, April 88.
- [3] NUREG-CR-5150, Steam Generator Operating Experience, Update for 1984-86. U.S. NRC, Jun 1988.
- [4] O.S. TATONE, R.S. PATHANIA, »Steam Generator Tube Performance: Experience with »Water-Cooled Nuclear Power Reactors During 1982, Atomic Energy of Canada Limited.
- [5] O.S. TATONE, »Worldwide tube performance: analysis of the 1983-84 statistics«, NEI June 1986.
- [6] J. C. SMITH, J. K. AKEROYD, »Applying experience in an advanced design«, NEI June 1986.
- [7] W. BERGER, R. BOUECKE, »Designing replacement units for Sweden's Ringhals 2 plant«
- [8] L. HUNYADI, »Why the steam generators are being replaced at Ringhals 2«
- [9] Westinghouse Energy Systems Inc., Mechanical Plug Issue, March 1989.

- [10] G. BÄRO, L. BERNDT, H. BOEHM, F. PÖTZ, »Major Tube Repair Programme at Kori Complited on Time«
- [11] J. ERIC Le SURF, »Chemical cleaning: a major tool for plant life extension,« NEI, Jan. 1989.
- [12] V. VUKOVIĆ, »Bilješke sa raznih sastanaka o problematici generatora pare«
- [13] V. VUKOVIĆ:  
 — Izvještaj s puta na seminar »Nuclear Safety after Three Mile Island and Chernobyl, Blackpool, UK 8-10 June 1988.«  
 — NEK Remont 1985., Komentar sa stnovišta sigurnosti.  
 — Izvještaj o procesu testiranja i statusa postrojenja NE Krško, Krško 1983.

#### PROBLEM OF STEAM GENERATOR IN PWR SYSTEMS

In the article is presented a development of steam generators in NPP's of PWR type and its problems in exploitation. Also are briefly presented corrective actions on steam generators for extention of life time.

#### DAS PROBLEM DES DAMPFGENERATORS BEI PWR SYSTEMEN

Anhand der Weltliteratur wird die Entwicklung des Generators bei Kernkraftwerken des Typs PWR als auch das Problem bei ihrer Nutzung geschildert. In Kürze werden noch korrektive Aktionen in Verbindung mit der Nutzung des Dampfgenerators wegen der Dauerhaftigkeit beschrieben.

#### ПРОБЛЕМА ПАРОГЕНЕРАТОРА В СИСТЕМАХ

Основываясь на мировой литературе, представлено развитие парогенераторов на атомных электростанциях с реакторами, PWR, а также проблема их эксплуатации. Точно так же рассматриваются корректирование в связи с использованием парогенератор с целью продления срока эксплуатации.

Naslov pisca:

**Vladimir Vuković, dipl. inž.**  
**Nukelarna elektrana Krško,**  
**68270 Krško, Vrbina, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis  
 1989-10-08



# ASTRA

**SPONZOR-SUORGANIZATOR  
UNIVERZIJADE '87**

ZAGREB  
JUGOSLAVIJA



## Djelatnosti na vanjskom tržištu:

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

## Djelatnosti na unutrašnjem tržištu:

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

n. sol. o. OOUR-a

41000 ZAGREB, Varšavska 9

Telefon: 041/427-111

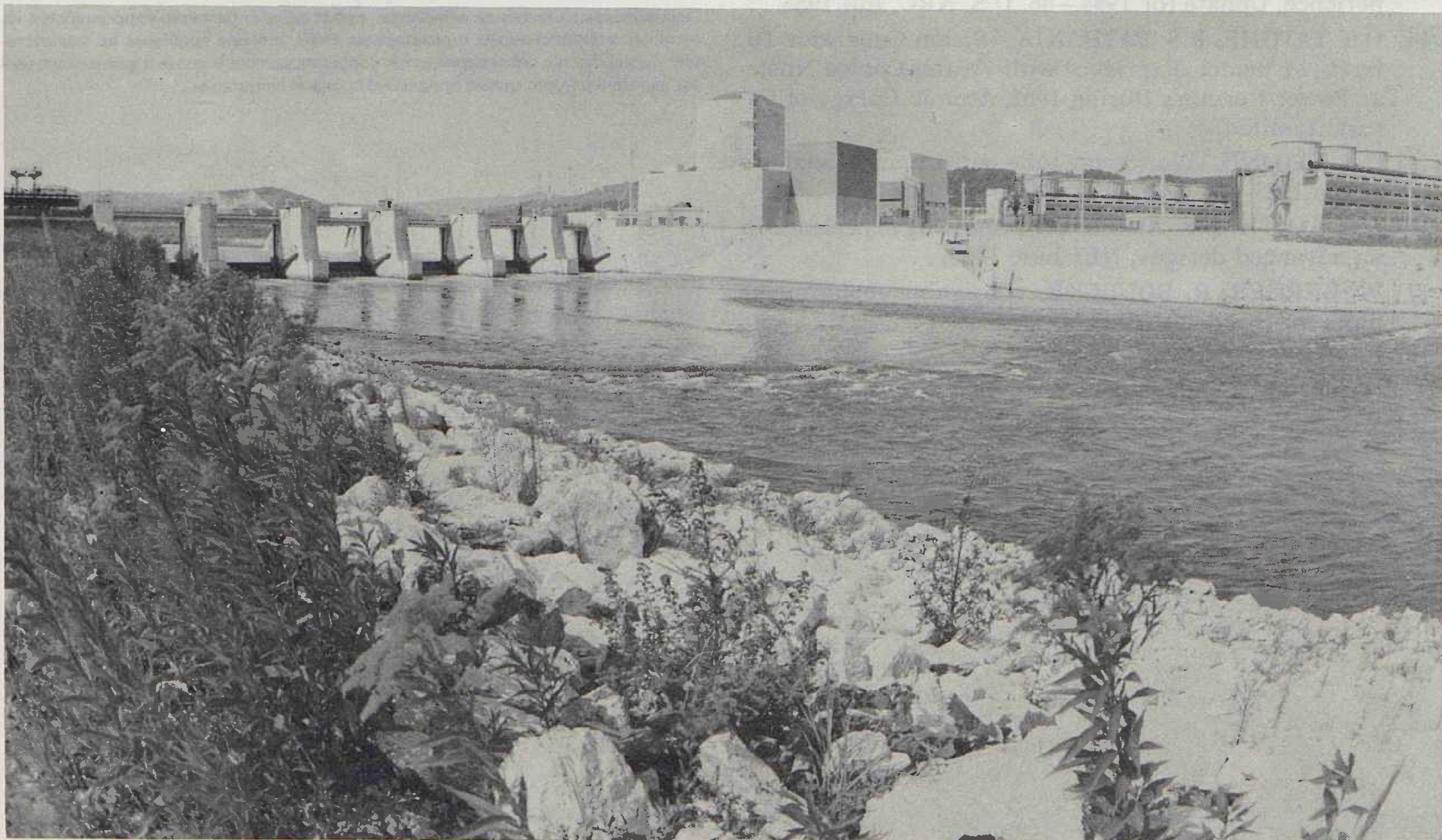
Telegram: ASTRA — ZAGREB

Telex: 21177, 21254 YU MASEX, 21125,  
21281 YU ASTRA

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

## OSNOVNE ORGANIZACIJE UDRUŽENOG RADA:

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



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

# POVEZIVANJE TROPOLNOG, METALOM OKLOPLJENOG SKLOPNOG POSTROJENJA IZOLIRANOG PLINOM SF<sub>6</sub>, TIPA K8D.6, S OSTALIM ELEMENTIMA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Velimir Ravlić — Boris Ferček, Zagreb

UDK 621.316.3

STRUČNI RAD

Detaljnije su opisane osobitosti priključka trolejnog metalom oklopljenih i plinom izoliranih sklopnih postrojenja na druge elemente elektroenergetskog sistema, tj. nadzemni vod, kabelski vod, energetski transformator.

**Ključne riječi:** metalom oklopljeno i plinom izolirano sklopno postrojenje, elementi elektroenergetskog sistema, IEC Publikacije, trolejno oklopljeno sklopno postrojenje.

## 1. UVOD

U sredinama s ograničenim raspoloživim prostorom za izgradnju sklopnih postrojenja visokog napona (gusto naseljena urbana središta, hidroelektrane, itd.), kao i u sredinama sa zagađenom atmosferom (industrijska postrojenja, termoelektrane, blizina mora itd.) otežana je izgradnja konvencionalnih sklopnih postrojenja, pa se sve češće koriste rješenja s metalom oklopljenim postrojenjima sa SF<sub>6</sub> plinom kao izolacijskim sredstvom. Zahvaljujući veoma dobrim izolacionim svojstvima plina SF<sub>6</sub>, takva postrojenja se izvode izvanredno malih dimenzija, a zahvaljujući metalnom plaštu postrojenja su praktično neosjetljiva na utjecaje okoline (posebno je to značajno za priobalna područja sa značajnim taloženjem soli i za područja s veoma zagađenom atmosferom). Ostale prednosti SF<sub>6</sub> postrojenja u odnosu na konvencionalna dobro su poznate:

- Brža je montaža zbog modulne izvedbe i tvornički dogotovljenih i ispitanih montažnih jedinica.
- Olakšana je mogućnost naknadnog proširenja.
- Mehanički vrlo čvrst oklop (u slučaju trolejnog metalom oklopljenog postrojenja tipa K8D6, proizvodnje »Rade Končar«, radi se o čeličnom oklopu), dugo se opire djelovanju električno luka, tako da postoji mogućnost izostavljanja posebnih brzih zaštitnih uređaja.
- Uzemljena čelična kućišta unutar kojih se nalaze svi dijelovi pod naponom omogućuju potpunu sigurnost za pogonsko osoblje.
- Mnogo manje dimenzije postrojenja, u odnosu na konvencionalna postrojenja, omogućuju smještaj u zgrade manjih dimenzija koje je gotovo uvijek lakše izvesti na taj način da se svojim izgledom uklope u okolinu.

Metalom oklopljena postrojenja izolirana plinom SF<sub>6</sub> postaju tako sastavni dio prijenosne ili distributivne mreže, s kojom se spajaju direktno (preko kabelskih ili nadzemnih vodova) ili preko energetskih transformatora.

Svojim konstrukcijskim osobinama sklopna postrojenja izolirana plinom SF<sub>6</sub> bitno se razlikuju od elemenata električne mreže na koju se priključuju. Zbog toga je vrlo bitno poznavati specifičnosti povezivanja sklopnih postrojenja izoliranih plinom SF<sub>6</sub> s ostalim elementima elektroenergetskog sistema kako se ne bi smanjile ili u potpunosti izgubile neke od prije navedenih prednosti takvih postrojenja u pojedinim specifičnim uvjetima upotrebe. Pritome rješenja spojeva moraju biti tako izvedena da ne zahtijevaju bitno povećanje prostora u odnosu na osnovnu opremu sklopnog postrojenja i da ne uzrokuju smanjenje pouzdanosti rada (posebno u uvjetima zagađene atmosfere).

Spojevi moraju zadovoljiti i zahtjeve koji proizlaze iz same prirode spoja, kao što su npr. kompenzacija promjena dimenzija zbog promjena temperature, kompenzacija tolerancija dimenzija koje odstupaju zbog izrade ili montaže itd., te koji proizlaze iz zahtjeva na ispitivanja metalom oklopljenih postrojenja izoliranih plinom SF<sub>6</sub>, visokonaponskih kabela, transformatora, prigušnica.

Zbog toga što se spojevi s energetskim transformatorom i prigušnicom u principu ne razlikuju to će se u daljnjem tekstu razmotriti problematika spajanja metalom oklopljenih postrojenja izoliranih plinom SF<sub>6</sub> u sljedećim slučajevima:

1. spoj na nadzemni vod,
2. spoj na kabelski vod,
3. spoj na energetski transformator.

## 2. SPOJ NA NADZEMNI VOD

Za priključak nadzemnih vodova služe diobena glava i diobeni odjeljak. U oba slučaja radi se o tropolnom oklopu iz kojeg izlaze provodni izolatori za svaku fazu.

Provodni izolatori su jedini elementi metalom oklopljenog postrojenja izoliranog plinom SF<sub>6</sub> na koja se odnose sljedeće napomene, a koje su inače karakteristične za opremu za konvencionalna sklopna postrojenja:

- potrebno je izvršiti tipsko ispitivanje naponom industrijske frekvencije pod kišom
- potrebno je izvršiti mjerenja nivoa radiosmetnji
- potrebno je izvršiti korekciju izolacionog nivoa prema nadmorskoj visini mjesta ugradnje postrojenja.

Osim navedenog, u mnogim tenderima traže se i mjerenja parcijalnih izbijanja, dielektričnih gubitaka, kapaciteta. Navedena ispitivanja definirana su u IEC Publication 273, IEC Publication 137, BS 223.

U svakom slučaju vanjski dio porculana (ponajprije dužina klizne staze i oblik rebara) odabire se na osnovi stupnja zagađenja na mjestu ugradnje postrojenja. U skladu s IEC Publication 71 i IEC Publication 815 izbor specifičnih kliznih staza za izolatore između faze i zemlje u mm/kV linijskog napona (napona faza — faza) prikazan je u tabl. 1.

Tablica 1. Izbor klizne staze u ovisnosti o stupnju zagađenja

Stupanj zagađenosti	Minimalna nazivna specifična klizna staza između faze i zemlje u mm/kV međufaznog napona
I	16
II	20
III	25
IV	31

Ovisno o pogonskom iskustvu (a prema IEC 71–2/76) može se odabrati minimalna klizna staza niža od 16 mm/kV odnosno (što je češće) viša od 31 mm/kV.

U iznimno teškim uvjetima rada često se osim zahtjeva za produženjem klizne staze preko 31 mm/kV traži i instaliranje stabilnih uređaja za pranje izolatora ili upotreba izolatora iz plastičnih materijala, kao što su npr. silikonske gume. Izolatore iz silikonske gume proizvodi npr. tvrtka »DÄTWYLER« i zbog tzv. efekta samočišćenja navedeni izolatori se sve češće traže.

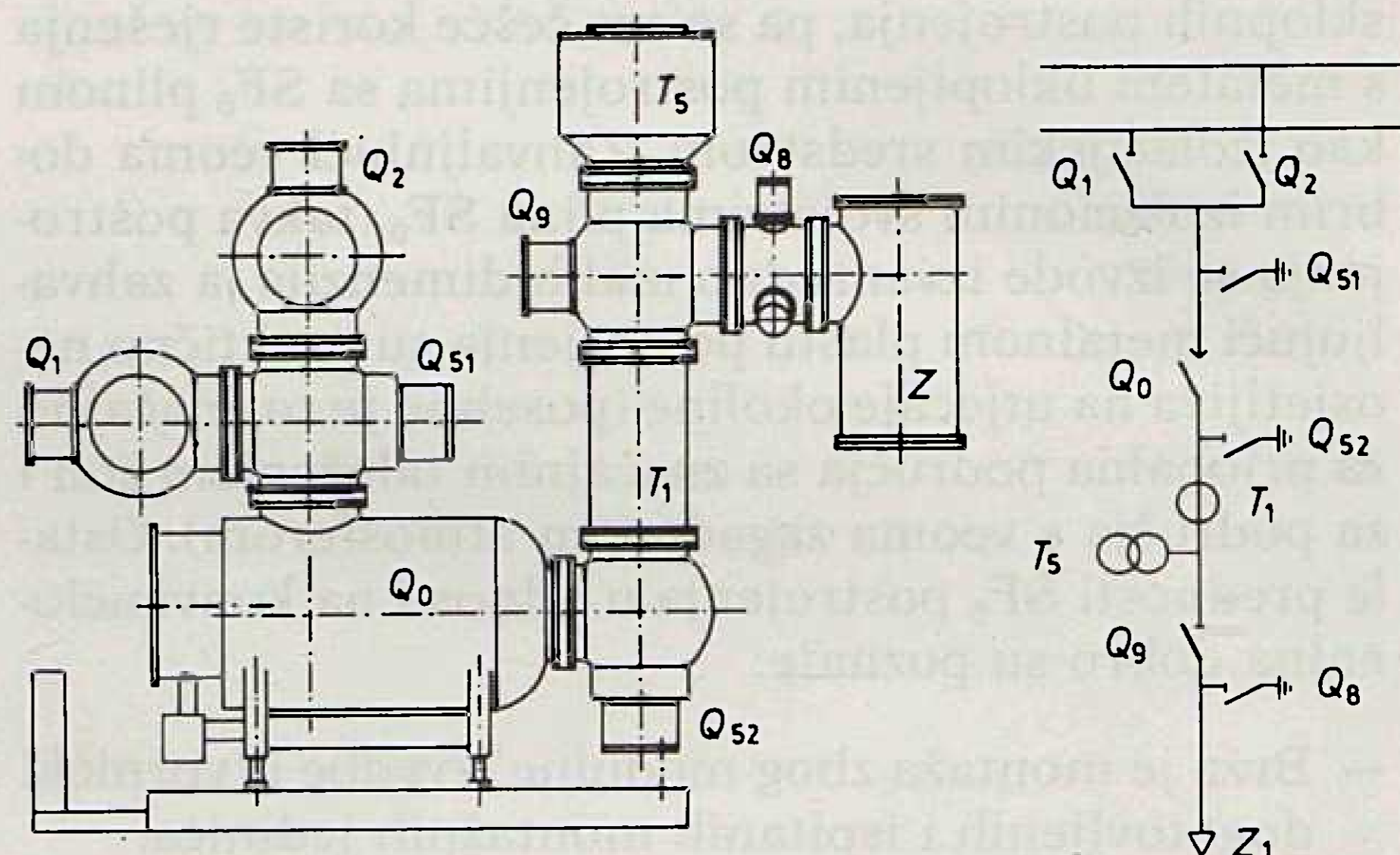
U svakom slučaju pri priključenju provodnog izolatora na ostale elemente konvencionalne izvedbe u dotičnom vodnom polju (kao što su odvodnici prenapona, naponski transformatori itd.) dolazi do problema zbog spoja elemenata koji imaju male međufazne razmake na elemente konvencionalnog postrojenja koji imaju mnogo veće međufazne razmake. Problem je posebno izražen pri većem broju takvih vodnih polja i pri višim nazivnim naponima.

Naime, u vanjskim konvencionalnim postrojenjima postoje elementi koji ne mogu biti tipski ispitani. To su npr. sabirnice, spojevi među aparatima itd. Zbog toga određeni standardi (npr. IEC Publication 71–1/1976, VDE 0101, BS 162) propisuju određene najmanje razmake u sklopnim postrojenjima. Osim o stupnju izolacije aparata, navedeni razmaci ovise i o obliku metalnih dijelova koji se nalaze u blizini, o stupnju zagađenja i o nadmorskoj visini mjesta ugradnje aparata, tako da je sve navedene utjecaje potrebno uzeti u obzir pri projektiranju postrojenja. Osim toga, pri projektiranju potrebno je poznavati i minimalne razmake odvodnika prenapona od susjednih elemenata postrojenja. Navedene razmake redovito daje proizvođač odvodnika prenapona i oni su redovito manji od minimalnih razmaka danih u prije navedenim standardima. Radi prilagođenja navedenih razmaka koriste se razne izvedbe priključka.

## 3. SPOJ NA KABELSKI VOD

Odjeljak za priključak visokonaponskih kabela predviđen je za priključak uljnih, plinskih ili polietilenskih kabela, maksimalnog presjeka do 1 000 mm<sup>2</sup>. Način ispitivanja visokonaponskih kabela uvjetuje dispoziciju opreme, ponajviše naponskih transformatora, u sklopu samog metalom oklopljenog postrojenja.

Ako se ne želi odstraniti naponski transformator za vrijeme visokonaponskih ispitivanja kabela, onda se on dispoziciono smješta kao na sl. 1.



Slika 1. Presjek kroz kabelsko polje postrojenja K8D.6 (varijante s naponskim transformatorom »ispred« izlaznog rastavljača i brzog zemljospojnika)

Navedeno rješenje ima dosta nedostataka, prije svega zbog neadekvatnog smještaja naponskog transformatora koji u slučaju otvorenog položaja izlaznog rastavljača ne može dati informaciju o naponskom stanju odvoda (kabela ili nadzemnog voda) i zbog toga što su prilikom ispitivanja visokonaponskih kabela sa strane postrojenja potrebne opsežne adaptacije unutar kabelskog kućišta koja se moraju prilagoditi za spoj s uređajem za visokonaponska ispitivanja kabela.

Zbog toga se prešlo na novo dispoziciono rješenje s naponskim transformatorom smještenim na vrhu kablenskog kućišta.

U slučaju ispitivanja i postrojenja i visokonaponskih kabela, naponski transformator treba ukloniti iz ispitnog kruga. Budući da on nije predviđen za 50 Hz ispitne napone, to postoji mogućnost pregrijavanja zbog prezasićenja magnetske jezgre. Treba napomenuti da se naponski transformatori u tvornici posebno ispituju (ispitni naponi povećane frekvencije, npr. 200 Hz i nivo parcijalnih izbijanja) i dopremaju napunjeni plinom SF<sub>6</sub> (s nešto manjim pritiskom plina SF<sub>6</sub> od nazivnog, tj. od oko 1–2 bara), tako da je vjerojatnost nastanka kvara unutar naponskog transformatora bitno smanjena.

Za ispitivanje postrojenja podnosivim naponom industrijske frekvencije u trajanju od 1 minute na mjestu ugradnje koriste se specijalni naponski transformatori (kao što su npr. tipa TES proizvodnje Messwandler Bau Bamberg) koji se priključuju na postrojenje preko premještača faza, jer su jednofazne izvedbe. Pritome je potrebno paziti da visina kuke kрана bude adekvatno izabrana kako bi se ispitni transformator i premještač faza mogli montirati na mjesto gdje je inače smješten naponski transformator. U slučaju ispitivanja visokonaponskih kabela moguća su, suglasno IEC preporukama, tri načina ispitivanja:

1. nazivnim naponom (faznim) u trajanju 24 sata,
2. nazivnim naponom (linijskim) koji je spojen između vodiča i metalnog plašta u toku 5 minuta,
3. istosmjernim naponom od  $3 \times U$  fazni, između vodiča i metalnog plašta, a u trajanju 15 minuta.

Prednost je istosmjernog napona u tome što je potrebna snaga mala. Zbog toga se uobičajeno primjenjuje za ispitivanje srednjonaponskih kabela nakon montaže. Međutim, osnovni nedostatak u primjeni istosmjernog napona jest u tome što ne odražava adekvatno naponsko naprezanje za koje je oprema predviđena.

Naime, u slučaju ispitivanja istosmjernim naponom raspodjela električnog polja uvjetovana je čistim omskim otporom. U stvarnosti je unutar metalom oklopljenog postrojenja raspodjela pretežno kapacitivnog karaktera, tako da se u slučaju ispitivanja istosmjernim naponom dobiva nerealna slika, odnosno nerealno naprezanje izolacije. Pritom istosmjerni napon može uzrokovati polarizaciju eventualno prisutnih čestica nečistoća u plinu te njihovo skupljanje na površini provodnih ili potpornih izolatora, što dovodi do smanjenja dielektrične čvrstoće istih i povećane mogućnosti proboja.

Slična je situacija i s visokonaponskim kabelima, gdje je također raspodjela uglavnom kapacitivnog karaktera.

Uzimajući u obzir i moguće oštećenje opreme kod pojave proboja, ispitivanja istosmjernim naponom se ne preporučuju.

Ipak, i za slučaj ispitivanja istosmjernim naponom visokonaponskih kabela predviđena je mogućnost montaže posebnog adaptera i ispitnog provodnog

izolatora na istom mjestu gdje je smješten i naponski transformator koji se u tom slučaju ukloni.

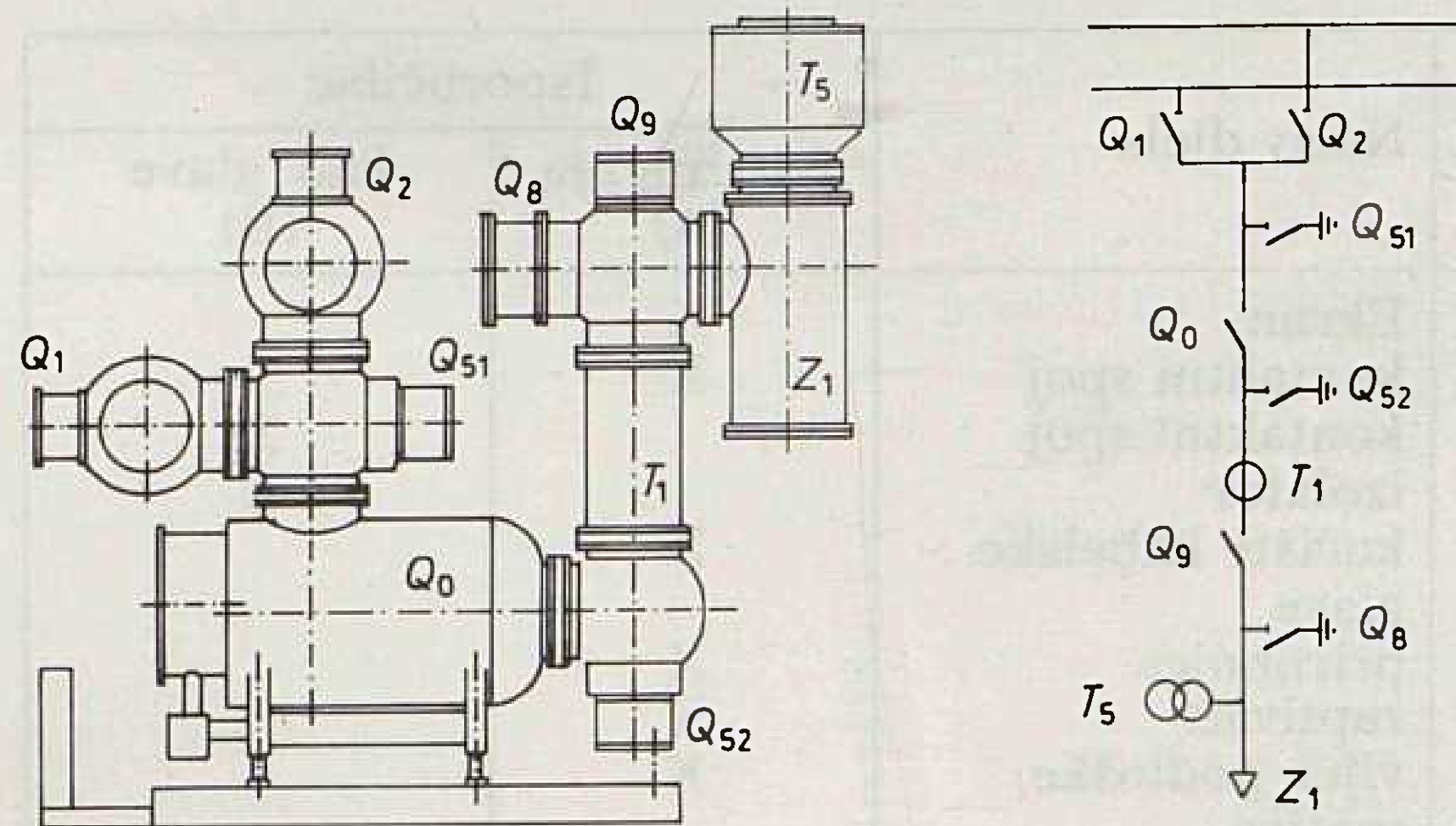
Ispitivanje kabela linijskim naponom u toku 5 minuta praktično se ne koristi zbog velike potrebne snage izvora i zbog vrlo nezgodnog načina priključka.

Zbog toga se najčešće koristi ispitivanje kabela nazivnim faznim naponom u toku 24 sata. Tada nema nikakvih problema s priključkom na postrojenje, a i naprezanje odgovara onome u stvarnim pogonskim uvjetima.

Treba također naglasiti da je odvajanjem kablenskih uvodnica od kablenskog kućišta pripadajućeg kablenskog polja moguće obaviti ispitivanje kabela istosmjernim naponom pomoću odgovarajućeg ispitnog kabela i kablenske glave dovođenjem napona iz izvora koji ne mora ni biti smješten u prostoriji gdje je smješteno metalom oklopljeno postrojenje izolirano plinom SF<sub>6</sub>.

U tom slučaju elementi metalom oklopljenog postrojenja nisu napregnuti istosmjernim naponom.

U toku ispitivanja postrojenje se mora odvojiti od kabela ako se vrši ispitivanje kabela istosmjernim naponom preko posebnog ispitnog provodnog izolatora i adaptera.



Slika 2. Presjek kroz kablensko polje postrojenja K8D.6 (varijanta s naponskim transformatorom »iza« izlaznog rastavljača i brzog zemljospojnika)

Time su zadovoljeni zahtjevi propisa IEC Publication 141, koji također zahtijeva da se visokonaponsko ispitivanje kabela zajedno s pripadnim kablenskim priborom (kablenske glave) vrši istosmjernim ili izmjeničnim naponom. Jasno, u slučaju ispitivanja faznim naponom u toku 24 sata ovaj je zahtjev ispunjen. Osnovna mana pri ispitivanju faznim naponom kroz 24 sata jest potreba za velikom snagom izvora.

Ako je s jedne strane kabela metalom oklopljeno postrojenje ispunjeno SF<sub>6</sub> plinom, a s druge strane konvencionalno postrojenje, onda se ispitivanje provodi sa strane konvencionalnog postrojenja preko kablenskih glava za vanjsku montažu.

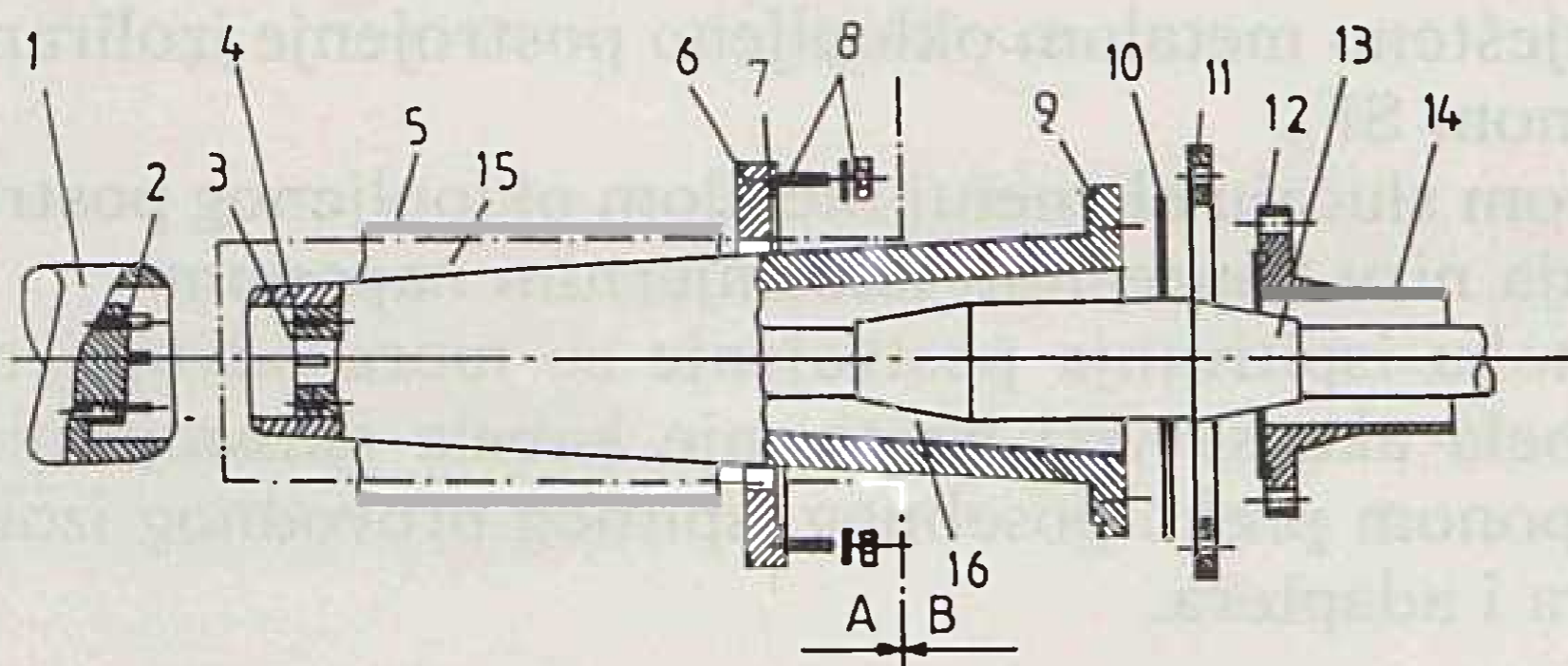
Međutim, ako se s obje strane kabela nalazi metalom oklopljeno postrojenje izolirano plinom SF<sub>6</sub>, onda se ispitivanje mora provoditi iz jednog od postrojenja.

Treba također napomenuti da se u toku dielektričnih ispitivanja izmjeničnim naponom (iznosa 80 % izmjeničnog podnosivog napona pogonske frekvencije kojim se ispituje u tvornici) na mjestu ugradnje postro-

jenja, postrojenje odvaja od kabela putem odgovarajućih ekrana.

Vrlo često pri isporuci metalom oklopljenog postrojenja izoliranog plinom SF<sub>6</sub> pri isporuci kablskih glava nastaju sporovi između proizvođača o granici isporuke i odgovornosti.

Zbog toga je IEC Publication 859/1986. tipizirao kablške glave po dimenzijama za grupe napona: 72.5 kV; 123–170 kV; 245–300 kV i 362–420 kV i odredio minimalne pritiske plina SF<sub>6</sub> (apsolutni) pri 20 °C za navedene grupe nazivnih napona: 0,1 MPa; 0,3 MPa; 0,35 MPa i 0,40 MPa. Sagledavajući pojedine tehnološke cjeline i međuovisnost pojedinih elemenata, IEC 859/1986 je također definirao i granice isporuke i odgovornosti, što je prikazano na sl. 3.



Poz.	Naziv djela	Isporučilac	
		postrojenja (A)	kab. glave (B)
1.	Ekran	X	
2.	kontaktni spoj	X	
3.	kontaktni spoj		X
4.	izolator		X
5.	kućište kablške glave	X	
6.	prirubnica	X	
7.	zaptivač	X	
8.	vijci, podloške, matice	X	
9.	prirubnica izolatora (adapter)		X (ako je potrebno)
10.	međuprsten		X (ako je potrebno)
11.	prirubnica		X (ako je potrebno)
12.	sistem za oblikovanje polja		X
13.	zaptivač		X
14.	kablška uvodnica		X
15.	izolacijska smjesa (ulje i sl.)		X
16.	plin SF <sub>6</sub>	X	

Slika 3. Prikaz granica isporuke između proizvođača SF<sub>6</sub> postrojenja i proizvođača kablške glave

#### 4. SPOJ NA ENERGETSKI TRANSFORMATOR

Spoj metalom oklopljenog postrojenja izoliranog plinom SF<sub>6</sub> s energetskim transformatorom moguće je ostvariti na sljedeće načine:

1. kablškim spojem, dakle spojem koji je principijelno izveden na isti način kao i spoj postrojenja na kablški vod,
2. korištenjem oklopljenog voda, tj. korištenjem diobene glave i diobenog odjeljka uz pripadajuće pro-

vodne izolatore; to je spoj koji odgovara, u principu, spoju na nadzemni vod,

3. korištenjem »bus-ducta« (oklopljenog voda izoliranog plinom SF<sub>6</sub>) za direktni spoj s odgovarajućim dijelom energetskog transformatora.

Za kablški spoj vrijedi ono što je rečeno o spoju na kablški vod. Situacija se nešto komplicira ako su visokonaponske kablške kutije na energetskim transformatorima ispunjene transformatorskim uljem ili tkz. »compoundom« (koji ima karakteristike definirane npr. prema BS 1858). I u tom slučaju najpogodnije je ispitivanje nazivnim faznim naponom u toku 24 sata. Inače je potrebno nabavljati skupe ispitne uređaje za ispitivanje istosmjernim naponom te predvidjeti odgovarajuće elemente za priključak ispitnog provodnog izolatora (obično na vrhu kablške kutije). U svakom slučaju postoji rastavno mjesto (tkz. »disconnecting link«) kojim se transformator može odvojiti za vrijeme ispitivanja kabela istosmjernim naponom. Kablški spoj ima niz nedostataka ako se želi ugraditi odgovarajuće odvodnike prenapona za zaštitu energetskog transformatora. U tom je slučaju, naime, moguća ugradnja odvodnika prenapona ili unutar metalom oklopljenog postrojenja izoliranog plinom SF<sub>6</sub> ili unutar kotla energetskih transformatora.

Izvedba odvodnika prenapona unutar metalom oklopljenog postrojenja nekoliko je puta skuplja od konvencionalnih izvedbi odvodnika prenapona, a izvedba prenaponske zaštite s odvodnicima prenapona ugrađenim unutar kotla energetskih transformatora još je nedovoljno istražena i mnogi je proizvođači odvodnika prenapona (npr. ABB) ne preporučuju jer, kako tvrde, nemaju još dovoljno iskustva o ponašanju ZnO elemenata u takvim pogonskim situacijama. Kablški spoj ima i određene prednosti pred drugim vrstama spoja:

- postiže se ušteda u prostoru
- može se lako postići kompenzacija promjena dimenzija zbog promjena temperature tako da nije potrebno u spoj ugrađivati kompenzatore
- spriječeno je prenošenje vibracija s jezgre transformatora na metalom oklopljeno postrojenje.

Spoj izveden preko provodnih izolatora na strani postrojenja i na strani transformatora je najjednostavniji spoj. U tom se slučaju koristi transformator uobičajeno opremljen za ugradnju u konvencionalna postrojenja. Korištenje transformatora standardne izvedbe ima mnoštvo prednosti, kao što su npr. olakšana zamjena u slučaju kvara ili olakšana zamjena visokonaponskih provodnika u slučaju njihova oštećenja. Također je olakšana i ugradnja odvodnika prenapona ispred transformatora. Jasno je da je moguća ugradnja standardnih odvodnika za vanjsku montažu. Mane navedenog spoja jesu:

- smanjenje uštede u prostoru
- potrebno je osigurati određene minimalne razmake od susjednih elemenata postrojenja
- nije postignuta zaštita od zagađene atmosfere
- ako je transformator smješten vani, potrebno je osigurati odgovarajuću gromobrnsku zaštitu spoja.



Prednosti su navedenog spoja:

- spriječeno je prenošenje vibracija s jezgre transformatora na metalom oklopljeno postrojenje
- zbog fleksibilnog spoja između provodnih izolatora postrojenja i energetskog transformatora nije potrebno ugrađivati posebne kompenzatore za kompenzaciju promjena dimenzija zbog promjene temperature, odnosno zbog promjena nastalih u toku izrade ili montaže.

Korištenje oklopljenog voda izoliranog plinom SF<sub>6</sub> sve se više prakticira za slučajeve prijenosa velikih nazivnih struja.

Moguća je montaža u zraku (na posebne nosače), u kabelaške kanale ili čak u zemlju. Time se izbjegava upotreba više kabela po fazi i s time u vezi korištenje dvostrukih ili čak i trostrukih kabelaških kućišta u sklopu metalom oklopljenog postrojenja. Osim niže cijene, brže montaže i olakšane izrade dispozicije rupa za prolaz vodova (u slučaju dvostrukog kabelaškog kućišta potrebno je predvidjeti odgovarajuće rupe za prolaz kabela na vrlo bliskoj udaljenosti, što je vrlo nepovoljno s aspekta građevinskog projekta) u betonskoj deki, ostale prednosti »bus-ducta« u odnosu na klasični kabelaški vod jesu:

- mnogo veća dozvoljena strujna opteretivost u normalnom pogonu
- bolje odvođenje topline u okolinu
- efikasnije i jednostavnije hlađenje
- manje struje nabijanja (samo oko 20 % od onih za visokonaponske kabele za iste uvjete pogona)
- pojednostavljen način završavanja odnosno spajanja na pripadajuće dijelove i transformatora i postrojenja
- uzemljeni metalni plašt podnosi relativno velike struje jednog polnog kratkog spoja (u slučaju kabela trebalo bi upotrijebiti plašt jako velikog nazivnog presjeka, što bitno povećava cijenu i otežava montažu kabela)
- nema induktivnog utjecaja na susjedne kabele, što naročito dolazi do izražaja u postrojenjima s velikim brojem kabelaških polja.

Pritome treba naglasiti da ispitivanja pokazuju da čelični plašt u usporedbi s aluminijskim plaštem istih dimenzija podnosi duže za 4,5 puta unutrašnji električni luk a da ne dođe do propalivanja.

Zbog svega navedenog, ovaj način spajanja sve se više koristi u sljedećim slučajevima:

- spoj metalom oklopljenog postrojenja izoliranog plinom SF<sub>6</sub> na energetski transformator, konvencionalno postrojenje ili nadzemni vod
- za spajanje metalom oklopljenih postrojenja izoliranih plinom SF<sub>6</sub> u slučaju da su ona smještena u tunelima ili u sklopu hidroelektrana
- u sklopu energetskih spojeva s postojećim nadzemnim vodovima u slučaju malog raspoloživog prostora, odnosno u slučajevima izrazito nepovoljnog utjecaja okoline (kiselo tlo, blizina kemijskih postrojenja, itd.).

## 5. ZAKLJUČAK

Svojim konstrukcijskim osobinama metalom oklopljeno sklopno postrojenje izolirano plinom SF<sub>6</sub> bitno se razlikuje od elemenata električne mreže na koju se priključuje.

Neovisno o izvedbi postrojenja (jednopolno ili tro-polno oklopljeno postrojenje) potrebno je poznavati specifičnosti povezivanja postrojenja s ostalim elementima elektroenergetskog sistema, posebno u vezi s ispitivanjem postrojenja i visokonaponskih kabela. U članku su detaljnije opisane osobitosti priključenja postrojenja tipa K8D.6, proizvodnje »Rade Končar«. Koristeći navedene informacije, moguće je maksimalno iskoristiti prednosti ovakve vrste postrojenja u pojedinim specifičnim uvjetima upotrebe.

## LITERATURA

- [1] IEC Publication 517 — Gas — insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages of 72,5 kV and above 1986.
- [2] IEC Publication 273 — Dimensions of indoor and outdoor post insulators and post insulator units for systems with nominal voltages greater than 1000 V. 1979.
- [3] IEC Publication 137 — Bushings for alternating voltage above 1000 V. 1973.
- [4] IEC Publication 815 — Guide for the selection of insulators in respect of polluted conditions. 1986.
- [5] IEC Publication 71 — 1 — Insulation co-ordination Part 1: Terms, definitions, principles and rules  
IEC Publication 71 — 2 — Insulation co-ordination Part 2: Application Guide  
IEC Publication 71 — 3 — Insulation so-ordination Part 3: Phase-to-phase insulation co-ordination Principles, rules and application guide
- [6] IEC Publication 859 — Cable connections for gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages of 72,5 kV and above. 1986.
- [7] IEC Publication 141 — Tests on oil-filled and gas-pressure cables end their accessories  
141 — 4 Part 4: Oil-impregnated paper-insulated high pressure oil-filled pipe-type cables and accessories for alternating voltages up to and including 400 kV. 1980.
- [8] BS 223 — Bushings for alternating voltages above 1000 V. 1985.
- [9] BS 162 — Specification for electric power switchgear and associated apparatus. 1961.
- [10] BS 1858 — Bituminous Base Filling Compounds for Electrical Purposes. 1973.
- [11] DIN VDE 0101/11.80 — Errichten von Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV. 1980.
- [12] Katalozi i prospekti firmi »Rade Končar«, »Siemens«, »ABB«, »Calor Emag«, »Hitachi«.

**CONNECTION OF THREE PHASE ENCASED SWITCHING ASSEMBLY ISOLATED WITH SF<sub>6</sub> GAS, TYPE K8D.6, WITH OTHER ELEMENTS OF ELECTRIC POWER SYSTEM**

In the article is described a connection of three phase encased switching assembly isolated with SF<sub>6</sub> gas, with other elements of electric power system, i.e. overhead lines, cables, power transformers.

**DAS VERBINDEN DER DREIPOLIGEN GEPANZERTEN SCHALTANLAGE DURCH DAS GAS SF<sub>6</sub>, TYP K 8 D.6 MIT ANDEREN ELEMENTEN DES ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEMS**

In mehreren Einzelheiten wurden die Besonderheiten des Anschlusses des dreipoligen mit Metall gepanzerten und durch Gas isolierten Schaltungen auf andere Elemente des elektroenergetischen Systems bzw. Überlandleitung, Kabelleitung, energetischer Transformator, beschrieben.

**СОПРЯЖЕНИЕ ТРЕХПОЛЮСНОГО КОМПЛЕКТНОГО РАСПРЕДИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА, ИЗОЛИРОВАННОГО ЭЛЕГАЗОМ ТИПА К8Д.6, С ПРОЧИМИ СОСТАВНЫМИ ЧАСТЯМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Подробнее описаны особенности присоединения трехполюсного комплектного распределительного устройства с другими составными частями электроэнергетической системы, т.е. с воздушными и кабельными линиями, как и с силовыми трансформаторами.

Naslov pisaca:

**Velimir Ravlić, dipl. inž.**  
**»Rade Končar« — Inženjering,**  
**41000 Zagreb Fallerovo šet. 22,**  
**Jugoslavija**  
**Boris Ferček, dipl. inž.**  
**»Rade Končar« — Električni**  
**aparati i uređaji, 41000 Zagreb,**  
**Borongajska cesta bb,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1989 — 09 — 29

[1] IEC Publication 515 — Gas — Insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages of 72.5 kV and above 1982

[2] IEC Publication 517 — Dimensions of metal-enclosed gas-insulated switchgear and post insulators rated for systems with nominal voltage greater than 1000 V 1979

[3] IEC Publication 137 — Bushings for alternating voltage at above 1000 V 1973

[4] IEC Publication 615 — Guide for the selection of cables in respect of polluted conditions 1982

[5] IEC Publication 71-1 — Guidelines to standardization Part 1 Terms, definitions, principles and rules 1982

[6] IEC Publication 71-2 — Installation coordination Part 2 Application Guide 1982

[7] IEC Publication 71-3 — Installation coordination Part 3 Phase-to-phase insulation coordination Principles, rules and application guide 1982

[8] IEC Publication 529 — Cable connections for overhead lines and underground cables for rated voltages of 10 kV and above 1985

[9] IEC Publication 141 — Tests on oil-filled and gas-filled cable joints and their accessories 1985

[10] IEC Publication 141-1 — Oil-impregnated paper-insulated high voltage cables and accessories for rated voltages up to and including 400 kV 1980

[11] BS 223 — Bushings for alternating voltages above 1000 V 1982

[12] BS 142 — Specification for electric power switches and associated apparatus 1981

[13] BS 1575 — Bituminous Base Filling Compounds for Electrical Purposes 1973

[14] DIN VDE 0101 N 80 — Richtlinien von Schaltanlagenbau für Niederspannung über 1 kV 1980

[15] Katalog i priručnik iz oblasti Končar, Siemens, ABB, Calor Romex, Eltronic

# PRIMJER REALIZACIJE JEDNOG EKSPERTNOG SISTEMA U RJEŠAVANJU PRAKTIČNOG PROBLEMA — VOĐENJA RAČUNALA INSTITUTA ZA ELEKTROPRIVREDU ZAGREB

Mr. Petar Jakšić, Zagreb

UDK 621.31:681.14

STRUČNI RAD

Definiraju se ekspertni sistemi. Izlažu se njihove karakteristike i način izrade. Daje se prikaz ekspertnog sistema OPERASS izrađenog za potrebe vođenja računala VAX 8300 te evaluira mogućnost njegove primjene u Institutu za elektroprivredu i u drugim elektroprivrednim organizacijama Hrvatske.

**Ključne riječi:** umjetna inteligencija, ekspert, računalo, VAX, operativni sistem, sistem inženjer, operater, asistent.

## 1. UVOD

Pri korištenju kompjutera događa se da poslove vođenja kompjutorskog sistema (to su poslovi sistem-operatera i sistem-inženjera) moraju raditi osobe bez dovoljnog stručnog poznavanja tog područja. To je bio motiv za izradu ekspertnog sistema koji bi takvim privremenim operaterima pomagao u radu. Svrha je ovog rada da prikaže teorijske osnove za izradu ekspertnog sistema za vođenje računala, samu izradu i rad toga sistema, te mogućnosti primjene sistema pri vođenju računala Instituta za elektroprivredu i računala ostalih elektroprivrednih organizacija Hrvatske.

**Umjetna inteligencija (UI)** grana je informatike posvećena programiranju kompjutera kako bi mogli obavljati poslove koji (ako ih obavlja čovjek) zahtijevaju inteligenciju (6, str. 9). Iako ne možemo definirati što je to ljudska inteligencija, možemo istaći brojne kriterije po kojima se ona prosuđuje, kao što je sposobnost apstrahiranja i generaliziranja, povlačenje analogija između raznih situacija i privikavanje na nove situacije, otkrivanje i ispravljanje grešaka i drugo.

Sistemi umjetne inteligencije dijele se na ekspertne sisteme, sisteme za procesiranje prirodnog jezika te sisteme za percepciju slike, govora i dodira.

**Reprezentacija znanja** u kompjutoru sastoji se od postavljanja veze između sistema zaključivanja i vanjskoga svijeta. Najčešće korišteni formalizmi za reprezentiranje znanja bazirani su na logici prvog reda, produkcijskim pravilima i struktuiranim objektima.

**Produkcijsko pravilo** je par situacije i akcije, što znači da kada se god dogodi određena situacija, dana kao lijeva strana pravila, izvodi se akcija dana na desnoj strani pravila. Sistemi bazirani na produkcijskim pravilima obično se sastoje od baze pravila, baze činjenica i interpretora tih činjenica i pravila.

Osnovni je princip programiranja baziranog na pravilima da je svako pravilo jedan nezavisan detalj znanja koji sadrži sve uvjete potrebne za njegovu primjenu. Pravila ne mogu zvati jedno drugo, nisu međusobno povezana. Osim toga, pravila nisu ni na koji način poredana i u principu bilo koje može biti aktivirano u bilo kojem trenutku. U kojem poretku će ona stvarno biti korištena, odlučuje interpretor.

Interpretori pravila (strojevi za zaključivanje) mogu se podijeliti prema načinu na koji pokušavaju primijeniti pravila. Ako oni najprije gledaju ustanovljene podatke ili činjenice da bi odlučili zadovoljavaju li one lijevu stranu pravila (premisu), kažemo da koriste nizanje unaprijed. Ali ako najprije gledaju ciljeve koji se žele postići, a koji su dani na desnoj strani pravila, i tada pokušavaju zadovoljiti samo ona pravila koja imaju te ciljeve, kažemo da koriste nizanje unazad.

**Baze znanja** predstavljaju proširenje koncepta baze pravila, te se koriste u raznim područjima UI. Baza znanja na simbolički način predstavlja znanje o činjenicama i općim informacijama, te o heuristici, kao što su prosudbe, intuicija i iskustvo u određenom problemskom području (18, str. 71).

## 2. EKSPERTNI SISTEMI

Postoje razna mišljenja o tome što su ustvari ekspertni sistemi. Jedna od definicija ekspertnog sistema jest da je to kompjutorski program u kojem je sadržano ekspertno znanje. Ta definicija je veoma općenita, i po njoj bi i mnogi konvencionalni kompjutorski programi bili ekspertni sistemi. Postoje i definicije koje osim posjedovanja ekspertnog znanja zahtijevaju od ekspertnog sistema i mnoge druge osobine, koje se sve u praksi veoma teško mogu ostvariti. Stoga je prikladno definirati ekspertni sistem kao kom-

pjutorski program koji sadrži ekspertno znanje, i to prije svega iskustveno, heurističko znanje, znanje koje omogućava da se rješavaju problemi za koje ne postoji praktično algoritamsko rješenje, te problemi o kojima imamo nepotpune i nesigurne informacije (12, str. 16).

Kao ostale **poželjne karakteristike** (ali ne i dio definicije) ekspertnog sistema, mogu se između ostalih navesti:

- razdvajanje znanja od programa koji ga koristi
- obrazlaganje vlastitih akcija, pitanja i rezultata
- simbolička reprezentacija znanja
- visok nivo performansi
- reprezentiranje raznih tipova znanja
- prilagodavanje korisnicima.

Željene kvalitete ekspertnih sistema mogu poslužiti za uspoređivanje raznih ekspertnih sistema. Pritome se uviđa da to nisu sasvim nezavisne dimenzije. Naprimjer, sposobnost opećenitog rješavanja problema uzrokuje pad performansi jer se povećava vrijeme potrebno za dobivanje kvalitetnih rezultata.

**Arhitektura ekspertnog sistema** je znanost, ali i metoda oblikovanja koja određuje strukturu ekspertnog sistema. Osnovne komponente ekspertnog sistema jesu:

- baza znanja (ili izvornog znanja), s činjenicama i heuristikom
- procedura izvođenja, za korištenje baze znanja radi rješavanja problema
- radna memorija (globalna baza podataka), za bilježenje statusa problema, za spremanje ulaznih podataka posebnog problemskog slučaja i bilježenje historijata učinjenog.

Ako je znanje o području spremljeno pomoću produkcijskih pravila, baza znanja zove se baza pravila, a procedura izvođenja tumač (interpretor) pravila.

U složenijim sistemima jasno se razlikuje mehanizam zaključivanja, koji interpretira znanje u bazi znanja i izvodi zaključke, od kontrolnog mehanizma, koji postoji zato da se ne bi provodilo nasumično pretraživanje pravila, dakle smanjuje trošenje vremena na iscrpljujuće traganje kroz nevažna pravila. Kontrolni mehanizam osim strategije pretraživanja (nizanje unapred ili nizanje unazad), sadrži i metappravila, odnosno pravila o pravilima i o njihovom korištenju. Primjeri metappravila su:

»Ako preduvjet nije zadovoljen, kreiraj potcilj da se on zadovolji.«

»Ako postoje potciljevi koji su dijelovi više glavnih ciljeva, nastoj ih zadovoljiti prije ostalih potciljeva.«

**Idealni ekspertni sistem** sastoji se od procesora prirodnog jezika, radne memorije, baze znanja, interpretora, modula za kontrolu redoslijeda, modula za održavanje konzistencije i modula za obrazlaganje (10, str. 6).

Jedan je način **klasifikacije ekspertnih sistema** prema njihovoj arhitekturi. Ekspertne sisteme možemo još klasificirati prema funkciji koju obavljaju te prema ulozi u kojoj se pojavljuju.

### 3. IZRADA EKSPERTNIH SISTEMA

Budući da je za postizanje dobrih performansi sistema potrebno eksperimentiranje, ekspertni sistem se razvija dio po dio. Nakon početnog oblikovanja i implementacije sistem raste inkrementalno u širinu i u dubinu. Inkrementalna metoda česta je i kod drugih velikih softverskih sistema, ali za ekspertne sisteme čini se neizbježnom.

#### 3.1. Akvizicija znanja

Procedura izdvajanja znanja od eksperta i prevodenje u formu kompjutorskog programa zove se akvizicija znanja. Takva transformacija ekspertnog znanja od izvora znanja u program jest bit razvojnog procesa ekspertnih sistema. Otkrivanje i formalizaciju ekspertova znanja provodi inženjer znanja. Akvizicija znanja provodi se u toku cijelog razvoja ekspertnog sistema.

U početku izrade ekspertnih sistema znanje je bilo ugrađivano u rukom pisane programe. Takav način rada zahtijevao je da programer nauči veoma mnogo o domeni kako bi mogao efikasno komunicirati s ekspertom. Programer bi i sam postajao ekspert. Pritome ekspert nije imao gotovo nikakav uvid u rad kompjutorskog programa.

Zatim se razvila metoda akvizicije znanja u kojoj ekspert u interakciji s inženjerom znanja gradi sistem, pri čemu je znanje o domeni razdvojeno od ostatka programa u konceptualno jednostavnoj strukturi podataka zvanj baza znanja. Na taj način dobilo se na prozirnosti i fleksibilnosti, te je postalo mnogo jednostavnije proširivati i mijenjati bazu znanja nego li kada je to znanje bilo ugrađeno u program.

#### 3.2. Osnovne faze izrade ekspertnih sistema

Proces akvizicije znanja nije toliko dobro shvaćen da bi se mogla definirati standardna sekvenca koraka koji bi optimirali proces izrade ekspertnog sistema. Ipak, mogu se razmatrati sljedeće osnovne faze:

- analiza problema
- oblikovanje sistema
- izrada prototipa
- testiranje prototipa.

Ti koraci su ekvivalentni klasičnim inženjerskim fazama za razvoj softvera (plan, oblikovanje, editiranje i prevođenje, testiranje).

U fazi analize inženjer znanja bira problem, vrednuje da li je on prikladan za rješavanje na način UI, koji tip stručnog znanja je potreban i tko ga može dati, te odmah počinje pribavljati znanje potrebno za program. Prvi korak pritome jest određivanje važnih aspekata problema. To uključuje jasnu identifikaciju učesnika, problema, izvora i ciljeva.

U fazi oblikovanja organizira se znanje na način koji korespondira s ekspertovom organizacijom rada, pribavlja još znanja i kreira skelet strukture. Ključni se koncepti i odnosi jasno izlažu, čine se eksplicitnim pomoću dijagrama ili neke druge forme.

U fazi izrade prototipa inženjer znanja najprije popunjava detaljne informacije za svaki dio strukture sistema. Zatim piše kontrolne informacije. One su sadržane u pravilima koja određuju poredak po kojem će se slijediti hipoteze i različite linije zaključivanja te omogućavaju sistemu da brže riješi problem. Kontrolna pravila mnogo su složenija od pravila o samoj aplikaciji i teže ih je naučiti korektno koristiti. Za sasvim male sisteme kontrolna pravila nisu potrebna jer ekspertni sistem može jednostavno ispitivati svako pravilo.

Izradu prototipa možemo podijeliti na fazu formalizacije i fazu implementacije. U fazi formalizacije informacije se formalno reprezentiraju pomoću izabranog oruđa inženjerstva znanja. U fazi implementacije stvara se izvodljivi program koji predstavlja prototip ekspertnog sistema. Sada su stvarno popunjene strukture podataka, aktivna pravila zaključivanja i kontrolna strategija. U ovoj fazi nastoji se sistem učiniti prirodnim, tako da dijalog korisnika i programa bude nalik dijalogu među ljudima, s mogućnošću postavljanja pitanja i obrazlaganja akcija.

Faza testiranja uključuje testiranje prototipnog sistema i forme reprezentacije. U fazi testiranja inženjer znanja izaziva sistem pomoću nekoliko testih primjera definiranih od eksperta. Na temelju rezultata rada sistema, u suradnji s ekspertom, ispravljaju se uočene greške, dodaju se nova pravila, novo znanje i izvodi sistem s više testnih primjera. Ponavljajući ove korake dovoljan broj puta, sistem više ne pokazuje greške u radu s testnim primjerima, pa se može isprobati u konkretnom aplikativnom polju, gdje će se pojaviti novi slučajevi i nove greške koje treba ispraviti.

### 3.3. Evaluacija ekspertnih sistema

Evaluacija počinje demonstracijom izvedivosti, nastavlja se formalnim testiranjem, zatim potvrđivanjem u radu s realnim problemima, te završava provođenjem statistike i retrospekcije. Obuhvaća više osobina sistema. To su kvaliteta odluka i savjeta sistema, točnost zaključivanja (bez obzira na to da li je ono provedeno na način kako to rade ljudi), kvaliteta interakcije čovjeka i kompjutera, efikasnost, te odnos cijene i djelovanja sistema. Formalna (strukturna) evaluacija provodi se kada dobijemo povjerenje u dobar rad sistema i steknemo vještinu u korištenju sistema. Provođa se nasumičnim izborom slučajeva, pomoću unaprijed zadanog niza slučajeva koji se nižu preko širokog spektra problema ili (ako je to moguće) iscrpnim isprobavanjem svih mogućih slučajeva.

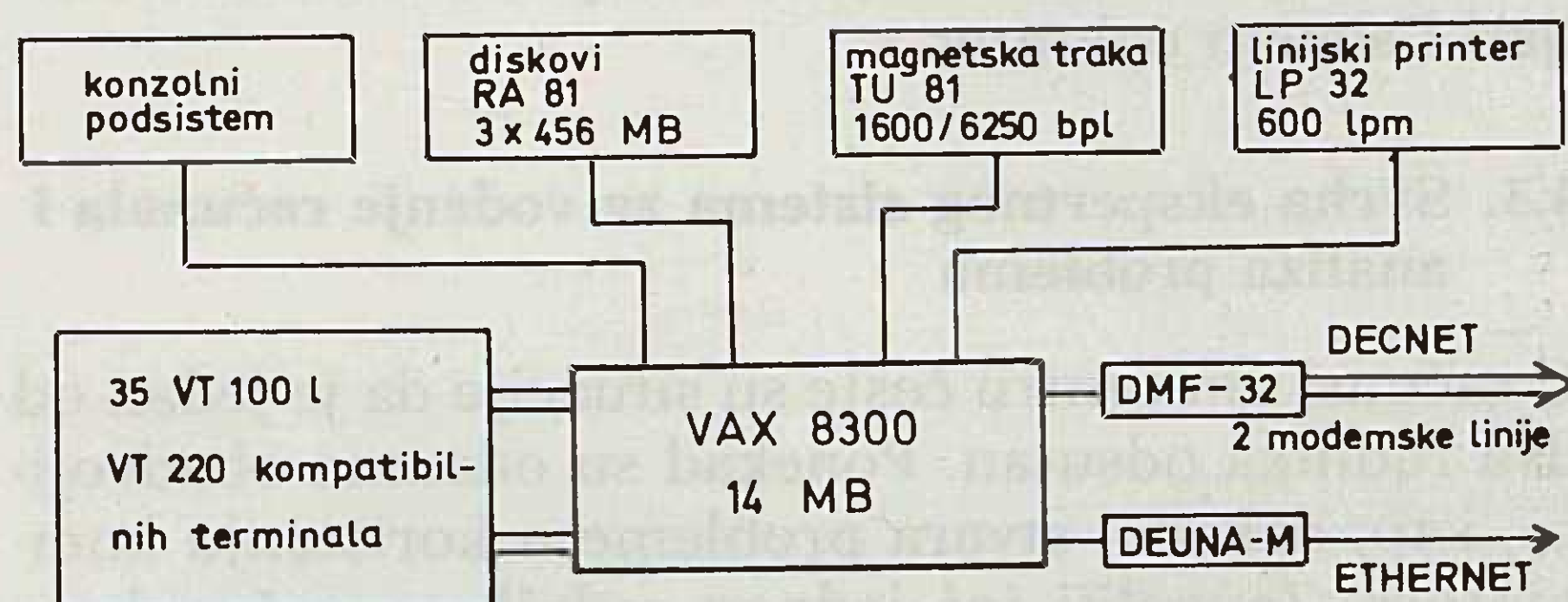
Pri evaluaciji ekspertnih sistema potreban je objektivni standard (»zlatni« standard). To je općenito prihvaćen točan odgovor s kojim se može uspoređivati. Treba definirati i minimalno prihvatljiv standard, iznad kojega ćemo sistem smatrati uspješnim. Naravno, ne smije se pritome biti nerealan. Ako, recimo, u dijagnostici neke bolesti eksperti za to područje donose ispravne dijagnoze u 70 do 80 posto slučajeva, ne možemo očekivati od ekspertnog sistema da pogoda u 90 posto slučajeva.

## 4. EKSPERTNI SISTEM ZA VOĐENJE RAČUNALA

### 4.1. Konfiguracija kompjutorskog sistema VAX 8300 Instituta za elektroprivredu

Kompjutorski sistem VAX 8300 Instituta za elektroprivredu (slika 1) sastoji se od sljedećih komponenata:

- dvoprocesorske centralne jedinice sa 14 MB memorije
- konzolnog podsistema sa 2 jedinice floppy diskova
- 3 disk jedinice kapaciteta po 456 MB
- jedinice magnetske trake (gustoće 1 600/6 250 bpi)
- linijskog štampača brzine 600 lpm.



Slika 1. Kompjutorski sistem VAX 8300

Na kompjuter je priključeno 35 VT 100 i VT 220 kompatibilnih terminala. Kompjuter je opskrbljen sklopovima koji omogućavaju priključivanje na mrežu kompjutera DECNET, te na lokalnu mrežu ETHERNET. VAX 8300 radi pod operativnim sistemom VAX/VMS, koji omogućava jednostavan interaktivni rad korisnika, ali i paketnu obradu. Procesor kompjutera sukcesivno izvodi korisničke procese. Brzom izmjenom procesa u procesoru dobiva se privid istovremenog rada više korisnika na jednom procesoru. Stvarna paralelnost u korištenju računala omogućena je postojanjem dvaju procesora. Ali pritome treba imati na umu da paralelnosti nema za pojedini proces, nego se on izvodi na samo jednom od procesora. Postoji petnaest nivoa prioriteta korištenja procesora. u višekorisničkom radu, te šesnaest nivoa prioriteta za rad u realnom vremenu. Pritome proces s nižim prioritetom koristi procesor puno rjeđe nego proces s višim prioritetom.

### 4.2. Način korištenja sistema VAX 8300 u Institutu

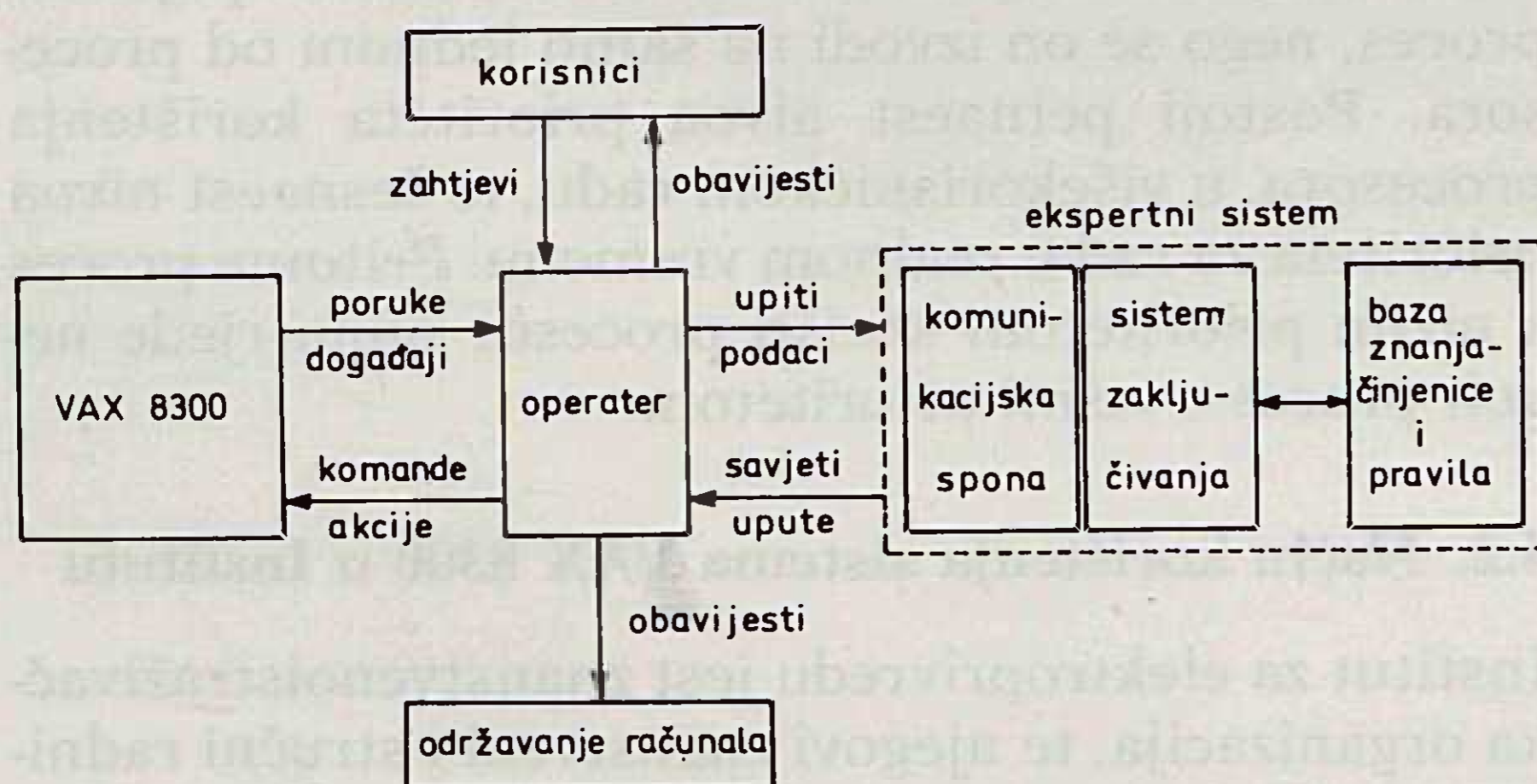
Institut za elektroprivredu jest znanstvenoistraživačka organizacija, te njegovi znanstveni i stručni radnici pretežno rade na poslovima izrade tehnoloških, organizacijskih i ekonomskih studija, investicijskih programa i programa razvoja u oblasti elektroprivrede. U Institutu za elektroprivredu nije formiran klasičan računski centar. Radnici Instituta, a to su po struci uglavnom inženjeri elektrotehnike i stojarstva, imaju veliko iskustvo u radu na kompjutoru. Stoga su oni sposobni da sami projektiraju, organiziraju i programiraju obrade na računalu. Budući da je operativni sistem veoma pogodan za interaktivni rad, te za pisanje komandnih procedura i skraćenica,

oni sami i izvode obrade. Iz svih tih razloga nije trebalo otvarati posebna radna mjesta pojektanata, organizatora i programera te voditelja obrade. Svi korisnici su autorizirani tako da imaju jednak prioritet (to je prioritet 4), s tim da ga je moguće dinamički mijenjati.

U računskom centru rade dva radnika: sistem-operater i sistem inženjer. Sistem operater pali i gasi kompjutorski sistem, poslužuje jedinicu magnetske trake i printer, prati rad sistema, komunicira s korisnicima i prijavljuje kvarove. Sistem inženjer autorizira korisnike, daje im privilegije, određuje kvote i bazne prioritete, te brine o zaštiti datoteka. U slučaju zagušenosti sistema ograničava broj ineraktivnih i paketnih obrada, dinamički mijenja prioritete i kvote. U odsutnosti sistem-inženjera ove poslove može obavljati i sistem operater.

#### 4.3. Svrha ekspertnog sistema za vođenje računala i analiza problema

U računskom centru česte su situacije da je jedan od dva radnika odsutan. Ponekad su odsutna obadvojica, i to, dakako, stvara probleme u korištenju kompjutora. Zaposliti još jednog radnika u računskom centru ne bi bilo ekonomično jer bi njegova pomoć bila potrebna samo povremeno. Budući da mnogi radnici Instituta dobro poznaju rad računala, oni u slučaju potrebe privremeno vode rad na kompjutoru. Ipak, oni nisu dovoljno stručni za te poslove, jer je njihovo znanje orijentirano ponajprije prema korištenju kompjutora. Slanje većeg broja radnika na seminare za vođenje kompjutora i njihovo stalno praktično vježbanje također ne bi bilo ekonomično. Stoga se kao rješenje ovog problema nametnula izrada ekspertnog sistema u kojem bi bilo sadržano znanje sistem inženjera i sistem operatera, te koji bi u njihovoj odsutnosti pomagao privremenom operateru pri vođenju rada kompjutora.



Slika 2. Shema vođenja računala pomoću ekspertnog sistema

Shema vođenja računala (slika 2) bila bi sljedeća: Od računala stižu poruke i značajni događaji, a od korisnika razni zahtjevi. Privremeni operater postavlja upite ekspertnom sistemu i daje potrebne podatke. Od ekspertnog sistema prima savjete i upute, na temelju kojih poduzima potrebne akcije na kompjutoru, izvodi odgovarajuće komande, šalje obavijesti ko-

risnicima i službi za održavnje kompjutora. Jedan od zahtjeva koji se postavljaju na ekspertni sistem jest da sadrži komunikacijsku sponu za dijalog s privremenim operaterom. Drugi zahtjev je da bude nezavisan od sistema VAX, kako bi mogao pomagati i prilikom prekida rada kompjutora VAX. Privremeni operateri moraju biti osposobljeni da, prema pisanoj uputi, uključe i isključe kompjutor, te da znaju osnove engleskog jezika.

Ekspertni sistem za vođenje kompjutora zamišljen je u ulozi konzultantskog sistema. On laiku daje specijalistički savjet, te može biti korišten umjesto specijalista. Pritome privremeni operater nije obavezan postupiti po savjetu ekspertnog sistema, nego se ponaša u skladu s (možda nepredviđenim) okolnostima i po svojoj vlastitoj procjeni. Sistem je po funkciji dijagnostički i kontrolni sistem.

Pri analizi problema trebalo je najprije odrediti učesnike i njihove uloge. Sistem inženjer se pojavio u dvije uloge: kao inženjer znanja i kao ekspert za dio promatranog područja. On je još trebao komunicirati sa sistem operaterom, kao stručnjakom za drugi dio područja od interesa. Inženjer znanja je bio dobro upoznat s domenom. Ipak, iako je izgledalo da će pri ovakvim ulogama učesnika akvizicija znanja biti jednostavna, pojavilo se dosta problema. Pokazalo se da operater i sistem-inženjer često nisu svjesni što ustvari rade u pojedinim situacijama, te se prilikom isprobavanja rada sistema vidjelo da treba poduzeti nešto drugo negoli što je zapisano.

Resursi su potrebni za prihvaćanje znanja, implementaciju i testiranje sistema. Tipični resursi su izvori znanja, vrijeme, kompjutorske mogućnosti i sredstva. Za izradu ekspertnog sistema bili su na raspolaganju sljedeći izvori informacija:

- razgovori sa sistem operaterom
- osobno sistem inženjersko znanje kreatora sistema
- priručnici za korištenje strojne i programske opreme
- tehničke upute s popisom mogućih grešaka
- zapisnici o servisu strojne i programske opreme kompjutora
- konzolne liste (za vrijeme od 1.5 godine rada računala).

Od kompjutorskih izvora na raspolaganju su bili računalo VAX 8300, te nekoliko modela IBM PC kompatibilnih računala s instaliranim većim brojem programskih jezika, uključujući PROLOG i KNOWOL.

#### 4.4. Oblikovanje ekspertnog sistema

U fazi oblikovanja konceptualiziran je ekspertni sistem i zamišljena njegova struktura. Pomoću teksta i shema zabilježeno je što i kako bi trebao raditi. Da bi izrada ekspertnog sistema i njegovo održavanje bili jednostavniji, a performanse bolje, on je oblikovan u četiri dijela. To su:

- prekidi napajanja
- padovi sistema
- greške u radu
- propterećenost sistema.

Ekspertni sistem traži od privremenog operatera da odredi iz kojeg područja je problem za koji se traži savjet, pri čemu je to operateru sasvim očito.

Iznenadni prekid napajanja znači i nasilni prekid rada kompjutora. Pritome može doći do oštećenja strojne i programske opreme, te gubitka korisničkih datoteka. Stoga ovakav nasilni prekid rada treba što više izbjegavati. Ekspertni sistem postavlja upite o broju dotadašnjih prekida struje i vremenu proteklom od dolaska struje. Na osnovu tih podataka, a prema ugrađenim pravilima (usvojenim na temelju višegodišnjeg iskustva), daje savjet da se uključi kompjutor, da se uključi za određeni broj minuta ili da se čeka do sutra.

Padovi kompjutorskog sistema redovito se događaju bez izvještaja o razlogu pada. U toku vremena usvojena su pravila koja kažu dokad se smije ponovno podizati sistem, ovisno o broju padova i razmaku među njima, te što treba dodatno poduzeti (backup sistema, prijava kvara, obavijesti korisnicima).

Greške u radu podijeljene su na greške u radu jedinice magnetske trake, greške u radu linijskog štampača, te općenito greške u radu kompjutorskog sistema. Ekspertni sistem pita operatera koja je vrsta greške, pri čemu je operateru ova pripadnost očita. Jedinica magnetske trake ima svoj vlastiti kontrolni panel, na kojem se pri pojavi greške iskazuje kôd greške. Ekspertni sistem pita operatera koji je kôd greške prikazan na kontrolnom panelu. Zadatak ekspertnog sistema je da riječima iskaže koja je to greška, da odredi vjerojatne uzroke greške i preporučiti odgovarajuće akcije.

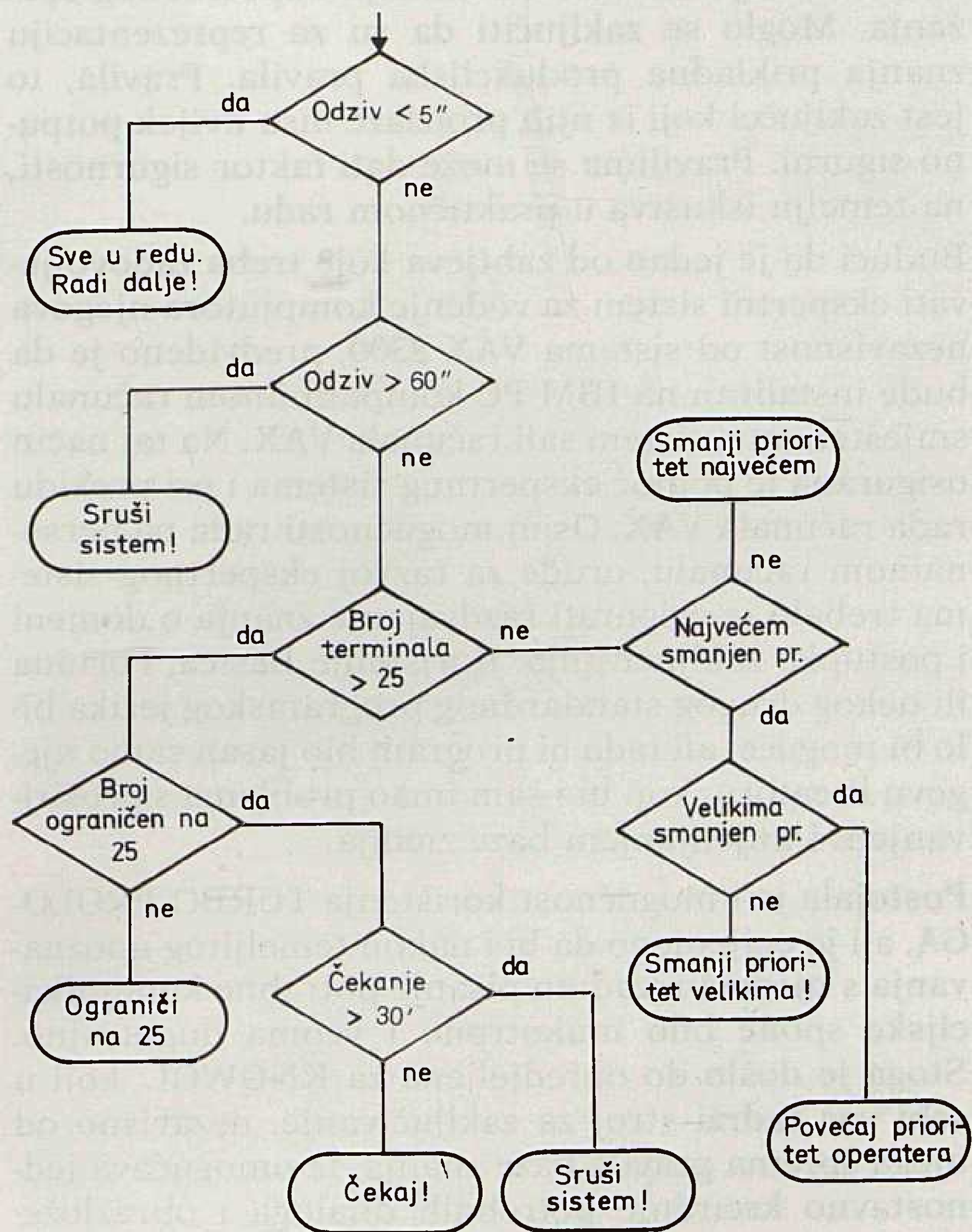
Pri prekidu rada linijskog štampača operativni sistem ne daje dijagnostiku greške, nego samo poruku na konzolu da je **PRINTER OFF LINE**. Kôd greške pojavljuje se na kontrolnom panelu štampača. Zadatak ekspertnog sistema je da odredi što se dogodilo i preporučiti odgovarajuću akciju. Pritome je dijagnostika ekspertnog sistema ograničena samo na one greške koje se pri načinu rada u Institutu stvarno mogu pojaviti. Naprimjer, ne razmatraju se greške pri korištenju papirne trake za kontrolu skoka štampača jer se papirna traka uopće ne koristi u Institutu.

Greške u radu kompjutorskog sistema općenito se iskazuju preko konzole. Osim kôda greške, daje se i kratak tekstualni opis na engleskom jeziku. Ti opisi su često šturi i najasniji. Zadatak ekspertnog sistema je da bolje opiše manifestaciju greške, lokalizira grešku, odredi njezino značenje i savjetuje što da se poduzme.

Greške se dijele na greške u korištenju računala od korisnika, na strojne (hardverske) i programske (softverske) te ekspertni sistem najprije treba odrediti vrstu greške. U slučaju nepravilnog korištenja računala ekspertni sistem preporučuje pravilan način rada. Sljedeći korak je određivanje koja je strojna ili programska komponenta neispravna i zbog čega, kako bi se mogla izvršiti točna prijava službi održavanja. Nakon procjene značaja greške (vezano s frekvencijom pojavljivanja greške) ekspertni sistem sugerira da li se smije nastaviti s radom, i, ako se smije, treba

li poduzeti neke akcije i koje (isključivanje pojedinih komponenti kompjutorskog sistema, prijava službi održavanja i drugo).

U slučaju preopterećenosti sistema (slika 3) ekspertni sistem najprije pita operatera koliki je odziv (vrijeme koje protekne od pritiska na tipku RETURN do pojave prompta računala). Ako je odziv do 5 sekundi, smatra se da sistem nije zagušen i da treba normalno raditi dalje. Ako je odziv veći od 60 sekundi, tada se ne radi o preopterećenosti sistema. Tako dugo čekanje uvijek je uzrokovano nekom greškom u radu sistemskog softvera ili hardvera. Stoga se ova situacija treba shvatiti kao pad sistema, te srušiti i ponovno podići sistem. Ako se stvarno radi o zagušenju sistema, treba imati na umu da je računalo VAX 8300 po procjenama u Institutu za elektroprivredu (potvrđenih iskustvom) sposobno procesirati do 25 istovremenih interaktivnih procesa. Broj terminala u Institutu je 35, ali ih je najčešće aktivna samo polovina. Ako se dogodi da su aktivni gotovo svi terminali, dolazi do preopterećenosti. Tada ekspertni sistem savjetuje ograničavanje broja interaktivnih procesa na 25, naredbom **SET LOGINS/INTER=25**, uz slanje poruke korisnicima da prekinu rad ako ne rade vrlo hitan posao. Naredbom **SET LOGINS** sprečava se uključivanje novih korisnika, ali se ne abortiraju već aktivni procesi. Stoga je preporuka ekspertnog sistema privremenom operateru da nakon naredbe **SET LOGINS** čeka 30 minuta. Ako se broj interaktivnih procesa ne smanji, treba srušiti sistem i ponovo



Slika 3. Logička shema rada ekspertnog sistema u slučaju preopterećenosti kompjutora

ga podići, ali sada uz naredbu SET LOGINS/INTER = 25.

Ako je sistem preopterećen i nakon smanjivanja broja interaktivnih procesa, preporučuje se operateru da pogleda naredbom MONITOR koji proces najviše zauzima procesor («najveći» proces). Tom procesu treba smanjiti prioritet na 1 (najniži prioritet), kako ne bi smetao ostalim procesima. Ako ni to ne pomogne treba smanjiti prioritet svim procesima koji zauzimaju procesor preko 30% («veliki» procesi). (Trebalo imati na umu da je VAX 8300 dvoprocesorski sistem.) Budući da je rad korisnika već i prije bio spor, oni kojima je smanjen prioritet radit će sada još i sporije. Zato treba predložiti korisnicima da rade u BATCH-načinu rada. Ako sistem i dalje bude preopterećen, a korisnici se ne žele ni isključiti ni prijeći u BATCH-način rada, tu se ne može više mnogo učiniti. Zato je zadnji prijedlog privremenom operateru da svom procesu poveća prioritet na 10 (on ima privilegiju za to) te da nastavi rad i promatra ponašanje sistema.

#### 4.5. Izrada prototipa

U toku faze oblikovanja postalo je jasno sljedeće: Prostor hipoteza (mogućih rješenja) je konačan. U proces zaključivanja nisu uključeni analitički i statistički modeli, nego je znanje dano na temelju iskustva, to jest »iz ruke«. Veze među podacima su uzročne, a nekad i korelacijske (s različitim faktorom korelacije). Za podatke se može pretpostaviti da su pouzdani i točni jer su dani na temelju neposrednog opažanja. Moglo se zaključiti da su za reprezentaciju znanja prikladna produkcijska pravila. Pravila, to jest zaključci koji iz njih proizlaze nisu uvijek potpuno sigurni. Pravilima se može dati faktor sigurnosti, na temelju iskustva u praktičnom radu.

Budući da je jedan od zahtjeva koje treba zadovoljavati ekspertni sistem za vođenje kompjutera njegova nezavisnost od sistema VAX 8300, predviđeno je da bude instaliran na IBM PC kompatibilnom računalu smještenom u sistem sali računala VAX. Na taj način osigurana je pomoć ekspertnog sistema i pri prekidu rada računala VAX. Osim mogućnosti rada na personalnom računalu, oruđe za razvoj ekspertnog sistema trebalo je osigurati razdvajanje znanja o domeni i postupka zaključivanja. Korištenje Basica, Fortana ili nekog drugog standardnog programskog jezika bilo bi moguće, ali tada bi program bio jasan samo njegovu kreatoru, koji bi i sam imao problema s proširivanjem i mijenjanjem baze znanja.

Postojala je i mogućnost korištenja TURBO PROLOGA, ali je ocijenjeno da bi i nakon temeljitog upoznavanja s njegovim radom pisanje potrebne komunikacijske sponse bilo mukotrpno i veoma dugotrajno. Stoga je došlo do opredjeljenja za KNOWOL, koji u sebi već sadrži stroj za zaključivanje, nezavisno od njega sprema pravila baze znanja, te omogućava jednostavno kreiranje potrebnih dijaloga i obrazloženja. Nakon izbora oruđa za izradu ekspertnog sistema počelo je pisanje prije opisanih i shematiziranih specifikacija u formi pravila jezika KNOWOL.

U fazi implementacije te su se specifikacije editirale (unosile u računalo) kako bi se dobio izvodljiv program, to jest prototip sistema. Također su pisani i dijalozi korisnika i sistema, vodeći brigu o tome koji je tip korisnika sistema. Na kraju su pisane i kontrolne informacije, to jest pravila su rangirana redoslijedom razmatranja.

U fazi implementacije ekspertnom sistemu za vođenje kompjutera dano je ime OPERASS (OPERaterov ASiStent). Ekspertni sistem OPERASS ima zadan cilj; to je odgovor na postavljeno pitanje. Stoga se pravila procesiraju nizanjem unazad. Pravila se redom pretražuju dok se ne nađe pravilo koje kao posljednicu daje cilj, to jest odgovor. Pošto je cilj zadovoljen ako vrijede neke pretpostavke, pokušava se odrediti istinitost tih pretpostavki. Ako je neka od pretpostavki nepoznata, ona se postavlja kao potcilj i traže se pravila koja zadovoljavaju taj potcilj. Kada nema dovoljno informacija za donošenje zaključka, traže se dodatne informacije od korisnika ekspertnog sistema postavljanjem dodatnih pitanja.

Kada ekspertni sistem postavi neko pitanje, možemo saznati zašto ga je postavio pritiskom na funkcijsku tipku WHY na tastaturi. Tada se na ekranu pojavi pravilo koje se procesira, te je generiralo pitanje.

Uzastopnim pritiskom funkcijske tipke WHY pojavljuju se sva pravila u logičkom lancu koji vodi do cilja. Budući da je mehanizam obrade pravila nizanjem unazad, od cilja prema potciljevima, logički lanac pravila ide unaprijed, prema cilju.

Da bi se pravila učinila što neovisnijima jedno o drugom i očuvala jednostavnost baze pravila, rangiranje se gotovo i nije koristilo. Pravila dakle imaju prioritet 0, i obrađuju se prema rastućem redoslijedu rednih brojeva. Izuzetak je napravljen da bi se spriječilo nepotrebno (a dugotrajno) pretraživanje baze pravila u slučaju nemogućeg izbora područja rada. Ekspertni sistem je podijeljen na četiri područja, numerirana brojevima od 1 do 4. Ako operater na upit sistema o području rada upiše broj manji od jedan, ili veći od četiri, dobiva odgovor da je načinio pogrešan izbor.

To pravilo rangirano je rangom 3, pretražuje se najprije i u slučaju greške odmah dovodi do cilja, to jest odgovara bez suvišnog pretraživanja baze pravila.

Ekspertni sistem se nastojao učiniti što lakšim za korištenje. Stoga su pitanja koje postavlja ekspertni sistem pisana u govornom jeziku kako bi bila što potpunija i jasnija. S druge strane, nastojalo se postići da privremeni operater mora pisati što manje pri svojim odgovorima. Zato su odgovori brojčani umjesto tekstualni, a kod logičkih atributa se vrijednost zadaje pomoću tipki YES, NO i UNKNOWN.

Pri definiranju pravila rezultatima se može dodijeliti određena vjerojatnost. Ako dođe do rezultata s vjerojatnošću manjom od 100%, ekspertni sistem će i dalje pretraživati bazu znanja da bi došao i do drugih rezultata. Kada nađe na rezultat s vjerojatnošću 100%, ekspertni sistem prekida pretraživanje pravila.



#### 4.6. Testiranje

Ekspertni sistem OPERASS testiran je usporedo s njegovim oblikovanjem i izradom. Osim funkcijske tipke WHY korištena je i opcija Trace Flag koja omogućava da se na ekranu prikazuju pravila koja su procesirana, vrijednosti atributa u tim pravilima i zaključci do kojih je ekspertni sistem došao. Povremeno je ispisivan i izvještaj o tome kako je ekspertni sistem došao do cilja.

Pri testiranju trebalo je najprije postići sigurnost da su pravila formalno i logički dobro zapisana, te da stvarno znače ono što je inženjer znanja htio zapisati. Tu fazu testiranja provodi sam inženjer znanja. U drugoj fazi trebalo je provjeriti da li je inženjer znanja dobro zamislio pravila, te da li ona daju ispravna rješenja pri stvarnoj upotrebi. U ovoj fazi sudjelovali su inženjer znanja i sistem operater. Uočene greške u radu prototipa putokaz su u daljem oblikovanju sistema i njegovoj izgradnji. Proširivanjem sistema, testiranjem i ispravljanjem te ponovnim proširivanjem sistem je postigao predviđen opseg.

Testiranje je u početku bilo pomoću primjera, a kasnije je provedeno iscrpno testiranje svih pravila, sa svim mogućim ulaznim podacima. To je bilo moguće jer su bili unaprijed poznati i određeni svi slučajevi koji se mogu pojaviti. Testiranje je imalo za cilj da se poboljšaju pitanja, kako bi se došlo do odgovarajućih podataka. Osim ispravaka netočnih i nepotpunih pravila, trebalo je upisati i nedostajuća. Testiranje ekspertnog sistema praktično se nikada ne završava, nego se na temelju praktičnog iskustva on stalno poboljšava. Kao i kod čovjeka, povremeno će se događati greške. »Program je gotov kada nema grešaka, ekspert je gotov kada je mrtav!« (John McDermott, autor sistema XCON).

#### 4.7. Evaluacija ekspertnog sistema OPERASS

U ekspertnom sistemu OPERASS postignute su neke od željenih osobina ekspertnih sistema. Razdvojena je baza znanja od mehanizma koji je koristi. Sistem rukuje simbolima i zaključuje o sebi samom te daje prikladna obrazloženja. Ostvareno je i reprezentiranje raznih tipova znanja. Heurističko znanje dano je pomoću pravila. Svi upisani podaci, odnosno vrijednosti varijabli pamte se u radnoj memoriji (bazi podataka). Metaznanje, to jest način razmatranja pravila, reprezentirano je u bazi znanja, ali mora se reći na jedan nasilan, izvana određen način. Naime, poređak u kojem se razmatraju pravila ne određuje sam sistem, nego je rangiranje pravila proveo inženjer znanja. Brzina rada ovisi o računalu koje se koristi. Prosječno vrijeme za dobivanje odgovora na upit iznosi oko 2.5 minute za IBM XT kompatibilno računalo, a 1.5 minutu za AT kompatibilno računalo.

Sistem OPERASS nema sve dijelove idealnog ekspertnog sistema. Umjesto procesora prirodnog jezika ima mogućnost definiranja pitanja u prirodnom jeziku, a odgovori moraju biti lakonski (brojevi ili logički atributi). Sistem ima radnu memoriju, bazu znanja, interpretor pravila. Modul za kontrolu redoslijeda postupa isključivo na način što ga e definirao in-

ženjer znanja, a modul za obrazlaganje ne radi posve interaktivno. (Naime, izvještaj o analizi rezultata moguće je vidjeti samo naknadno, ispisan na printeru.)

»Zlatni« standard utvrdio je sam kreator sistema, ali nije utvrdio minimalni standard, odnosno nivo uspješnosti rada kada će se sistem smatrati uspješnim, jer ne raspolaže podacima o nivou uspješnosti stručnjaka.

Jedan od najvažnijih činilaca kvalitete ekspertnog sistema jest interakcija korisnika i sistema. Kvaliteta dijaloga, kao prvo, osigurava ispravno i potpuno prihvaćanje podataka, te davanje prikladnih zaključaka. Kao drugo, treba promatrati i sam način dijaloga, to jest njegovu prihvatljivost za korisnike. Korisnici sistema su radnici već priučeni na korištenje personalnih računala, te su paneli, menui i dijalozi sistema OPERASS ocijenjeni prikladnim za njihovu komunikaciju sa sistemom.

Evaluacija sistema provedena je u svim fazama razvoja. Najprije je trebalo pokazati izvedivost, a zatim provesti formalno testiranje. Sistem se tek treba potvrditi u stvarnom radu, te nije provedena statistika i retrospekcija rada.

#### 5. ZAKLJUČAK

Suvremena znanost ostvarila je značajan razvoj u području umjetne inteligencije. Pritome su se naročito korisni u raznim područjima ljudske aktivnosti pokazali ekspertni sistemi. Ekspertni sistemi sadrže znanje, i to prije svega iskustveno, heurističko znanje čovjeka, eksperta za neko područje, te se mogu koristiti i kada je ekspert odsutan.

U ovome radu dan je primjer takvog sistema. To je ekspertni sistem za vođenje računala — OPERASS. On je izrađen za potrebe vođenja kompjuterskog sistema VAX 8300 u Institutu za elektroprivredu u Zagrebu. U odsutnosti stručnih radnika može pomoći privremenom operateru pri vođenju kompjuterskog sistema, i to u slučaju prekida napajanja, padova sistema, grešaka u radu i preopterećenosti sistema. Sistem je po ulozi konzultantski, a po funkciji dijagnostički i kontrolni sistem. Izrađen je uz pomoć jezika KNOWOL, a znanje je reprezentirano pomoću produkcijskih pravila. Instaliran je na IBM/PC kompatibilnom računalu. Sposoban je obrazlagati pitanja i odgovore.

Ekspertni sistem OPERASS izrađen je na osnovi znanja o osnovnim konceptima umjetne inteligencije i reprezentacije znanja, te na osnovi znanja o građi i izradi ekspertnih sistema.

Svrha ovog ekspertnog sistema jest održavanje broja zaposlenih u računskom centru na minimumu, te edukacija ljudi koji povremeno vode rad kompjuterskog sistema.

Iako je napravljen za potrebe vođenja računala Instituta za elektroprivredu u Zagrebu, ekspertni sistem OPERASS se uz manje preinake može koristiti i na drugim srodnim računalima. To naročito vrijedi za računala elektroprivrednih organizacija Hrvatske jer

su istog tipa, imaju isti operativni sistem i koriste se na sličan način kao i računalo Instituta za elektroprivredu.

## LITERATURA

- [1] ARNOLD W., BOWIE J., »Artificial Intelligence: A Personal, Commonsense Journey«, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1986.
- [2] BONNET A., »Artificial Intelligence: Promise And Performance«, Prentice-Hall International, London, 1985.
- [3] BRATKO I., »Prolog Programming«, Addison-Wesley, Wokingham, England, 1986.
- [4] COOMBS M., »Development in expert systems«, Academic Press, London, 1984.
- [5] GALE A., »Artificial Intelligence and Statistics«, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1986.
- [6] GEVARTER W., »Intelligent Machines«, Prentice-Hall International, Englewood Cliffs, New Jersey, 1985.
- [7] \* \* \* Turbo Prolog, Borland International, Scotts Valley, 1986.
- [8] \* \* \* Intelligent Decision Support in Process Environments, Springer-Verlag, Berlin, 1986.
- [9] \* \* \* Methodologies for Intelligent Systems, Elsevier Science Publishers, 1987.
- [10] HAYES-ROTH F., »Building Expert Systems«, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 1983.
- [11] JACKSON P., »Introduction to Expert Systems«, Addison-Wesley, Wokingham, England, 1986.
- [12] JAKŠIĆ P., »Ekspertni sistem za vodenje rada kompjuterskog sistema«, magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1989.
- [13] KOWALIK J., »Knowledge Based Problem Solving«, Prentice-Hall International, Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.
- [14] MILLER P., »A Critiquing Approach To Expert Computer Advice: Attending«, Pitman Publishing, London, 1984.
- [15] NAYLOR C., »Build Your Own Expert System«, Sigma Press, Wilmslow, England, 1987.
- [16] NEBENDAHL D., »Expert systems«, Siemens Aktiengesellschaft, Berlin, 1988.
- [17] RADOVAN M., »Programiranje u PROLOGu«, Informator, Zagreb, 1987.
- [18] RAUCH-HINDIN W., »Artificial Intelligence In Business, Science And Industry Volume I: Fundamentals«, Prentice-Hall International, Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.
- [19] RAUCH-HINDIN W., »Artificial Intelligence In Business, Science And Industry Volume I: Applications«, Prentice-Hall International, Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.
- [20] WILLIAMSON M., »Artificial Intelligence for Microcomputers«, Brady Communications Company, New York, 1986.

### AN EXAMPLE OF EXPERT SYSTEM APPLICATION FOR THE CONTROL OF COMPUTER SYSTEM IN »INSTITUT ZA ELEKTROPRIVREDU«

In the article are defined expert systems with characteristics and instructions for application. It is presented the expert system OPERASS that is designed for control of computer VAX 8300 and it is evaluated for application in »Institut za elektroprivredu« and other electric power utilities in SR Croatia.

### BEISPIEL DER VERWIRKLICHUNG EINES EXPERTSYSTEMS BEI DER LÖSUNG EINES PRAKTISCHEN SYSTEMS — LEITUNG DER RECHENANLAGE DES INSTITUTS FÜR ELEKTROWIRTSCHAFT ZAGREB

Hier werden Expertensysteme definiert. Seine Charakteristiken und die Art der Ausführung werden beschrieben. Man gibt eine Schilderung des Expertensystems OPERASS das für die Bedürfnisse des Rechners VAX 8300 ausgearbeitet wurde.

### ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ ОДНОЙ ИЗ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ПРИ РЕШЕНИИ ПРАКТИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ — УПРАВЛЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНОЙ ИНСТИТУТА ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВА, г. ЗАГРЕБ

Уточняются экспертные системы. Излагаются их характеристики и способ выработки. Дано описание экспертной системы OPERASS выработанной для управления вычислительной машиной VAX 8300, и рассматривается возможность ее применения в Институте электрохозяйства и других электрохозяйственных организациях Хорватии.

Naslov pisca:

**Mr. Petar Jakšić, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb, Proleterskih b. 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis  
 1989 – 09 – 04

# VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

## ELEKTROENERGETSKA BILANCA JUGOSLAVENSKE ELEKTROPRIVREDE ZA 1990.

Skupština Zajednice jugoslavenske elektroprivrede na sjednici od 24. studenog 1989. utvrdila je elektroenergetsku bilancu jugoslavenske elektroprivrede za 1990. godinu, sa sljedećim karakterističnim veličinama.

Ukupno planirana brutoproizvodnja električne energije u SFR Jugoslaviji iznosi 87,6 milijardi kWh, a ukupno je planirana brutopotrošnja 87,0 milijardi kWh.

Međusobna razmjena električne energije po osnovi dugoročnih ugovora iznosi 14,0 milijardi kWh. Taj opseg razmjene povećavat će se kroz dodatno međusobno dogovaranje između elektroprivreda republike i autonomnih pokrajina. Za realizaciju Elektroenergetske bilance jugoslavenske elektroprivrede utvrđene su sljedeće potrebe goriva:

- 68,9 milijuna tona ugljena, od čega se oko 3 posto odnosi na potrebe toplifikacije, proizvodnju industrijske pare i dr.
- 806,6 tisuća tona tekućeg goriva, od čega 616,6 tisuća tona za proizvodnju električne energije i 190 tisuća za potpalu održavanja vatre u kotlovima termoelektranama na ugljen
- 735 milijuna Nm<sup>3</sup> prirodnog plina i 80 milijuna Nm<sup>3</sup> koksnog plina za TE Rijeka i
- 16 tona obogaćenog urana UD za izmjenu 1/3 gorivih elemenata u NE Krško.

I. R.

## ELEKTROENERGETSKA BILANCA ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE ZA 1990. GODINU

Skupština Republičke samoupravne interesne zajednice potrošača električne energije i Skupština Zajednice elektroprivrednih organizacija Hrvatske donijele su na sjednici od 21. prosinca 1989. odluku o usvajanju Elektroenergetske bilance za 1990. godinu.

Elektroenergetska bilanca Hrvatske za 1990. godinu izrađena je na osnovi važećih propisa, samoupravnih sporazuma i nove »Metodologije za izradu elektroenergetske bilance« što ga je usvojila Skupština ZEOH-a i RSIZ-a potrošača 29. lipnja 1989.

### 1. Plan potreba električne energije

Plan potreba električne energije sadrži potrebe na mreži prijenosa radnih organizacija distribucije, potrebe direktnih i specijalnih potrošača, gubitke električne energije u prijenosnoj mreži te isporuke električne energije u inozemstvo (Italija) u iznosu od 180 GWh, kojom se ZEOH zadužila u 1989. godini.

Potrebe električne energije	1990.	
	Plan	GWh
potrebe potrošača distribucije	11770,0	
potrebe direktnih potrošača	1156,0	
potrebe specijalnih potrošača	1940,0	
gubici u prijenosnoj mreži	528,0	
<b>Ukupne potrebe potrošača</b>	<b>15394,0</b>	

Vraćanje duga Italiji iz 1989. godine	180,0
<b>Sveukupne potrebe</b>	<b>15574,0</b>

Ukupne potrebe električne energije i odnos prema ostvarenoj potrošnji u proteklim godinama

ostvareno 1987.	14770,1 GWh	porast 87/86	2,1 posto
ostvareno 1988.	14912,1 GWh	porast 88/87	0,76 posto
procjena ostvarenja 1989. godine	15117,0 GWh	porast 89/88	1,37 posto
<b>Plan za 1990.</b>	<b>15394,0 GWh</b>	<b>porast 90/89</b>	<b>1,83 posto</b>

### 1.1. Plan potreba električne energije za potrošače distribucije

Godišnje potrebe električne energije potrošača distribucije planiraju se u iznosu koji odgovara potrošnji u prethodnoj godini uvećanoj za prosječno ostvarenu stopu rasta u posljednje tri godine.

Za 1990. godinu planiran potrošak distribucije iznosi 11770,0 GWh, a to je u odnosu na 1989. godinu porast 1,75 posto. Osim iz mreže prijenosa radne organizacije distribucije opskrbljuju se električnom energijom i iz vlastitih elektran (distributivne elektrane) i nabavom od industrijskih elektran. U 1990. godini planira se:

proizvodnja u distributivnim elektranama	68,0 GWh
preuzimanje od industrijskih elektran	2,7 GWh
<b>Ukupno</b>	<b>70,7 GWh</b>

### 1.2. Plan potreba električne energije za direktne i specijalne potrošače

Planiranje potreba električne energije za direktne i specijalne potrošače obavlja se na temelju prijave samih potrošača. Te prijave trebaju biti usklađene s izdanim elektroenergetskim suglasnostima. Plan direktnih i specijalnih potrošača za 1990. godinu ukupno iznosi 3 096,0 GWh, što je u odnosu prema 1989. godini više za 2,18 posto. Realno planiranje potrošnje direktnih i specijalnih potrošača, a s time prava i obaveze kako potrošača, tako i isporučioaca, trebaju biti regulirane godišnjim ugovorima.

### 1.3. Gubici električne energije u prijenosnoj mreži

Prema kriteriju utvrđenim SAS-om o zajedničkom radu u jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu gubici električne energije u prijenosnoj mreži planiraju se u odnosu na planirani prijenos električne energije u mreži u istom postotku koji je ostvaren u prethodnoj godini.

Procjene ostvarenja u 1989. godini			
Ukupni prijenos	Gubici	ili	2,90 ukupnog prijenosa
17 897 GWh	519,0 GWh		
Plan za 1990.			
Ukupni prijenos	Gubici	ili	2,90 ukupnog prijenosa
18 207,0 GWh	528,0 GWh		

## 2. Plan raspoložive električne energije

Potrebe potrošača za električnom energijom podmiruje se proizvodnjom hidroelektrana, proizvodnjom termoelektrana, te isporukama električne energije iz termoelektrana izgrađenih u drugim republikama na temelju ugovora i aneksa o dugoročnoj suradnji i izgradnji elektroenergetskih objekata.

Elektroenergetski sustav Hrvatske raspolagat će u 1990. godini sa snagom na pragu od 3977 MW u proizvodnim kapacitetima.

### 2.1. Plan proizvodnje hidroelektrana

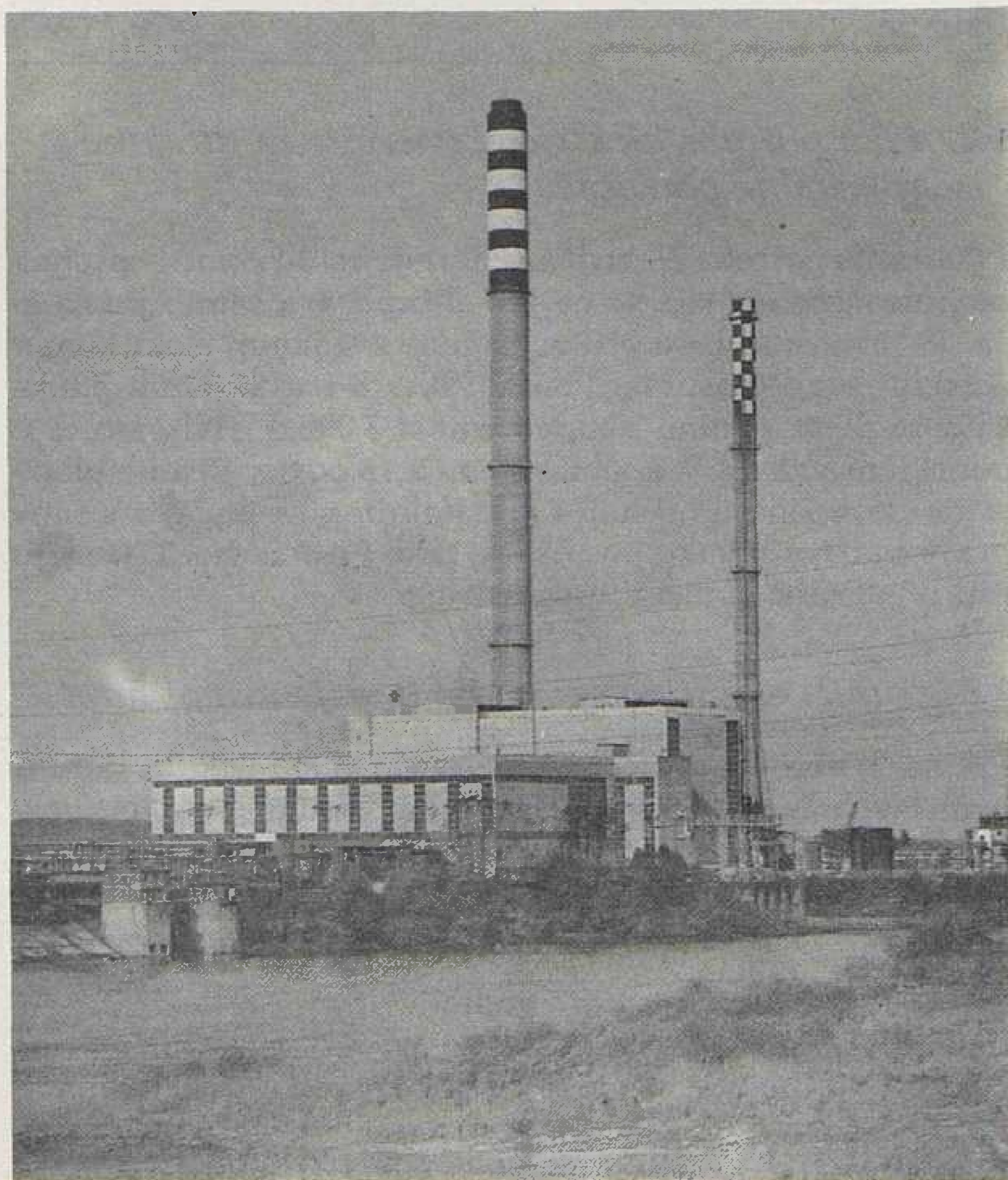
Prema kriteriju utvrđenim SAS-om o zajedničkom radu u jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu proizvodnja hidroelektrana planira se na osnovi ostvarenih mjesečnih dotoka u hidrološkom nizu od 40 godina (1926 – 1965. godine).

U 1990. godini ne ulazi u pogon nijedna novoizgrađena hidroelektrana. Planirana proizvodnja hidroelektrana u 1990. godini pri prosječnim mjesečnim dotocima iznosi 5 692,0 GWh (protočne hidroelektrane proizvode 1 539,0 GWh, a akumulacijske 4 153,0 GWh).

### 2.2. Plan proizvodnje termoelektrana

Prema Samoupravnom sporazumu o zajedničkom radu u jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu godišnja proizvodnja električne energije u termoelektranama i termoelektranama-toplanama može se planirati do 78 posto vrijednosti koja se dobije množenjem raspoložive snage elektrane na pragu s brojem sati u godini umanjnim za broj sati planiranog remonta.

Godišnja proizvodnja električne energije u nuklearnoj elektrani planira se u skladu s raspoloživim gorivom, odnosno



Termoelektrana Sisak

do zadovoljenja planiranih potreba, a najviše do 6 500 sati godišnjeg iskorištenja raspoložive snage.

U 1990. godini ne ulazi u pogon nijedan novoizgrađeni kapacitet u termoelektranama.

Planirana ukupna proizvodnja termoelektrana za 1990. godinu iznosi 5 135 GWh. Proizvodnja TE Plomin planirana je sa svega 3 290 sati rada zbog sadašnjeg stanja cijevnog sistema kotla koje ne pruža garanciju za pouzdan pogon termoelektrane, odnosno za planiranje njezina rada u skladu s kriterijem.

Proizvodnja NE Krško planirana je prema kriteriju.

Zbog očekivanih poteškoća u osiguranju dovoljnih količina tekućeg goriva za termoelektrane, proizvodnja TE Rijeka i TE Sisak je planirana u sklopu realno ostvarenih količina tekućeg goriva.

Toplane su bilancirane za proizvodnju električne energije samo u vrijeme ogrjevne sezone u protutlačnom režimu, a njihovo stvarno angažiranje ostvarivat će se prema redosljedju troškova, odnosno optimumu troškova u elektroenergetskom sustavu.

Plinske elektrane (KTE Jertovec i PTE Osijek) nisu predviđene u planu proizvodnje termoelektrana za 1990. godinu zbog visokih troškova proizvodnje. Budući da su plinske elektrane interventnog karaktera, njihov ulazak u pogon ostvarit će se samo u slučaju većih poremećaja u elektroenergetskom sustavu. Ako se za rad osiguraju dovoljne količine plina, njihovo angažiranje ovisit će o troškovima njihove proizvodnje.

### 2.3. Plan preuzimanja električne energije iz termoelektrana izgrađenih u drugim republikama

Plan preuzimanja električne energije iz termoelektrana izgrađenih u drugim republikama za 1990. 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 G I	182	988,0
TE Kakanj G II	46	276,0
TE Gacko G IV	83/92	521,0
TE Obrenovac G II	280,0	1 680,0
Ukupno	591/600	3 465,0

U TE Gacko u prvoj polovini studenog 1989. završena je rekonstrukcija kotla, nakon čega je započelo normativno ispitivanje i podešavanje kotla i opreme vezane za rad kotla koje će prema predviđanjima, trajati do kraja travnja 1990. godine.

Zbog toga je u prva četiri mjeseca 1990. godine raspoloživa snaga na pragu TE Gacko planirana u iznosu od 248 MW (za Hrvatsku 83 MW). Nakon predviđenih ispitivanja od svibnja do kraja 1990. godine TE Gacko je planirana s raspoloživom snagom na pragu od 276 MW, odnosno sa 92 MW za Hrvatsku.

Isporuke električne energije utvrđene su prema Samoupravnom sporazumu o zajedničkom radu u jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu, za TE Tuzla kao apsolutno garantirane isporuke (G I), za TE Kakanj i TE Obrenovac kao isporuke uz garanciju sistema (G II) te za TE Gacko vezane su za pogonsko stanje elektrane (G IV).

### 3. Potrebe goriva za proizvodnju termoelektrana i toplana

Kao pogonsko gorivo u termoelektranama koristi se:

Ukupno	Za elek. ener.	Za topl. ener.	Ukupno
ugljen	157 100 tona	—	157 100 tona
loživo ulje	596 800 tona	169 100 tona	765 900 tona
zemni plin	52,1	139,7	191,8 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
koksnii plin	80,0	—	80,0 × 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>

Za NE Krško u 1990. godini potrebno je osigurati sredstva plaćanja za izmjenu 1/3 gorivih elemenata. Troškove snose po pola SR Hrvatska i SR Slovenija.

U termoelektranama-toplanama u ukupnim količinama potrebnog goriva iskazane su i količine potrebne za proizvodnju toplinske energije. Dinamika plana zaliha tekućeg goriva utvrđena je na način da se kroz čitavu godinu osiguraju sistematske zalihe koje garantiraju stabilan pogon elektroenergetskog sistema.

Sadašnje stanje cijevnog sistema kotla u TE Plomin koje ne pruža garanciju za siguran rad elektrane, utjecalo je na smanjen plan proizvodnje u 1990. godini, u odnosu na kriterij, iz čega je proizašao plan potrošnje ugljena od samo 157 100 tona.

Budući da je u 1990. godini zbog produženog remonta radi rekonstrukcije turbine i kvarova na generatoru i kotlu ostvarena u znatnoj mjeri proizvodnja elektrane u odnosu na plan, to je prouzročilo povećanje zaliha ugljena na deponiju koje se procjenjuje 1. siječnja 1990. na 265 000 tona. Kod ovako visokih zaliha početkom godine i planirane proizvodnje TE Plomin, tijekom 1990. godine nije potrebna dobava novih količina ugljena.

#### Osnovne godišnje veličine elektroenergetske bilance za 1990. godinu

Potrebe električne energije (distributivna potrošnja, direktni i specijalni potrošači i gubici u prijenosnoj mreži) za 1990. godinu iznose 15 574 GWh (uključen dug Italiji 180,0 GWh).

Raspoloživa električna energija	GWh
proizvodnja hidroelektrana	5 692,0
proizvodnja TE u drugim republikama za potrebe Hrvatske	3 465,0
proizvodnja TE na ugljen	306,0
proizvodnja nuklearne elektrane za Hrvatsku	2 051,0
proizvodnja TE na tekuća goriva	2 152,0
proizvodnja termoelektrana-toplana	626,0
<b>Ukupno raspoloživo</b>	<b>14 292,0</b>
Nepodmirene potrebe	1 282,0
<b>Sveukupno</b>	<b>15 574,0</b>

Izgrađenost elektroenergetskih objekata i prijenos s elektranama izgrađenim u drugim republikama za potrebe Hrvatske može zadovoljiti sve potrebe za električnom energijom u 1990. godini.

Ocjenu se da će se izkazani manjak od 1 282 GWh podmiriti dodatnom nabavom električne energije u zemlji i inozemstvu, kao i dodatnom proizvodnjom na plin TE Sisak i plinskih elektrana u ljetnim mjesecima, shodno troškovnom optimumu kao i tehničko-sigurnosnom aspektu elektroenergetskog sistema.

I. R.

### ELEKTROPRENOS OPATIJA — NOVA LOKACIJA

Povećani opseg djelatnosti i porast zaposlenih radnika te današnji prostorni objekti OOUR-a Elektroprenos Opatija ne odgovaraju stvarnim potrebama. U sastavu poduzeća je na održavanju oko 1 365 km dalekovoda napona 400, 220 i 110 kV te 30 transformatorskih stanica i rasklopnih postrojenja. Broj zaposlenih je 327, a poslovanje se odvija na nekoliko lokacija. Glavna poslovna zgrada je u centru Opatije, a jedan dio u TS Matulji. Priličan broj zaposlenih raspoređen je na ostalim objektima rasutim po cijeloj istarsko-primorsko-goranskoj regiji. Za uspješan rad i razvoj poduzeća potrebna je jedna centralna lokacija.

Prostornim urbanističkim planom općine Opatija poduzeće Elektroprenos u Opatija namijenjen je novi pogonski prostor »Kuk«, između Opatije i Matulji, oivičen mjestom između prometnice za tunel Učku, Rijeka — Matulji i gornjom cestom kroz Opatiju.

Projektom pogonskog prostora »Kuk« u prvoj etapi izgradnje predviđen je smještaj za 310 radnika uz naznačenu mogućnost dogradnje projektiranih za ukupni smještaj 400 radnika. Za izvedbu glavnih objekata već je pripremljena glavna projektna dokumentacija, što će ubrzati početak radova u realizaciji ovog programa.

I. R.

### GRADNJA TE UGLJEVIK 2 U 1990.

Elektroprivreda Bosne i Hercegovine i Elektrogospodarstvo Slovenije konačno su se sporazumjeli o početku gradnje TE Ugljevik 2. Dvije republike zajednički sudjeluju u investiranju izgradnje ove termoelektrane koja je smještena kraj Bijeljine. Primijenjen je isti model zajedničkog ulaganja kao i prilikom gradnje TE Ugljevik 1. Elektrogospodarstvo Slovenije obavezno je podmiriti trećinu ukupnih ulaganja, a zauzvrat pripada mu količina električne energije razmjerna investicijskim ulaganjima.

Investitori su početkom 1990. godine ugovorili sa RO »Rade Končar« iz Zagreba isporuku turbogeneratora snage 353 MW i pripadajuće opreme, montiranje postrojenja i pripremu za pokusni rad. Dio opreme već je nabavljen od inozemnih proizvođača i već je usklađen na lokaciji budućeg postrojenja.

Gradnjom druge etape TE Ugljevik elektroprivreda Bosne i Hercegovine i elektrogospodarstvo Slovenije znatno će povećati svoj elektroenergetski potencijal.

Proizvodnja električne energije u rudarskom bazenu Ugljevik približno odgovara polovici učinka nuklearke Krško. Radovi na gradnji druge etape trajat će oko tri godine.

I. R.

### HE ORLOVAC — PLAN REMONTA

Kolektiv hidroelektrane Orlovac planirao je u 1990. godini veći remont pojedinih objekata. Planom je utvrđena potpuna obustava elektrane od 1. lipnja do 31. kolovoza zbog sanacije oštećenja tunelske obloge dovodnog tunela.

Za to vrijeme obavili bi se radovi na:

- preizoliranju pomoćnih polova glavnog uzбудnika agregata 1
- zamjena signalnih sklopki na prekidačima u poljima sva tri blok transformatora
- montaže opreme za automatski rad kućnog agregata
- sanacija ležišta tlačnog cjevovoda
- demontaža i remont regulatora tlaka na turbinama br. 1 i br. 2

- popravak površina oštećenih kavitacijom na sifonima i izlaznim cijevima regulatora tlaka turbine 1 i 2, te
- revizija kinematike preturbinskih kuglastih zatvarača.

I. R.

## PROIZVODNJA UGLJENA ISPOD PLANA

Od 75,5 milijuna tona predviđenih planom proizvodnje ugljena u jugoslavenskim ugljenokopima u 1989. godini ostvareno je 74,25 milijuna tona lignita, mrkog i kamenog ugljena. U usporedbi sa 1988. godini učinak u proizvodnji je po-

voljniji za 2,3 posto. Prema izvještajima stručnjaka Udruženja rudnika ugljena Jugoslavije u današnjoj našoj ekonomskoj krizi, praćenom besparicom i teškoćama u proizvodnji svake vrsti nije se moglo više postići.

Od ukupne proizvodnje ni punih 20 posto nije usmjereno potrošačima izvan elektroprivrede — industriji, domaćinstvu, jugoslavenskim željeznicama i dr. Da bi dvije najjače energetske grane — elektroprivreda i ugljenokopi — popravile svoj ekonomski položaj nužna je zajednička suradnja u rješavanju nastalih problema u današnjemu našem privrednom razvoju i djelovanju.

I. R.

# SAVJETOVANJA I KONFERENCIJE

## INFORMIRANJE O RADU JUKO CIGRE

U Zagrebu je 20 veljače održan sastanak predsjedništva studijskih komiteta (PSTK), a 27 veljače sastanak Izvršnog odbora i Skupštine JUKO CIGRE.

Budući da je u posljednje vrijeme došlo do nekih reorganizacijskih promjena u broju, nazivu i sadržaju rada studijskih komiteta (STK), dajemo novi popis svih STK uključenih u JUKO CIGRE, kao i imena predsjednika i tajnika tih komiteta u novom sazivu.

STK 11 Rotacioni strojevi:  
Prof. dr. Vladimir Kuterovac, dipl. inž.  
Miloš Rašeta, dipl. inž.

STK 12 Transformatori:  
Dr. Predrag Vujović, dipl. inž.  
Stanislav Kravić, dipl. inž.

STK 13 Sklopni aparati:  
Prof. Miloš Abadžić, dipl. inž.  
Mirsad Kapetanović, dipl. inž.

STK 15 Izolacioni materijali:  
Prof. Predrag Duduković, dipl. inž.  
Radoslav Brkić, dipl. inž.

STK 21 Energetski kabeli:  
Hana Albahari-Žigrai, dipl. inž.  
Branislav Oberman, dipl. inž.

STK 22 Nadzemni vodovi:  
Dr. Dževad Muftić, dipl. inž.  
Gordana Habak-Tumpa dipl. inž.

STK 23 Razvodna postrojenja:  
Prof. dr. Jovan Nahman, dipl. inž.  
Dr. Dragutin Salamon, dip. inž.

STK 31 Distributivna mreža:  
Dr. Dragutin Stanojević, dipl. inž.  
Đorđe Glišić, dipl. inž.

STK 33 Prenaponi i koordinacija izolacije:  
Zlatoje Zdravković, dipl. inž.  
Radomir Naumov, dipl. inž.

STK 34 Zaštita i automatika:  
Janez Zakonjšek, dipl. inž.  
Božo Filipović, dipl. inž.

STK 35 Komunikacije i daljinsko upravljanje:  
Mirko Majić, dipl. inž.  
Damir Papandopulo, dipl. inž.

STK 36 Perturbacije:  
Prof. dr. Miroslav Mikula, dipl. inž.  
Josip Mrnjec, dipl. inž.

STK 37 Planiranje i razvoj elektroenergetskih sistema:  
Prof. dr. Božo Udovičić, dipl. inž.  
Mr. Jakša Topić, dipl. inž.

STK 38 Analiza elektroenergetskih sistema:  
Mr. Petar Hemon, dipl. inž.  
Rusanov Nikola, dipl. inž.

STK 39 Pogon i vođenje elektroenergetskih sistema:  
Prof. dr. Ferdinand Gubina, dipl. inž.  
Stropnik Andrej, dipl. inž.

Glavne točke dnevnog reda, odnosno zaključci spomenutih sastanaka, bili su kako slijedi:

PSTK (predsjednik Mirko Majić, dipl. inž.)

— Razmotreni su izvještaji o radu STK u razdoblju između X i XI sjednice PSTK pri čemu je naglašena potreba bolje suradnje s Radnim grupama Jugela, aktiviranje radnih grupa unutar pojedinih STK, suradnja JUKO CIGRE na projektu CIGRE 2000 sa CIGRE Paris, te jača povezanost sa srodnim organizacijama CIRED, IEC i WEC.

— Prihvaćene su aktivnosti na organizaciji održavanja raznih stručnih skupova koje JUKO CIGRE održava u 1990. godini i to:

\* Savjetovanje Razvoj elektroprivrede Jugoslavije od 1991. do 2000. g. — zajedno sa JUGEL-om IV/90. u Ohridu.

\* Stručna konzultacija Normativi za reviziju, održavanje i remont elektrodistributivnih objekata IX/90. u Šibeniku ili Trogiru.

\* XII Savjetovanje o energetskim kabelima X/90. u Novom Sadu ili na Paliću.

\* VIII Savjetovanje o upravljanju i informatici u elektroprivredi XI/90 Cavtat.

Osim toga STK 33 organizira kolokvij o ZnO odvodnicima prenapona.

- Prihvaćena je informacija o organizaciji XX jubilarnog zasjedanja JUKO CIGRE koji se održava u IV/91 u Neumu pod pokroviteljstvom elektroprivrede BiH.
- Prihvaćena je inicijativa o potrebi promjena Statuta JUKO CIGRE i pratećih pravilnika kao posljedica društvenih promjena i promjena CIGRE — Paris.
- Naglašena je potreba intenzivnije obrade problematike školovanja i stručnog formiranja.

IZVRŠNI ODBOR (predsjednik dr. Jovo Mandić — predsjednik JUKO CIGRE)

- Razmotrio je izvještaj o radu STK.
- Razmotrio izvještaj o radu Stručne službe JUKO CIGRE.
- Razmotrio Izvještaj Odbora Samoupravne kontrole o završnom računu JUKO CIGRE za 1989. godinu.
- Razmotrio prijedlog finansijskog plana za 1990. godinu.
- Razmotrio Plan aktivnosti JUKO CIGRE u 1990. godini.
- Ponovljen je zaključak s prošle sjednice o vrlo povoljnom odjeku u svjetskoj stručnoj javnosti o organizaciji SC 22 međunarodne CIGRE održane u Sarajevu.

SKUPŠTINA (predsjednik dr. Jovo Mandić)

- Razmotren je izvještaj PSTK i Izvršnog odbora o radu JUKO CIGRE u proteklom razdoblju.
- Razmotren je odnos JUKO CIGRE sa CIGRE — Paris.
- Razmotrena je programska orijentacija rada JUKO CIGRE u razdoblju zasjedanja ove delegatske Skupštine, kao i plan aktivnosti u 1990. g.
- Na prijedlog Izvršnog odbora prihvaćen je završni račun za 1989. godinu i finansijski plan za 1990. godinu.
- Dodijeljene su plakete zaslužnim članovima JUKO CIGRE.
- Usvojen je načelni plan organizacije XX jubilarnog zasjedanja JUKO CIGRE 1991. u Neumu.

Analizirajući zasjedanja navedena tri tijela JUKO CIGRE treba naglasiti i ovom prilikom da uspješnost rada JUKO CIGRE ovisi prvenstveno o radu njenih studijskih komiteta koji predstavljaju osnovnu jezgru i pokretačku snagu JUKO CIGRE. Pri tome su vrata za raznovrsne inicijative širom otvorena.

Z. C.

## IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

### »ELEKTRODŽIP« IZ ŠVEDSKE

Švedski su inženjeri konstruirali novi tip elektroautomobila i nazvali ga »Solon«. Auto je dvosjed vrlo sličan popularnom američkom džipu. Ima elektromotor snage 5 kW i ugrađene baterije 72 V, 100 Ah. Maksimalna brzina iznosi 70 km/h, a najekonomičnija 50 km/h. Jedno punjenje baterije dovoljno je za put od 50 do 60 km. U prvoj će se seriji izraditi 20 kola. Osim ispitivanja u praktičnoj vožnji, mijenjat će se i ispitivati tipovi baterija.

ETZ, god. 110 (1989), br. 14

Mrk.

### SOLARNE ELEKTRANE U AUSTRIJI

Nakon samo petomjesečne gradnje u lipnju 1989, završena je i puštena u pogon najveća austrijska fotovoltaička solarne elektrane, snage 30 kW (vidi: Energija, god. 38 (1988), br. 3). Elektrana se nalazi na brdu Loser, u Štajerskoj, na nadmorskoj visini 1600 m. Ta je visina redovno iznad maglenog sloja, pa će elektrana i zimi imati puni efekt. Računa se da će godišnja proizvodnja iznositi 37 000 kWh, no cijena će energije biti prilično visoka jer će iznositi oko 10 ATS/kWh. Zbog stjecanja iskustva ugrađene su ćelije različitih proizvođača iz Evrope, SAD i Japana. Elektrana je opremljena

mnogim mjernim uređajima čiji se podaci prenose u obližnje mjesto Gmunden, gdje se pohranjuju i analiziraju. Slična se elektrana gradi u sklopu projekta EUREKA na brdu Wendelstein, gdje će se već koristiti iskustva skupljena na elektrani Loser.

Najvažnije je sniziti investicijske troškove.

Gradnja solarne elektrane zaključena je i u Donjoj Austriji, kod St. Pöltena, snage 20 kW. Gradnju financiraju elektroprivredno poduzeće i školske ustanove, pa će elektrana služiti i u edukativne svrhe.

OZE, god. 42 (1989), br. 7

Mrk.

### ELEKTROVOZILA U VELIKOJ BRITANIJI

U Velikoj Britaniji vodi se posebna propaganda za uvođenje elektrovozila. U tome je i britanska elektroprivreda vrlo aktivna. Već sada je u prometu 25 000 elektrovozila, posebno za potrebe servisa i dostave u kuću (npr. mlijeka). S takvim vozilima već postoji 15-godišnja vrlo dobra praksa. Samo u posljednje vrijeme prodano je 500 elektrovozila, od čega 300 koriste elektropoduzeća.

ÖZE, god. 42 (1989), br. 7

Mrk.

## STAROST POGONA U SR NJEMAČKOJ

Tehnika napreduje vrlo brzo pa je nužno stalno modernizirati pogone. Poduzeća mogu samo modernom opremom konkurirati na svjetskom tržištu i opstati u stalnom nadmetanju. Savezni statistički ured SR Njemačke učinio je vrlo zanimljivi pregled starosti njemačkih industrijskih postrojenja:

Starost	Pog. zgrade	Strojevi i oprema
do 5 god.	17 %	40 %
5 – 10 god.	16 %	30 %
10 – 15 god.	14 %	16 %
preko 15 god.	53 %	14 %

ETZ, god. 110 (1989), br. 14

Mrk.

## HYDRO-QUEBEC GRADI NOVE HIDROELEKTRANE

Veliko kanadsko elektroprivredno poduzeće Hydro-Quebec pojačat će kapacitet svojih hidroizvora. Sada je instalirana snaga hidroelektrana tog poduzeća 24 500 MW, a planira se da će se do 2006. godine povećati još za 18 000 MW. Već sada 95 % električne energije dolazi iz hidroelektrana. Spomenutu snagu dalo bi 15 novih hidroelektrana lociranih u blizini zaljeva James Bay. Ovakvo će povećanje proizvodnje omogućiti poduzeću da i nadalje izvozi energiju u SAD. Sadašnji izvoz iznosi 12 % ukupne proizvodnje.

RGE, god. 1989, br. 8

Mrk.

## PRVI PRIJENOS 1 200 kV U POGONU

Kao što je već pisano u ovoj rubrici (Energija, god. 36 (1987), br. 3), prvi dalekovod napona 1 200 kV završen je u Sovjetskom Savezu na potezu Ekibastuz-Kokčetav, duljine 500 km 1983, ali tada stavljen u pogon pod 500 kV. Zatim je nastavno završena dionica Kokčetav – Kustanj od 400 km. Danas su već izgrađene daljnje dionice Kustanj – Čeljabinsk duljine 320 km i Ekibastuz – Barnaul d 700 km. Na taj je način izgrađen cijeli vod za napon 1 200 kV, ukupne duljine nešto više od 1 900 km od Barnaula do Urala, ali stavljen pod napon 500 kV. Od kolovoza 1985. dionica Ekibastuz – Kokčetav radi pod predviđenim naponom od 1 200 kV, kao prvi vod tog napona u svijetu, u normalnoj eksploataciji. Slijedeća dionica, Kokčetav – Kustanj, podiže napon na 1 200 kV u kolovozu 1988. Time je započela praktička realizacija planirane veze Sibir – Kazahstan – Ural – Centar trofaznim vodom ultravisokog napona i istosmjernim naponom 1 500 kV ( $\pm 750$  kV). Takva se naponska kombinacija smatra vrlo povoljnom za pouzdanost povezivanja sistema, gdje će teći velike snage na velikim udaljenostima.

Stjecanje iskustva pri pogonu prvih dionica vodova ultravisokog napona bit će dobra osnova za njihov daljnji razvoj i omogućiti odgovor na mnoga tehnička pitanja. Jedno od najvažnijih bilo je djelovanje ovakvih postrojenja na okoliš. U pogledu veličine električnog polja, akustičnih i visokofrekventnih smetnji i drugih parametara na vodu 1 200 kV konstatirano je da ne prelaze odnosne pokazatelje na vodovima 500–750 kV. Pokazalo se, međutim, da troškovi mjera potrebnih za sniženje smetnji od navedenih ultravisokonaponskih vodova na okoliš povećavaju troškove njihove

gradnje za 5–10 %. Nadalje je utvrđeno da zauzimanje širine trase po prenesenoj jedinici snage osjetno pada s pogonskim naponom. Prenesena se snaga po jedinici širine trase povećava u usporedbi s vodom napona 500 kV, na naponu 750 kV 1,71 puta, a na naponu 1 200 kV 2,19 puta. Treba također spomenuti da je mogućnost prijenosa na 1 200 kV 6 puta veća nego na 500 kV.

Na rješavanju problema ultravisokih napona u Sovjetskom Savezu bio je angažiran vrlo velik broj zavoda i instituta, čime je omogućena praktična primjena.

Nakon stavljanja u pogon 1985, vod je do 1987. radio pod naponom 1 200 kV samo 30 % vremena. Uspješan pogon uslijedio je tek u jesen i zimu 1988–1989. Poteškoće prvih godina proizašle su iz činjenice da industrija nije mogla zadovoljiti sva traženja elektrotehničara. Nisu se još primjenjivale nove tehnologije nužne za prijelaz na ultravisoke naponne. Jedno od važnih pitanja bila je regulacija jalove snage u širokom dijapazonu prijenosa. U ispitanim stanicama gdje su se rješavali problemi u fazi projektiranja nije bilo odgovarajuće opreme da se izvedu pokusi u punom opsegu. Postojale su i objektivne nemogućnosti da se u ispitnim stanicama postignu uvjeti adekvatni realnom industrijskom pogonu. U proteklom razdoblju eksploatacije sistema 1 200 kV provodilo se mnoštvo eksperimenata s različitim tematicom. Rezultati mnogobrojnih ispitivanja pokazali su da se izolacija linije i uređaja može dovesti u mogućnost da podnese maksimalni pogonski napon 1 400 do 1 500 kV. Taj bi, naime, napon bolje odgovarao kao superponirani redu 330 kV – 750 kV za svladavanje velikih udaljenosti. Može se ocijeniti da prvi rezultati pogona 1 200 kV potvrđuju realnost koncepcije razvoja osnovnih magistralnih i međusistemskih veza, u objedinjenom sistemu SSSR-a na tom naponskom nivou.

Električeskie stancii, god. 1989, br. 8

Mrk.

## PODMORSKI KABEL IZMEĐU ŠVEDSKE I FINSKE

U srpnju 1989. položen je između Švedske (Forsmark) i Finske (Rauma) podmorski kabel duljine 200 km. To je zasada najdulji podmorski visokonaponski kabel na svijetu. Kabel je istosmjernan, napona 400 kV, a može prenositi snagu 500 MW. Time su povezani elektroenergetski sistemi obiju država, omogućena izmjena energije i povećana pogonska sigurnost. Kabel je uljnopapirni s bakrenim vodičem 1 200 mm<sup>2</sup>. Olovni plašt zaštićen je s dvije unakrsno motane čelične pocinčane žice. Na vanjskoj je strani omotač od polipropilena i asfalta. Kabel su dobivali pola-pola Alcatel STK iz Norveške i ABB Cables iz Švedske. Kabel je polagalo navedeno norveško poduzeće, koje posjeduje danas najsavršeniji brod za polaganje kabela. Najprije je položena polovina kabela sa švedske, a zatim ona s finske strane, ukupno teška 5 000 tona. Maksimalna dubina mora duž trase iznosi 120 m. Ta kabela veza stajala je ukupno 200 milijuna DEM.

Energie, god. 41 (1989), br. 10

Mrk.

## OBUSTAVLJENA GRADNJA HIDROELEKTRANE NAGYMAROS

Parlament u Budimpešti donio je konačnu odluku da se gradnja hidroelektrane Nagymaros na Dunavu obustavi. Zaključak je obrazložen time da mađarska privreda ne mo-



že istovremeno podnijeti pripreme za svjetsku izložbu 1995. u Budimpešti i gradnju elektrane. Taj mađarski potez austrijska elektroprivreda smatra posve nerazumnim s tehničkog i ekonomskog gledišta.

Elektrana Nagymaros, kao karika u lancu dunavskih hidroelektrana na granici Mađarske i Čehoslovačke, dobavljala bi ponajprije vršnu energiju za obje zemlje i dijelom za Austriju. Zbog optimalnog zajedničkog rada povećane su investicije u gradnju hidroelektrane Gabčíkovo (brana, povećana instalirana snaga), što je sada nepotrebno i bezvrijedno. Šteta je učinjena čehoslovačkoj i austrijskoj privredi, kojim bi trebalo dati odštetu, a osim toga gradilište dovesti u prvotno stanje.

Problem nužne električne energije vjerojatno će se riješiti na bazi termoenergije. Takvo se rješenje prihvaća upravo sada kad prijeti katastrofa od povećanja ugljik-dioksida u atmosferi.

ÖZE, god. 42 (1989), br. 11

Mrk.

### NUKLEARNE ELEKTRANE U SAD

Proizvodnja električne energije u nuklearnim elektranama u SAD znatno je povećana u 1988. godini i iznosila 550 milijardi kWh. Skok u proizvodnji posljedica je stavljanja u pogon 6 novih reaktorskih blokova. U Americi je sada u pogonu 110 nuklearnih blokova, a 13 reaktora još je u gradnji. Unatoč tome, to sve nije dovoljno da za dulje vrijeme zadovolji potražnju. No stalno poboljšanje postrojenja u pogonu znatno utječe na povećanje proizvodnje električne energije.

RGE, god. 1989, br. 8

Mrk.

### PRVA NUKELARNA ELEKTRANA U MEKSIKU

Prva meksikanska nukelarna elektrana, građena u Laguna Verde, u području Veracruza, u stadiju je pokusnog pogona. Datum početka normalnog pogona još nije fiksiran. Planom je predviđena godišnja proizvodnja koja bi pokrivala 4,1 % potroška električne energije u zemlji. Elektrana će imati dva reaktorska bloka.

RGE, god. 1989, br. 8

Mrk.

### ŠVICARSKA GRADI VELIKU SOLARNU ELEKTRANU

U švicarskom kantonu Bern, na brdu Mont Soleil, gradi se do sada najveća fotovoltaička elektrana u Evropi. Ugrađene će biti solarne ćelije visoke kvalitete koje će raditi s iskorištenjem 14 do 15 %. Ukupna instalirana maksimalna snaga elektrane iznositi će 500 kW. Elektrana će biti smještena na nadmorskoj visini 1300 m, kako bi bila iznad maglenog sloja koji obično dosiže 800 do 900 m. Predviđa se da će počev od 1991. godišnja proizvodnja iznositi 720 000 kWh. Ovaj projekt, koji se naziva »Phalk 500«, bit će pilotsko postrojenje i centar za studij razvoja korištenja energije Sunca. Energija će se odvoditi vodom 16 kV u javnu mrežu.

Cijena ovako dobivene struje iznositi će 0,8 CHF, što je 10 puta više od normalne cijene. Troškovi izgradnje iznositi će 9 milijuna DEM.

U Švicarskoj je danas u pogonu 6 fotovoltaičkih elektrana snaga 5 do 20 kW, 15 malih postrojenja 1 do 5 kW i oko 10 000 uređaja do 100 W, većinom u brdskim područjima za rasvjetu i pogon kućanskih aparata osamljenih kuća.

ETZ, god. 110 (1989), br. 14

Mrk.

### NOVI REAKTOR U INDIJI

Prva etapa nuklearne elektrane Narora u indijskoj državi Ullar Pradesh ušla je u pokusni pogon u ožujku 1989, a u redovan u kolovozu. Elektrana će imati dva reaktora na prirodni uran i tešku vodu, jedinične snage 235 MW. Nakon ulaska elektrane Narora u komercijalni pogon Indija će raspolagati instaliranom snagom nuklearnih elektrana od 1 500 MW. Daljnje su nuklearne elektrane u gradnji ili projektu.

RGE, god. 1989, br. 8

Mrk.

### ZATVARANJE SOVJETSKIH NUKLEARNIH ELEKTRANA

Sovjetske su vlasti zatvorile ili zaustavile projektiranje 20 nuklearnih elektrana nakon poznate katastrofe 1986. u Černobilu. Obustavljen je rad dviju elektrana u Armeniji nakon potresa 1988. godine. Obustavljeno je projektiranje i gradnja u potresnom području Kavkaza i u blizini velikih gradova.

RGE, god. 1989, br. 8

Mrk.

### POVEĆANJE PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U SAUDIJSKOJ ARABIJI

Potkraj 1988. godine Saudijska Arabija imala je u elektranama 15 200 MW instalirane snage, a to je 12 puta više nego 1975. U tom se razdoblju broj konzumenta povećao 6 puta i dosego brojku od 2,1 milijun. Elektrificirano je 4 765 gradova i sela izgradnjom 60 000 km mreže visokog i 61 000 km mreže niskog napona. Od ukupno potrošene električne energije industrija uzima 24,7 %.

RGE, god. 1989, br. 9

Mrk.

### INSTALIRANA SNAGA JAPANSKIH ELEKTRANA TREBA U 10 GODINA PORASTI 30 %

Planira se da će do 1998. godišnji porast potrošnje električne energije u Japanu iznositi 2,9 %. Da se omogući, potrebno je da se do tada stavi u pogon 56 000 MW novih izvora. Prema tipovima nova instalirana snaga nuklearnih elektrana bila bi 19 440 MW, 14 600 MW termoelektrana na ugljen, 12 620 MW elektrana na prirodni plin i 7 040 MW instalirana snaga novih hidroelektrana. Tako će se novim elektranama, izgrađenim u toku 10 godina, povećati proizvodnja električne energije 31 %.

RGE, god. 1989, br. 11

Mrk.

## VISOKONAPONSKA MREŽA SOVJETSKOG SAVEZA

Na povezani sistem SSSR-a priključena je ukupna snaga elektrana od 285 000 MW. Od toga je 198 000 MW u termoelekttranama, 510 000 MW u hidroelekttranama i 35 000 u nuklearnim elekttranama. Veličina teritorija na kojem je izgrađen elektroenergetski sistem seže 7 000 km od istoka na zapad i više od 3 000 km od sjevera na jug. U centru i na istoku zemlje najviše je razvijen napon 500 kV, a na zapadnom dijelu napon 330 kV i superponorani napon 750 kV, koji povezuje velike nuklearne elektrane i energosisteme unutar SSSR-a i zemalja SEV-a. Sumarna duljina visokonaponskih linija je sljedeća:

220 kV	101 256 km
330 kV	30 556 km
400 kV	637 km
500 kV	35 518 km
750 kV	6 812 km
1 150 kV	1 906 km

*Električeskie stancii*, god. 1989, br. 8

Mrk.

## GEOTERMALNA ENERGIJA

Geotermalne elektrane 20 MW i veće, kao i sistemi opskrbe toplinom u nadležnosti su Ministarstva za energetiku. Do 1992. treba završiti prvu etapu Mutnovske geotermalne elektrane do snage 50 MW, a do 200 MW potkraj 1998. Prema projektima moguće je na jugu Kamčatke izgraditi geotermalne elektrane do snage od 700 MW, do godine 2010. Time bi se mogla potpuno izbjeći upotreba mazuta. Sve upućuje na veliko značenje osvajanja primjene geotermalne energije za područje Dalekog istoka.

## SUNČANA ENERGIJA

Na Krimu je sagrađena i potkraj 1986. stavljena u pogon prva ispitno-industrijska sunčana elektrana toranjskog tipa. Prema termodinamičnom ciklusu ima snagu 5 MW. Građena je prema projektima iz 70-ih godina, i danas već zastarjela. Potrebno je razraditi suvremene tehnologije za upotrebu sunčane u električnu energiju i pritome sniziti investicije na 500–600 SUR/kW. Osim toga, treba utvrditi najpovoljnije lokacije za gradnju. U obzir dolaze područja u Uzbekskoj SSR, grad Saki na Krimu te Gruzijaska i Azerbajdženska SSR. U tim se područjima predviđa gradnja sunčanih elektrana s paraboličnim zrcalima i s fotovoltaičkim ćelijama.

## TOPLINSKE PUMPE

Planira se da se do 2000 godine stavi u pogon uređaje toplinskih crpki ukupne instalirane snage 3 630 MW. To bi osiguralo godišnju uštedu uvjetnog goriva od 1,4 milijuna tona. Takvi se uređaji predviđaju u područjima gdje su povećane potrebe očuvanja okoliša. To su područja Crnomorskog primorja na Krimu, Kavkaza i Bajkala, snage 350 MW. U evropskom dijelu zemlje, u industrijskim pogonima različitih ministarstava ugradilo bi se 1 520 MW snage toplinskih pumpi.

*Električeskie stancii*, god. 1989, br. 8

Mrk.

## SOVJETSKA ELEKTROPRIVREDA I ALTERNATIVNI IZVORI ENERGIJE

Instalirana snaga sovjetskih elektrana iznosila je 1. 1. 1989. nešto više od 330 000 MW. Godine 1988. proizvedeno je ukupno 1 705 000 GWh, a od toga je 95 % u nadležnosti Ministarstva za energetiku. Vrlo je karakteristična koncentracija snage. Devedeset elektrana ima jediničnu snagu 1 000 MW i više, a 40 jediničnu snagu veću od 2000 MW. Na tim su elekttranama ugrađeni termički elektroblokovi snaga 300–500–800–1200 MW, u nuklearnim elekttranama 440–1000 MW i hidroagregati 115–500–640 MW.

U termoelekttranama se proizvodi 75 % električne energije, od toga 50,5 % na bazi plina i mazuta. Cilj je da se naftno gorivo postepeno napušta, pa je u razdoblju 1980–1988. snižen udio od 28 % na 17 %.

Iskorištenje alternativnih izvora energije također je u punom razvoju i ispitivanju u svim dijelovima SSSR-a.

## VJETROENERGETIKA

Vjetroelektrane snage 100 kW i više predviđene su za rad u elektroenergetskom sistemu, a i one su u nadležnosti Ministarstva za energetiku. Projektiranje i izgradnju provodi Hidroprojekt imana S.J. Žuka.

Kao predradnje za širu primjenu vjetroelektrana montirana su takva postrojenja širom zemlje, u ukupnoj snazi od 65 MW. U sljedećem se pak petogodištu predviđa izgradnja vjetroelektrana ukupne instalirane snage 435 MW. Razvijaju se tipovi reda veličine 1 MW i više.

Na temelju daljnjih razrada očekuje se sniženje specifične cijene vjetroelektrane 700–800 SUR/kW.

## MALE HIDROELEKTRANE

Danas u SSSR-u radi oko 300 malih hidroelektrana, ukupne instalirane snage 1 300 MW, koji mogu proizvesti oko milijardu kWh. To iznosi 0,2 % potencijala malih vodotoka u zemlji, koji su procijenjeni na 500 milijardi kWh. U razdoblju 1988–2000. izvest će se tehnička rekonstrukcija, ponovno staviti u pogon odnosno izgraditi instalirana snaga od 3,2 milijuna kW malih hidroelektrana. One će biti potpuno automatizirane.

## INDIJA GRADI HIDROELEKTRANU SNAGE 1 500 MW

Indija gradi veliku hidroelektranu snage 1 500 MW na rijeci Sutly, u državi Himachal Pradesh, na sjeveru zemlje. Projekt će biti potpomognut financiranjem Svjetske banke sumom od 485 milijuna dolara. Proizvodnjom ove elektrane bit će opskrbljeno 1,3 milijuna novih potrošača. Opskrba električnom energijom u Indiji ipak će biti nedovoljna, premda postoje vrlo značajni hidroenergetski izvori, od kojih je iskorišteno tek 12 %.

*RGE*, god. 1989. br. 7

Mrk.

## POTROŠNJA ENERGIJE U SAD U 1988.

Kao posljedica ekonomskog razvoja povećala se u SAD i potrošnja energije u 1988. za 4 %. Potrošnja ugljena, prirodnog plina i električne energije povećana je 5 %. Manji je bio

porast potrošnje nafte i iznosio je 3,2 %. Nacionalna proizvodnja nafte nije bila tako niska u prošle 24 godine.

RGE, god. 1989. br. 6

Mrk.

## NOVE KNJIGE

**Eugene F. Adiutori**

### THE NEW HEAT TRANSFER

Izdavač: Venturino Press, West Chester, Ohio, USA, 1889.

Opseg: 434 stranice, 56 slika, 2 tablice, 75 referenci, indeksi pojmova i imena, format 23.5 × 15.5, tvrdi uvez, cijena \$29.95.

»Stari« pristup u primijenjenim »inženjerskim« znanostima temeljen je na »zakonima« koji su izraženi izvedenim veličinama, radije nego osnovnim. Npr. Ohm-ov zakon uvođi varijablu »otpor«, kao omjer napona i struje; ili zakon prijelaza topline, gdje se »koeficijent prelaza topline« definira kao omjer toplinskog toka kroz kontrolnu površinu i temperaturne razlike.

»Novi« pristup u inženjerskim znanostima zaobilazi ovakve zakone i izvedene veličine. Zakoni su zamijenjeni karakteristikama koje opisuju »ponašanje« promatrane okoline i sadrže samo osnovne parametre, a izbjegavaju izvedene. Prednost u takvog pristupa je u tome što karakteristike postavljene »u slobodnoj formi« sadrže sve bitne varijable separirane, a što omogućuje rješenje praktičnih problema na najjednostavniji mogući način.

U knjizi je dan detaljan pristup problemima prijelaza topline, sa primjerima iz prakse. Varijable, kao što su toplinska vodljivost, koeficijent prijelaza topline ili emisivitet kod zračenja zamijenjeni su odgovarajućim karakteristikama. Isto tako, autor razmatra primjere iz elektrike, gdje se izbjegava upotreba otpora, kapaciteta i induktiviteta.

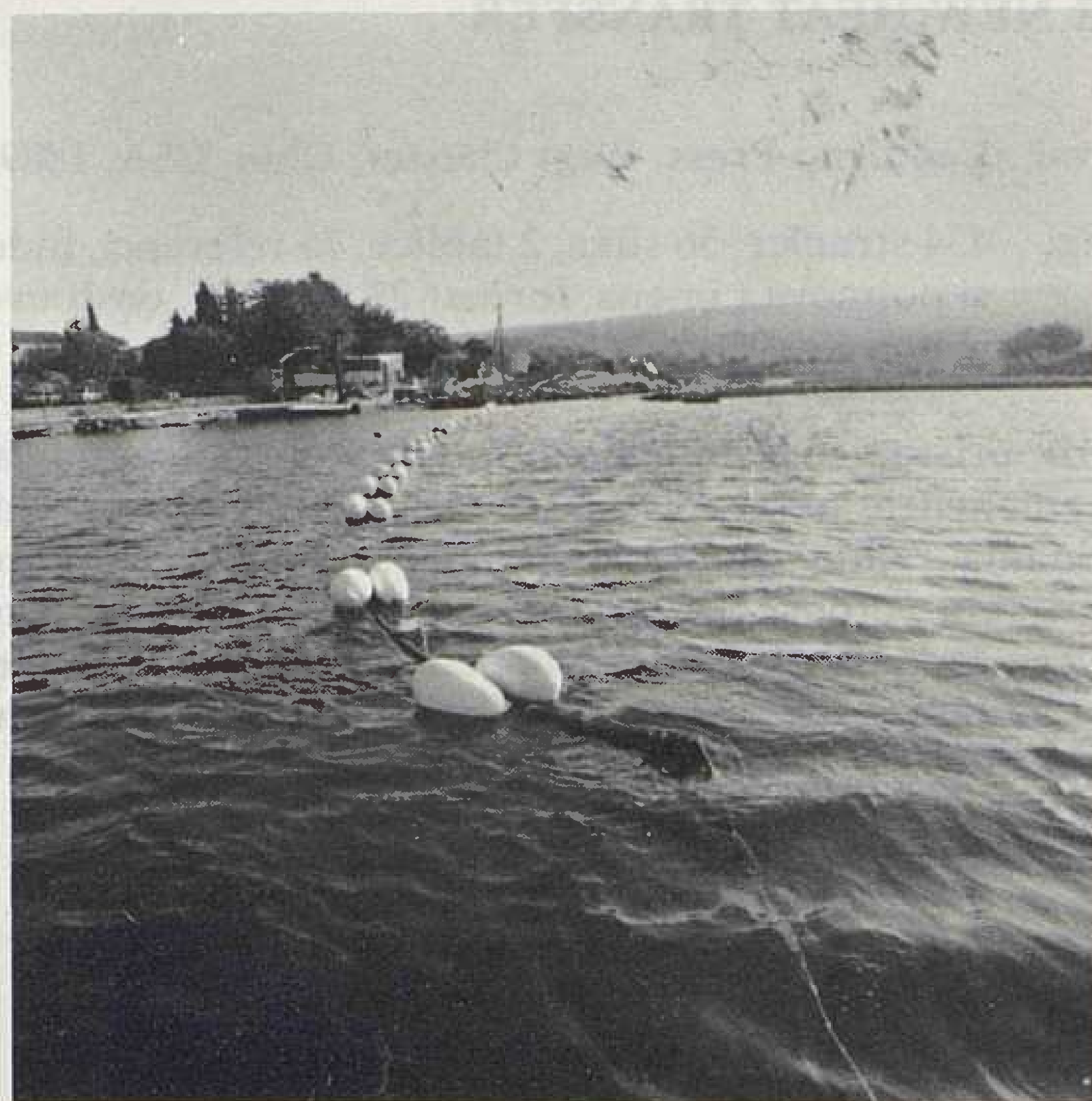
Knjiga je prvi put izdana prije petnaestak godina, dok je ovo drugo izdanje, koje je prerađeno i dopunjeno primjerima.



**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**

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Godište 39 (1990)

Zagreb 1990

Br. 3

Zajednica elektroprivrednih  
organizacija Hrvatske

Institut za elektroprivredu, Zagreb

SIZ za znanstveni rad Hrvatske

## SADRŽAJ

<i>Požar H.</i> : Razvoj proizvodnje električne energije u nuklearnim elektranama (Pregledni rad) . . . . .	159
<i>Tonković Z.</i> : Nove veze 110 kV između Hrvatske i Bosne i Hercegovine (Stručni rad) . . . . .	169
<i>Pavišić V.</i> : Insolacija kao element procjene promjene onečišćenja zraka (Originalni znanstveni rad) . . . . .	175
<i>Jakl F.</i> : Konceptija razvoja i izgradnje 400 kV prijenosne mreže Austrije s problematikom zaštite okoline (Pregledni rad) . . . . .	181
<i>Puharić M.</i> : Zaštita modularnih trafostanica od atmosferskih prenapona (Originalni znanstveni rad) . . . . .	193
<i>Mahmutćehajić R.</i> : Vakuumski prekidač (Pregledni rad) . . . . .	199
<b>Vijesti iz elektroprivrede</b> . . . . .	213
<b>Savjetovanja i konferencije</b> . . . . .	216
<b>Iz strane stručne literature</b> . . . . .	220
<b>Oglasi</b> . . . . .	225

## 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. inž., Republički komitet za energetiku — Zdenka Jelić, prof., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Mr. 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: Mr. 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 180,00 dinara, a za poduzeća i ustanove 300,00 dinara (za studente 120,00) dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišaji — Print: TIZ »Zrinski«, 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-Peltonovih rotora za električnu centralu Cat Arm, Kanada, s jediničnim učinkom 70 MW i s visinskom razlikom 386 m.

## Komponente za nuklearne elektrane

④ Završni radovi u jednoj od švicarskih nuklearnih centrala.

## Ventili

⑤ Visokotlačni sigurnosni ventili za termocentralu.

## Pumpe

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

## Sistemi za upravljanje i reguliranje

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

# SULZER®

Gebrüder Sulzer Aktiengesellschaft  
8401 Winterthur  
Telefon 052-811122  
Telex 896 060

①

②

③

④

⑤

⑥

# RAZVOJ PROIZVODNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U NUKLEARNIM ELEKTRANAMA

Akademik Hrvoje Požar, Zagreb

UDK 621.311.25  
PREGLEDNI RAD

Nakon povijesnog pregleda razvoja nuklearnih elektrana u svijetu daje se pregled današnjeg (1988) stanja izgrađenosti i udjeli u proizvodnji regionalno i po pojedinih državama, te predviđanja do 2040, sa zanimljivim objašnjenjem antinuklearnog pokreta.

**Ključne riječi:** razvoj nuklearnih elektrana, udio nuklearne elektrane u proizvodnji, ekologija i antinuklearni pokret.

## 1. POVIJESNI PREGLED

Industrijska proizvodnja električne energije u nuklearnim elektranama započela je ustvari u jesen 1956. godine, kad je stavljen u pogon prvi reaktor veće snage. To je bio reaktor hlađen ugljik-dioksidom s grafitom kao moderatorom električne snage 50 MW u nuklearnoj elektrani Calder Hall u Velikoj Britaniji. Ona se smatra prvom nuklearnom elektranom, iako je još 1953. godine stavljena u pogon nuklearna elektrana u Obinsku u SSSR koja je imala samo simboličnu snagu od 5 MW. Nakon toga počinju se graditi nuklearne elektrane s reaktorima različitih tipova u više zemalja. Tako već 1965. godine postoje nuklearne elektrane u Velikoj Britaniji, u SAD, SSSR-u, Italiji, Kanadi, Japanu, Francuskoj, SR Njemačkoj i Švedskoj [1]. U većini zemalja građena su eksperimentalna postrojenja malih snaga, pa je, dakako, i proizvodnja bila malena. U 1965. godini proizvedeno je u nuklearnim elektranama nešto manje od 25 TWh, odnosno 0,74 % od svjetske proizvodnje električne energije [1].

Pravi razvoj nuklearnih elektrana počinje početkom sedamdesetih godina, pa je u razdoblju od 1970. do 1975. godine proizvodnja u nuklearnim elektranama povećana od gotovo 79 TWh na nešto manje od 352 TWh [1], što odgovara prosječnom porastu od 34,9 % godišnje.

U to se doba mogao očekivati nagli razvoj nuklearne energetike jer je 1973. godine, a zatim 1978. godine, naglo povišena cijena sirove nafte, što je uvjetovalo i povišenje cijena loživog ulja, a zatim i cijena ugljena i prirodnog plina. Zbog toga je proizvodnja električne energije u nuklearnim elektranama postala konkurentnija proizvodnji u drugim tipovima elektrana, pogotovo u onima loženim derivatima nafte i ugljenom iz udaljenih rudnika, jer je udio troškova za gorivo u proizvodnoj cijeni električne energije u nuklearnim elektranama mnogo manji nego u termoelektranama loženim bilo kojim gorivom.

Povišenje cijena nafte uzrokovalo je ekonomsku krizu, jer se u to doba više od polovice energetske potreba zadovoljavalo derivatima nafte. Osim toga, ekonomsku je krizu pospješilo i povišenje cijena drugih oblika energije, ugljena i prirodnog plina. Ekonomska je kriza smanjila industrijsku aktivnost, pa je to usporilo porast potrošnje svih oblika energije, a među njima i električne energije. S druge strane, ekonomska kriza i povišenje cijena svih oblika energije utjecali su na potrošače da racionalnije upotrebljavaju energiju, pa je i to uvjetovalo smanjenje porasta potrošnje energije. Sve je to tražilo usporenje gradnje novih elektrana, pa i novih nuklearnih elektrana. To se posebno drastično odrazilo na tempo izgradnje nuklearnih elektrana u SAD, gdje se zbog toga odustalo od gradnje više nuklearnih elektrana. Istodobno s naglim povišenjem cijena nafte razvija se u okviru ekološkog pokreta i antinuklearni pokret. Svakako je zanimljivo da su praktički svi ekološki pokreti ujedno i antinuklearni pokreti, a mnogi od njih uglavnom se bave antinuklearnom propagandom. To ne može biti slučajno. Evidentno je da neke privredne grane, pa i neke zemlje, imaju interesa da podržavaju i potiču antinuklearne pokrete. To su u prvom redu velike multinacionalne naftne kompanije, koje su s povišenjem cijena nafte znatno povećale svoje profite. Te profite dovodi svakako u opasnost izgradnja nuklearnih elektrana jer se njihovom izgradnjom smanjuje potrošnja derivata nafte, pa i sirove nafte. Također su ugroženi i interesi kompanija koje se bave eksploatacijom ugljena koje su također povećale profite povišenjem cijena. S tim su ugroženi i interesi velikih proizvođača nafte u Perzijskom zaljevu. Njihovi su interesi čvrsto povezani s američkim bankama jer spomenuti veliki proizvođači nafte najveći dio svojih sredstava deponiraju u američkim bankama. Radi se, naime, a nekoliko stotina milijarda dolara. Njihova su antinuklearna nastojanja usmjerena u prvom redu na Zapadnu Evropu i Japan kao glavne kupce nafte. U istom antinuklearnom

smislu djeluje i politička akcija protiv proširenja proizvodnje nuklearnog oružja koju provodi američka vlada, kojom se, neopravdano, opravdavaju akcije protiv gradnje nuklearnih elektrana, jer je iskorištavanje nuklearnog goriva iz nuklearnih elektrana, kao polaznog materijala za izradu nuklearne bombe, najnepovoljniji i najkompliciraniji postupak, koji je, osim toga, lako identificirati i kontrolirati. Ta koordinirana akcija nije slučajna, jer je utjecaj velikih naftnih kompanija u SAD izvanredno velik. Ne kaže se uzalud da je ono što je dobro za velike američke naftne kompanije istodobno dobro za Sjedinjene Američke Države.

U toj antinuklearnoj akciji na području zapadne Evrope postoji potpuna suglasnost dvaju inače suprotstavljenih političkih blokova — američkog i sovjetskog. Sovjetski Savez, kao veliki proizvođač sirove nafte i prirodnog plina, koji oko dvije trećine svojih deviznih prihoda ostvaruje izvozom tih dvaju oblika energije, životno je zainteresiran da osigura u zemljama s tržišnom privredom i s konvertibilnom valutom (Zapadna Evropa i Japan) što veće tržište za svoje energetske proizvode, a to se može ostvariti smanjenom, odnosno potpunom obustavom gradnje nuklearnih elektrana. To je i razlog podržavanja antinuklearnih pokreta u zemljama s tržišnom privredom. U tim pokretima često glavnu riječ vode simpatizeri Sovjetskog Saveza, pogotovo u zemljama u kojima su slabe komunističke partije.

S druge strane, Sovjetski Savez forsira gradnju nuklearnih elektrana i na svom području i u istočnoevropskim zemljama. Tako da su danas u pogonu nuklearne elektrane, osim u Sovjetskom Savezu, u Bugarskoj, Čehoslovačkoj, Mađarskoj i Njemačkoj DR, a grade se u Poljskoj i Rumunjskoj (bit će u pogonu 1991. godine). Svrha je tih elektrana, osim, dakako, opskrbe električnom energijom, i smanjenje potrošnje nafte i prirodnog plina kako bi se što veće količine tih oblika energije mogle usmjeriti u zemlje s tržišnom privredom za osiguranje deviza za Sovjetski Savez. Prema tome, prema Zapadnoj Evropi vodi se antinuklearna politika, a prema zemljama Istočne Evrope pronuklearna politika. Zanimljivo je da antinuklearni pokreti nisu nikada usmjerili svoju oštricu protiv gradnje nuklearnih elektrana u Sovjetskom Savezu i u istočnoevropskim zemljama.

Sve to ima veze i s političkom ovisnošću, jer energetska ovisnost nije daleko od političke ovisnosti. Sigurnost opskrbe naftom iz Perzijskog zaljeva, naime, znatno ovisi o američkoj vojnoj prisutnosti u tom području, pa i opskrba naftom iz tog područja ovisi konačno o političkoj volji Sjedinjenih Država. Analogno vrijedi i za opskrbu naftom i prirodnim plinom iz Sovjetskog Saveza.

Antinuklearnim pokretima dobro je došao akcident u nuklearnoj elektrani na Otoku tri milje u SAD (1979) kad je uništen nuklearni reaktor. To je za elektroprivredno poduzeće predstavljalo golemu štetu, kao npr. kad brodovlasnik izgubi brod, ali taj akcident za okolno stanovništvo nije imao nikakvih štetnih posljedica zbog postojanja zaštitnog oklopa oko reaktorskog postrojenja kakvo imaju svi reaktori na

Zapadu. Medijska panika, koju su izazvala medijska sredstva svojim dezinformacijama, uzrokovala je nesreće na cestama za vrijeme bezrazložnog bijega stanovništva, u kojima je sedam ljudi poginulo, a bilo je i pedesetak medicinski potpuno nepotrebnih pobačaja kod mladih žena neporavdano uznemirenima uzbuđljivim informacijama [2].

Antinuklearnim je pokretima, dakako, dobro došao i akcident u Černobilu (1986) koji je, prema posljedicama, bio znatno teži od onoga u elektrani na Otoku tri milje. Taj je akcident posljedica triju faktora: pogonske karakteristike reaktora (nestabilnost reaktora pri povišenju temperature; zapadni reaktori imaju stabilnu karakteristiku pa se njihova snaga smanjuje s povišenjem temperature), vrlo neodgovornog ponašanja pogonskog osoblja (pri ispitivanju nekog novog uređaja bili su blokirani praktički svi sigurnosni uređaji da bi se omogućilo provođenje ispitivanja) i pomanjkanja zaštitnog oklopa oko reaktorskog postrojenja. Da je postojao zaštitni oklop, unatoč svemu, utjecaj na okolinu bio bi mnogo, mnogo manji, pa možda i zanemarivo malen. Svi se eksperti slažu da se takav akcident ne može dogoditi u nuklearnim elektranama u zapadnim zemljama jer reaktori imaju stabilnu pogonsku karakteristiku (negativni temperaturni koeficijent koji sprečava nekontrolirano povećanje snage), jer je nemoguće da pogonsko osoblje blokira sigurnosne uređaje i jer oko reaktorskog postrojenja postoji nepropustan zaštitni oklop. Svakako da je akcident u Černobilu imao mnoge neugodne posljedice za okolno stanovništvo (dodatno ozračenje, evakuacija), ali sigurno s manjim posljedicama nego što se to obično u javnosti misli na temelju senzacionalističkih medijskih dezinformacija. Prve vijesti, vjerojatno iz američkih izvora, govorele su o 2 000 mrtvih, dok su Sovjeti javljali o dvije žrtve neposredno nakon akcidenta. To je bilo istina, ali nitko na Zapadu nije u to vjerovao. Do danas je registrirana 31 žrtva, i to među pogonskim osobljem i vatrogascima [2].

Černobilski akcident (1986) izazvao je golemu paniku u Evropi. Konačno se pokazalo da je sve to bilo više nego pretjerano i da zapravo nije postojala nikakva opasnost za stanovništvo izvan kruga u neposrednoj blizini oštećene elektrane. Službe Zajedničkog evropskog tržišta objavile su naknadno podatke o zračenju u zemljama te grupacije nakon akcidenta u Černobilu. Među tim zemljama najviše je bila »pogođena« Grčka, u kojoj je radioaktivno zračenje povećano za manje od jedne stotinke prirodnog zračenja [2]. Taj podatak, međutim, nije našao pravog odjeka u sredstvima informiranja. Umirujuća informacija, naime, nije prava informacija. Pritom se obično zaboravlja u sredstvima informiranja da je dozračenost na nadmorskoj visini od 1 000 m na srednjim zemljopisnim širinama oko 45 % veća nego na razini mora, a na nadmorskoj visini od 2 000 m i 110 % veća [3].

Nekoliko mjeseci nakon akcidenta u Černobilu stavljen je u pogon jedan od preostalih reaktora u elektrani u Černobilu, a zatim i ostala dva reaktora. U SSSR-u postoji 14 takvih reaktora [2], a gradi se još sedam, od kojih je pet snage po 1 000 MW a dva sna-



ge 1 500 MW [4]. Smatra se da su takvi reaktori to nestabilniji što im je snaga veća. Da li su antinuklearci protestirali protiv ponovnog stavljanja u pogon triju preostalih reaktora u Černobilu, protiv nastavka proizvodnje električne energije u ostalim reaktorima toga tipa i protiv dalje gradnje takvih reaktora koji su se pokazali nesigurnima i opasnim za okolinu?

Poznato je da i u američkoj i sovjetskoj ratnoj floti postoji niz površinskih brodova i podmornica s nuklearnim pogonom, od kojih najveći imaju i do osam reaktora. Oni plove po svim morima i pristaju u mnogim lukama, a na nekim od njih posadu čini i nekoliko tisuća ljudi. Da li su antinuklearni pokreti organizirali proteste protiv takve upotrebe nuklearne energije?

Svakako da su akcidenti u elektranama na Otoku tri milje i u Černobilu donekle usporili gradnju nuklearnih elektrana jer se u zapadnim parlamentarnim demokracijama vlast i stranke moraju boriti za glasove birača koji su indoktrinirani bjesomučnom antinuklearnom propagandom koju usklađeno, iako vjerojatno nedogovorno, vode Washington i Moskva, ali koja se ne odnosi na one nuklearne aktivnosti koje pripadaju Pentagonu i Ministarstvu obrane Sovjetskog Saveza.

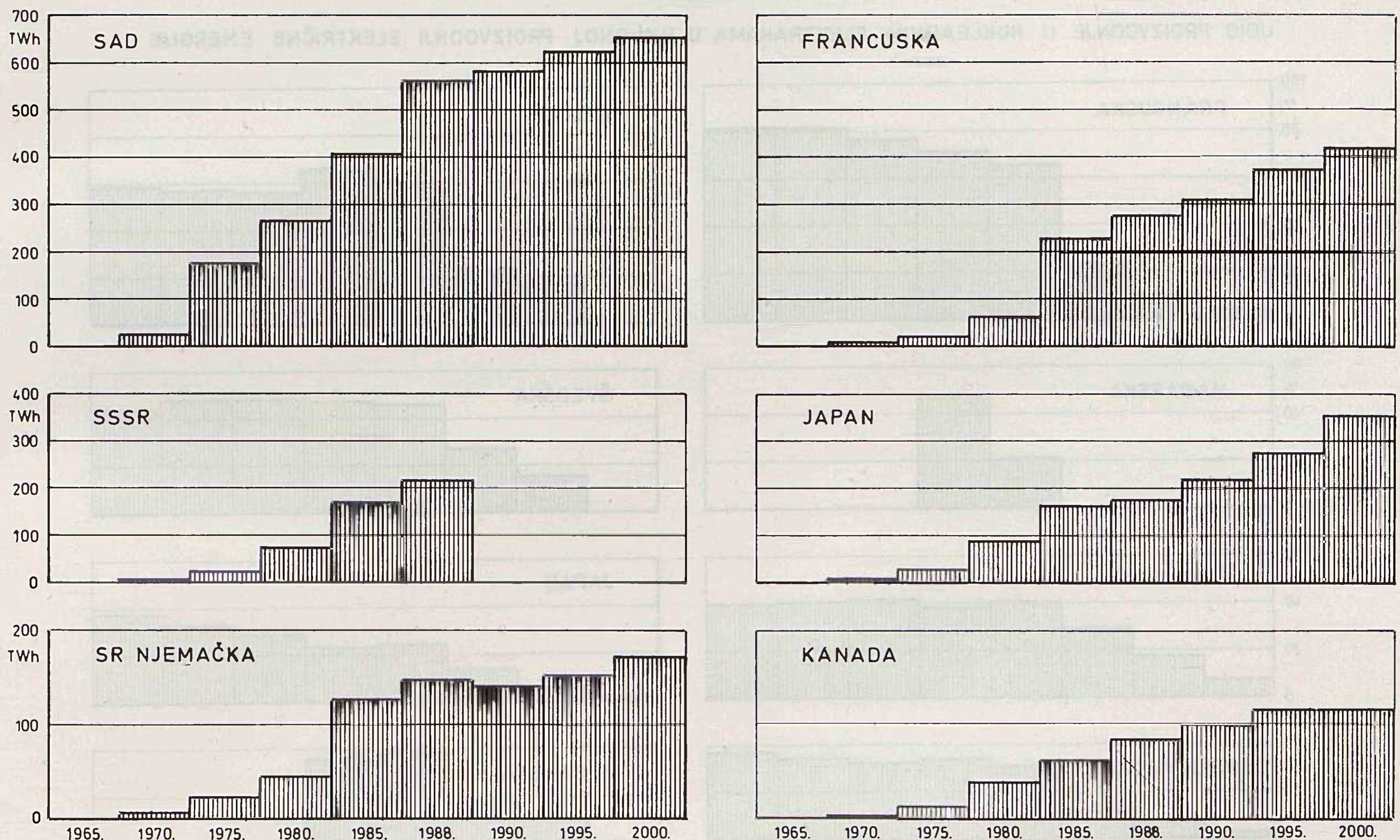
## 2. RAZVOJ NUKLEARNE ENERGETIKE PO ZEMLJAMA

Uza sve zapreke i uza svu dobro organiziranu propagandu, gradnja nuklearnih elektrana nastavlja se više ili manje intenzivno u mnogim zemljama. U 1975. godini postojale su nuklearne elektrane u 19 zemalja, dok su u 1988. godini nuklearne elektrane bile u pogonu u 24 zemlje, među kojima su, dakako, i najrazvijenije zemlje.

Na sl. 1. i 2. navode se podaci o proizvodnji nuklearnih elektrana u 18 zemalja. Proizvodnja u zemljama s malom proizvodnjom (Argentina, Indija, Južnoafrička Republika, Jugoslavija, Pakistan, Indija i Tajvan) nije prikazana u dijagramima. Također nije prikazana proizvodnja nuklearnih elektrana u Italiji, gdje su obustavile rad tri stare nuklearne elektrane manjih snaga.

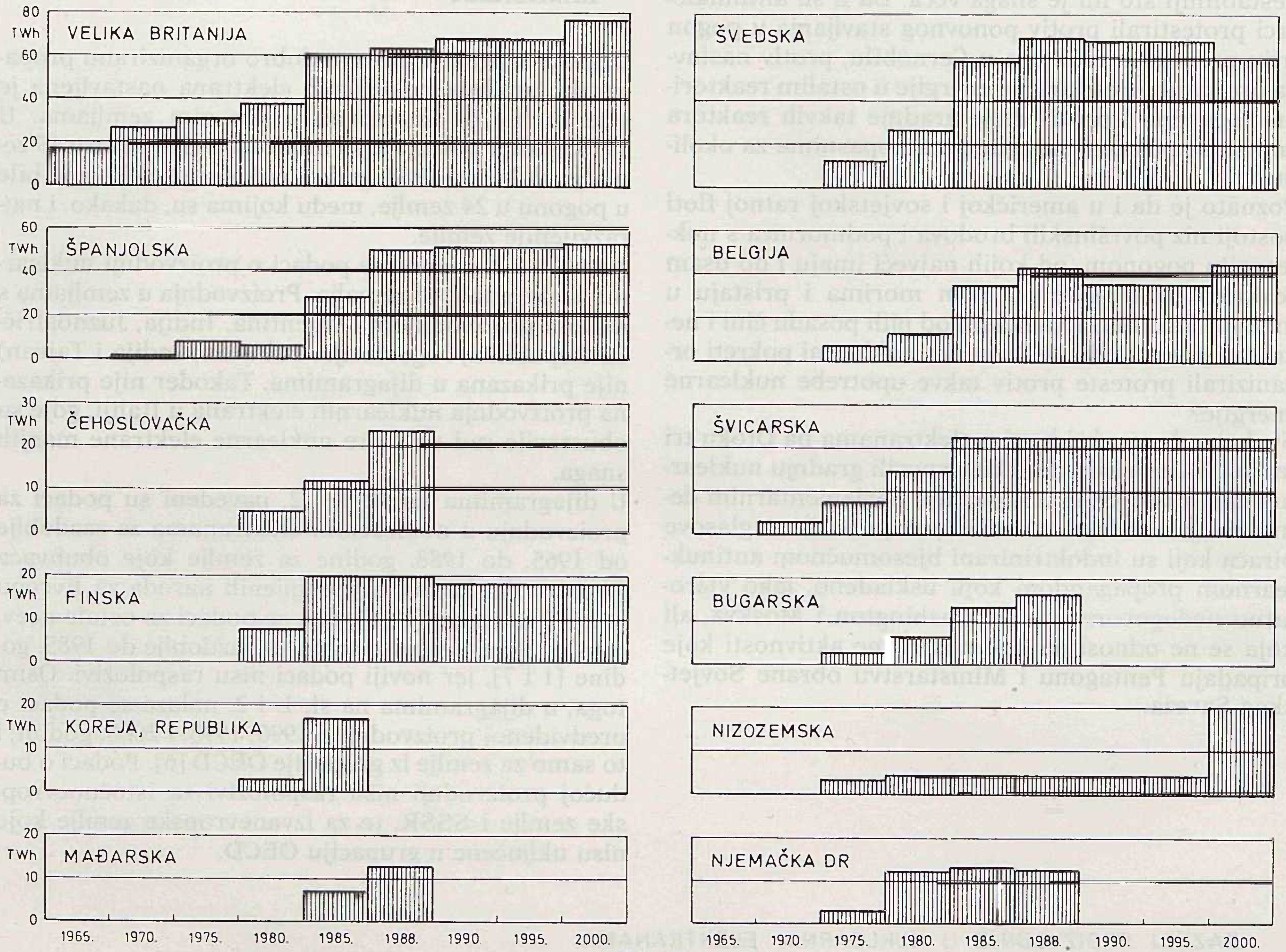
U dijagramima na sl. 1. i 2. navedeni su podaci za proizvodnju u nuklearnim elektranama za razdoblje od 1965. do 1988. godine za zemlje koje obuhvaća Ekonomska komisija Ujedinjenih naroda za Evropu [1 i 5] i za Japan [1 i 6], dok se podaci za ostale neevropske zemlje odnose samo za razdoblje do 1985. godine [1 i 7], jer noviji podaci nisu raspoloživi. Osim toga, u dijagramima na sl. 1. i 2. nalaze se podaci o predviđenoj proizvodnji u 1990, 1995. i 2000. godini, i to samo za zemlje iz grupacije OECD [6]. Podaci o budućoj proizvodnji nisu raspoloživi za istočnoevropske zemlje i SSSR, te za izvanevropske zemlje koje nisu uključene u grupaciju OECD.

RAZVOJ PROIZVODNJE U NUKLEARNIM ELEKTRANAMA



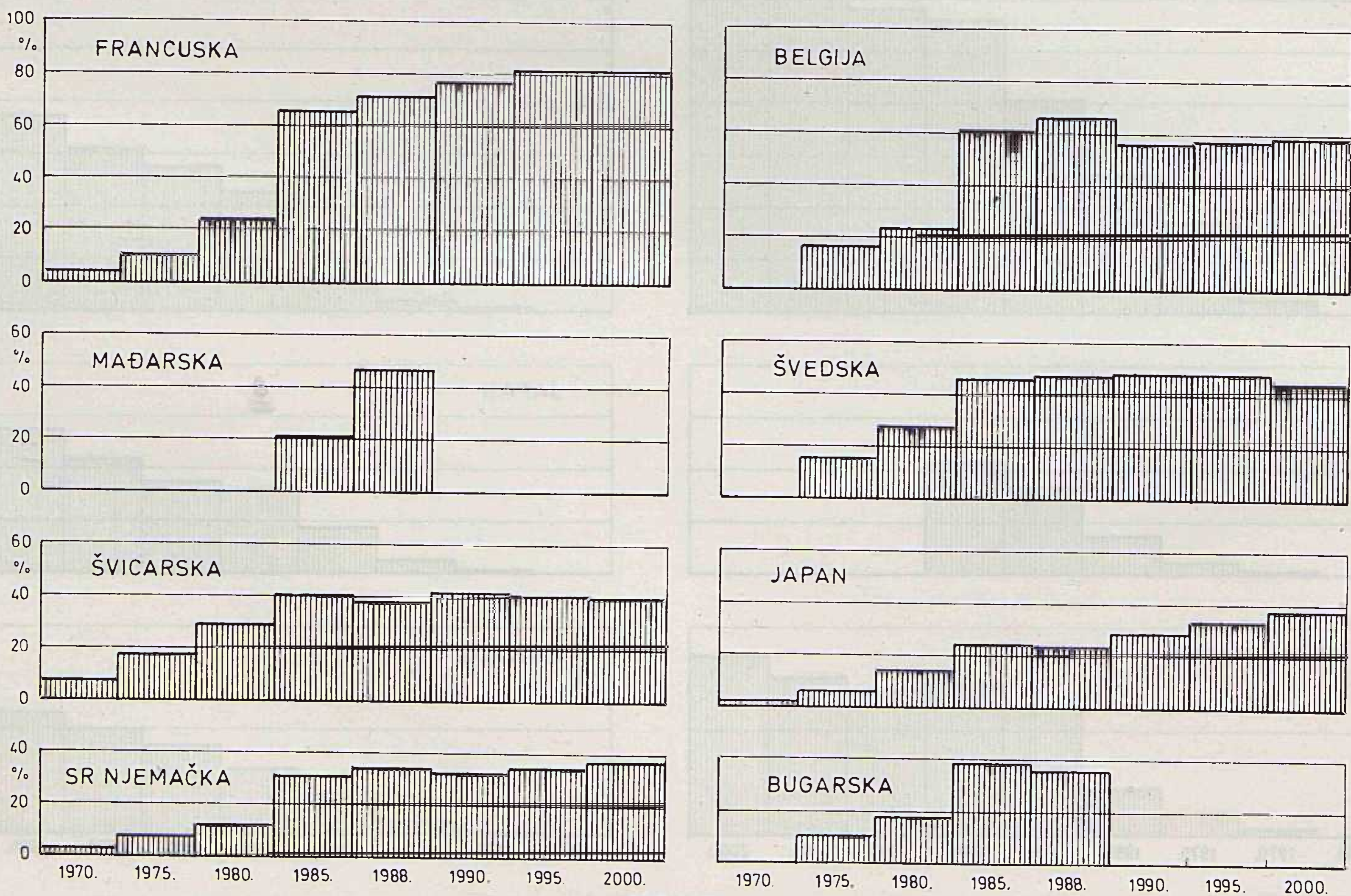
Slika 1.

RAZVOJ PROIZVODNJE U NUKLEARNIM ELEKTRANAMA



Slika 2.

UDIO PROIZVODNJE U NUKLEARNIM ELEKTRANAMA U UKUPNOJ PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE



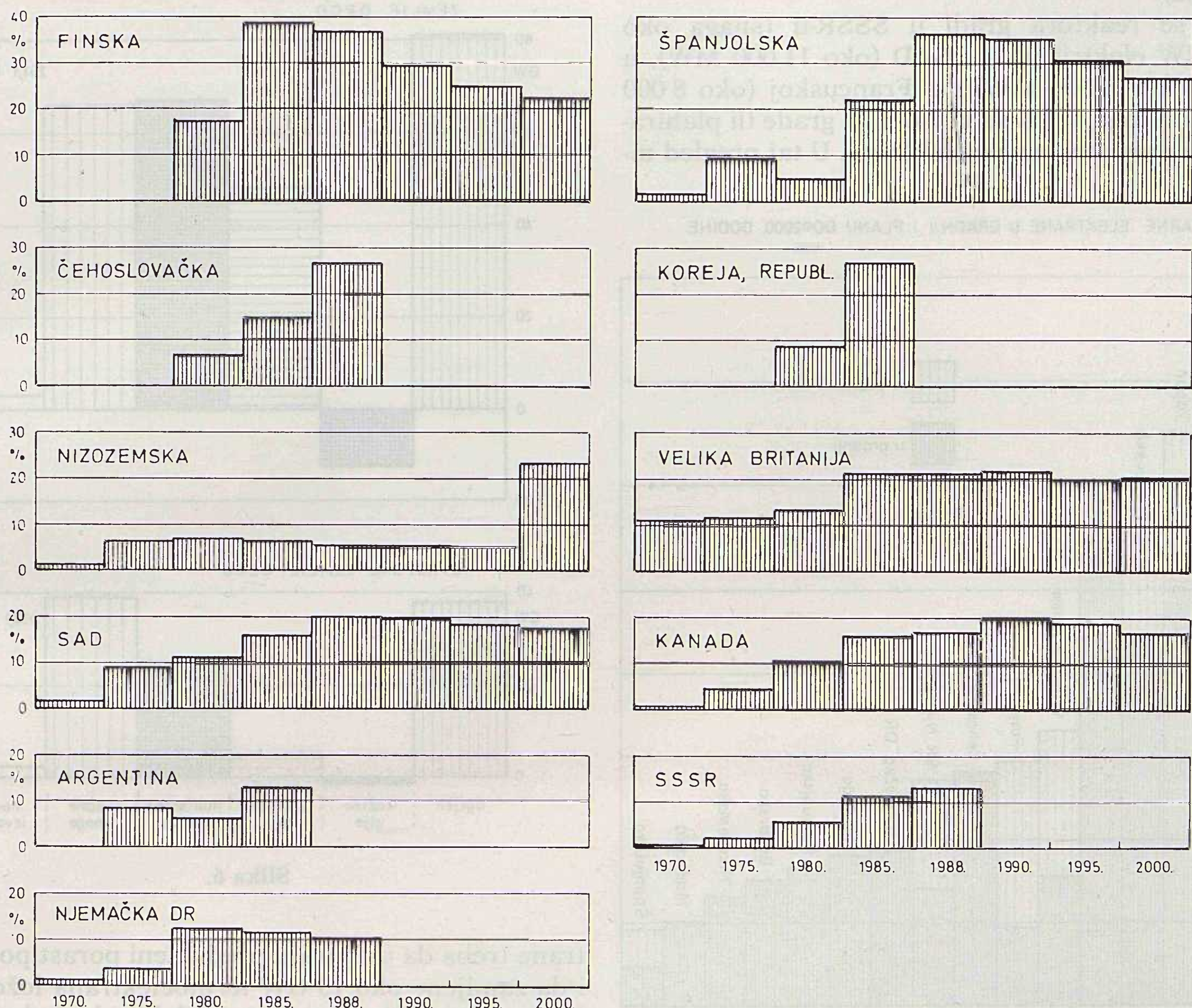
Slika 3.

Najveća je proizvodnja u nuklearnim elektranama ostvarena u SAD s tendencijom porasta proizvodnje. Među zemlje s velikom proizvodnjom mogu se ubrojiti Francuska, SSSR, Japan, SR Njemačka i Kanada (sl. 1). U svim tim zemljama očekuje se porast proizvodnje u nuklearnim elektranama, pa i u SSSR-u, za koji nema podatka za razdoblje nakon 1988. godine, ali za koji su, kako će se vidjeti, poznati podaci o gradnji brojnih nuklearnih elektrana. U većini zemalja s manjom proizvodnjom u nuklearnim elektranama očekuje se povećanje proizvodnje u budućnosti, pogotovo kad se uzmu u obzir, kako će se vidjeti, nuklearne elektrane u gradnji. Ima, međutim, zemalja u kojima se do 2000. godine ne predviđa povećanje proizvodnje u nuklearnim elektranama (Finska, Švicarska, Švedska). Poseban je slučaj Švedske gdje je odlučeno da će se postojeće nuklearne elektrane obustaviti pošto budu praktički amortizirane (uglavnom potkraj prvog desetljeća XXI. stoljeća). Među tim zemljama (sl. 2) najveća se proizvodnja ostvaruje u Velikoj Britaniji, Švedskoj, Španjolskoj i Belgiji. Zanimljivo je da je u posljednjim godinama ostvaren velik porast proizvodnje u nuklearnim elektranama u Finskoj, Koreji, Bugarskoj i Mađarskoj. Podaci o proizvodnji u nuklearnim elektranama ne daju pravu sliku o značenju te proizvodnje u elektro-

energetskom sistemu pojedine zemlje. Zbog toga su određeni udjeli proizvodnje u nuklearnim elektranama u ukupnoj proizvodnji električne energije (sl. 3. i 4). Podaci su u tim dijagramima prikazani za zemlje u kojima je udio nuklearnih elektrana veći od 10%. To su podaci za 19 zemalja, pa nisu prikazani podaci za Jugoslaviju, Indiju, Pakistan, Južnoafričku Republiku i Tajvan.

Najveći je udio nuklearnih elektrana u proizvodnji električne energije ostvaren u Francuskoj (više od 70% u 1988. godini s tendencijom da udio naraste na više od 80% u 2000. godini) i u Belgiji (više od 65% u 1988. godini, uz napomenu da će taj udio iznositi oko 60% u 2000. godini). Udio veći od 45% ostvaren je u Mađarskoj i Švedskoj, a oko 40% u Švicarskoj. Nešto manji udio od 40% ostvaren je ili će se ostvariti u SR Njemačkoj, Bugarskoj i Japanu. Nešto manji udio od 40% ostvaren je u Španjolskoj i Finskoj, ali s tendencijom smanjenja udjela. Veći udio od 25% ostvaren je u Čehoslovačkoj i Koreji, a nešto veći od 20% ili gotovo 20% u Nizozemskoj (2000. god.), Velikoj Britaniji, SAD i Kanadi. Konačno, veći udio od 10% ostvaren je u Argentini, SSSR-u i Njemačkoj DR. U ostalim zemljama udio nuklearnim elektranama u ukupnoj proizvodnji električne energije manji je od 4%.

UDIO PROIZVODNJE U NUKLEARNIM ELEKTRANAMA U UKUPNOJ PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE



Slika 4.

Prema tome, u 17 zemalja, a to su najrazvijenije zemlje u svijetu, udio nuklearnih elektrana u ukupnoj proizvodnji električne energije iznosi oko 20 % ili više. Visoki udjeli nuklearnih elektrana u proizvodnji električne energije pokazuju da su one zemlje koje su se odlučile na iskorištavanje nuklearne energije imale i energetske i ekonomske razloge za takvu odluku, te da su nezanemariv dio opskrbe električnom energijom povjerali toliko osporavanom obliku energije. Obustava nuklearnih elektrana u tim zemljama, za koju se zauzimaju antinuklearni pokreti, značila bi privrednu katastrofu za te zemlje, jer je poznato da i malo pomanjkanje električne energije (i od nekoliko postotaka) izaziva goleme poremećaje i u industrijskoj proizvodnji i u životu stanovništva. To potvrđuje i naše iskustvo.

Prema podacima Ekonomske komisije za Evropu [4] i Internacionalne energetske agencije u okviru OECD [6] moguće je odrediti snagu nuklearnih elektrana u gradnji i elektrana koje se namjeravaju graditi do oko 2000. godine (sl. 5). Zanimljivo je da među 95 reaktora koji se grade ili koji se namjeravaju graditi ima 75 reaktora s vodom pod tlakom (PWR), kakav postoji u Krškom, 9 reaktora s teškom vodom (PHWR, Kanada i Rumunjska), 7 reaktora tipa Černobil (LWGR, SSSR), 2 reaktora s kipućom vodom (BWR, SAD), 1 reaktor s ugljik-dioksidom (Velika Britanija) i 1 reaktor s brzim neutronima (FBR, SR Njemačka).

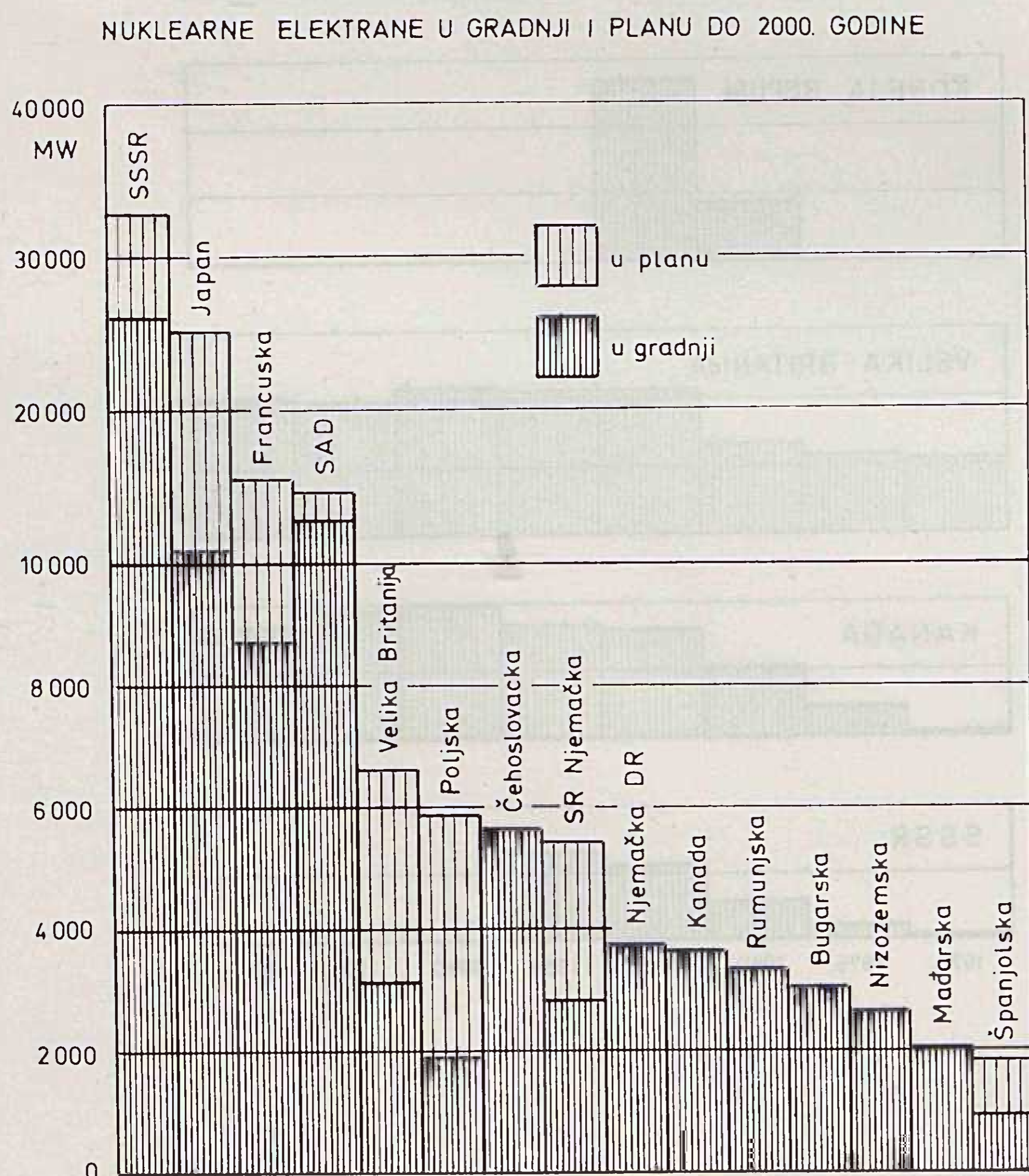
Najviše se reaktora gradi u SSSR-u (snaga oko 26 000 MW električnih), u SAD (oko 11 000 MW), u Japanu (oko 10 000 MW) i u Francuskoj (oko 8 000 MW). Osim toga, u još se 11 zemalja grade ili planiraju graditi nove nuklearne elektrane. U taj pregled ni-

su uključene izvan-evropske zemlje koje ne pripadaju grupaciji OECD, jer za njih nema raspoloživih podataka. Podaci na sl. 5. pokazuju da se u dvije zemlje grade nuklearne elektrane u kojima danas takve elektrane ne postoje. To su Poljska i Rumunjska.

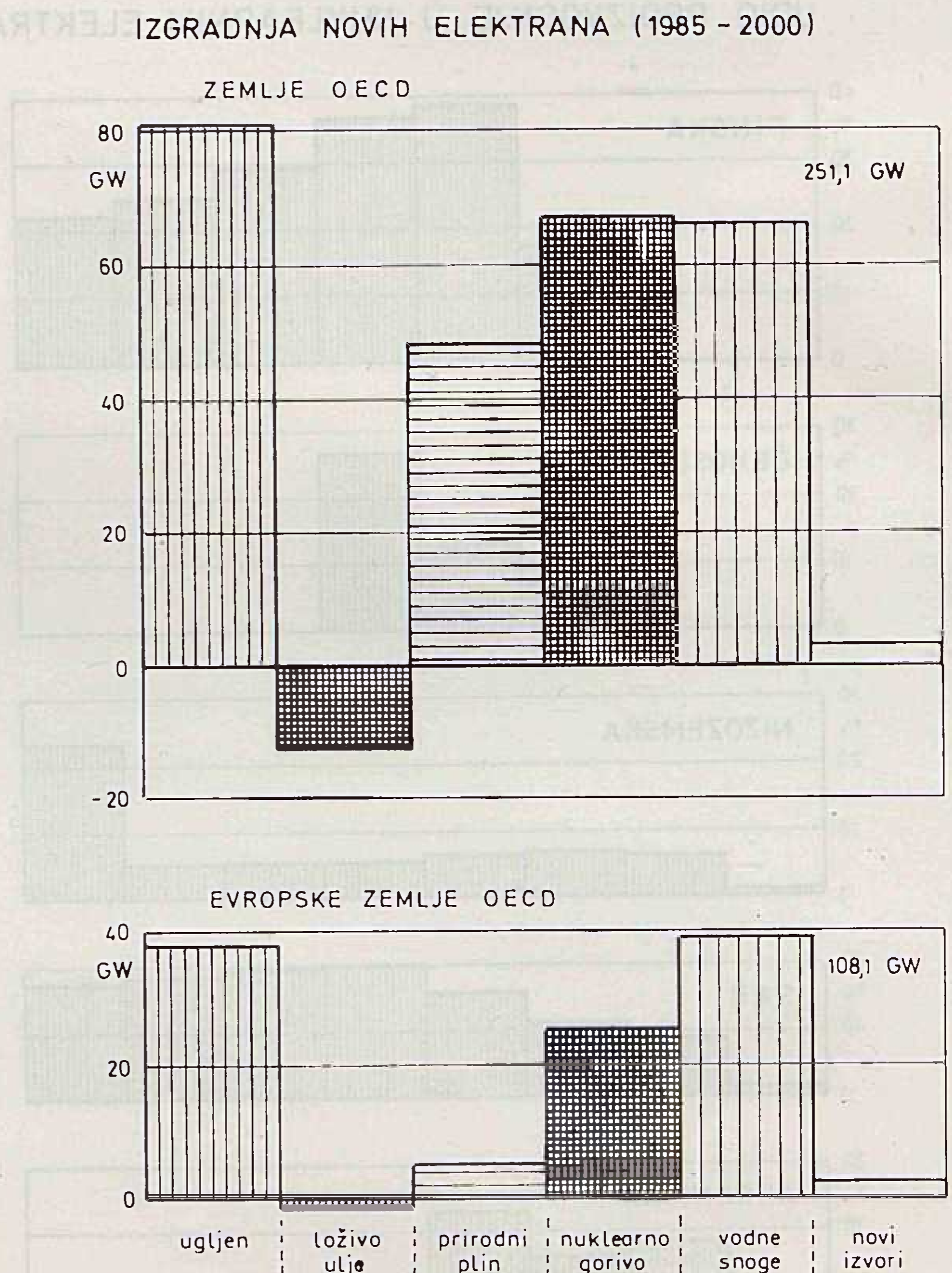
Prema tim podacima, za zemlje za koje su podaci raspoloživi, danas se grade nuklearne elektrane ukupne snage 85 000 MW, a planira se gradnja daljih 46 000 MW. Uz to treba spomenuti da su to podaci koje vlade dostavljaju Ekonomskoj komisiji Ujedinjenih naroda za Evropu, odnosno Internacionalnoj energetskej agenciji koja je organizacija u okviru OECD.

U sklopu razvoja buduće proizvodnje električne energije zanimljivo je promotriti planove gradnje svih novih elektrana u zemljama grupacije OECD [6].

Promatrajući sve zemlje grupacije OECD, u kojima će se u razdoblju od 1985. do 2000. godine staviti u pogon elektrane svih tipova snage oko 250 GW, može se konstatirati da će se u tom razdoblju staviti u pogon oko 80 GW u termoelektanama loženim ugljenom, oko 68 GW u nuklearnim elektanama, oko 66 GW u hidroelektanama, oko 47 GW u termoelektanama loženim prirodnim plinom, a tek oko 2,7 GW u elektanama na bazi ostalih primarnih oblika energije, u koje su uključeni treset (Finska, Irska), energija vjetra, energija Sunčeva zračenja (sl. 6). Te nove elek-



Slika 5.



Slika 6.

trane treba da osiguraju predviđeni porast potrošnje i da zamijene oko 13 GW termoelektana loženih loživim uljem koje će u tom razdoblju biti obustavljene. Prema tome, nove nuklearne elektrane čine oko

27 % snage novih elektrana. U zemljama OECD gradit će se, dakle, gotovo ravnopravno termoelektrane ložene ugljenom, nuklearne elektrane i hidroelektrane.

U evropskim zemljama grupacije OECD slika je nešto drugačija (sl. 6). Od ukupne snage u novim elektranama od oko 108 GW, po oko 38 GW bit će ostvareno u termoelektranama loženim ugljenom i hidroelektranama, a oko 25 GW u nuklearnim elektranama ili oko 23 % od ukupne snage elektrana. Udio novih elektrana loženih prirodnim plinom iznositi će samo 4 % od ukupne snage novih elektrana, dok će oko 0,6 GW termoelektrana loženih loživim uljem biti obustavljene. Iako je udio nuklearnih elektrana u evropskim zemljama grupacije OECD manji nego u svim zemljama te grupacije, ipak one predstavljaju zantan dio novih elektrana.

Snaga je novih nuklearnih elektrana u SAD (sl. 7) manja od snage novih termoelektrana loženih prirodnim plinom i ugljenom, ali ipak udio nuklearnih elektrana iznosi oko 20 % od ukupne snage novih elektrana. Zanimljivo je da će najveći dio novih elektrana u SAD biti loženo prirodnim plinom, iako je poznato da su rezerve prirodnog plina u toj zemlji dobro iscrpljene. To je vjerojatno uvjetovano ekološkim razlozima (smanjenje emisije sumpor-dioksida i ugljik-dioksida).

Sasvim je drugačija situacija u ostalim velikim industrijskim zemljama, u Japanu, Francuskoj, SR Njemačkoj i Velikoj Britaniji (sl. 7).

U Japanu će nešto više od polovice novih snaga u elektranama biti ostvareno gradnjom nuklearnih

elektrana, dok će ostale nove snage u elektranama biti podjednako raspodijeljene između termoelektrana loženih ugljenom, termoelektrana loženih prirodnim plinom i hidroelektrana. Te nove elektrane moraju zadovoljiti porast potrošnje i zamijeniti oko 10 GW termoelektrana loženih loživim uljem koje će se obustaviti.

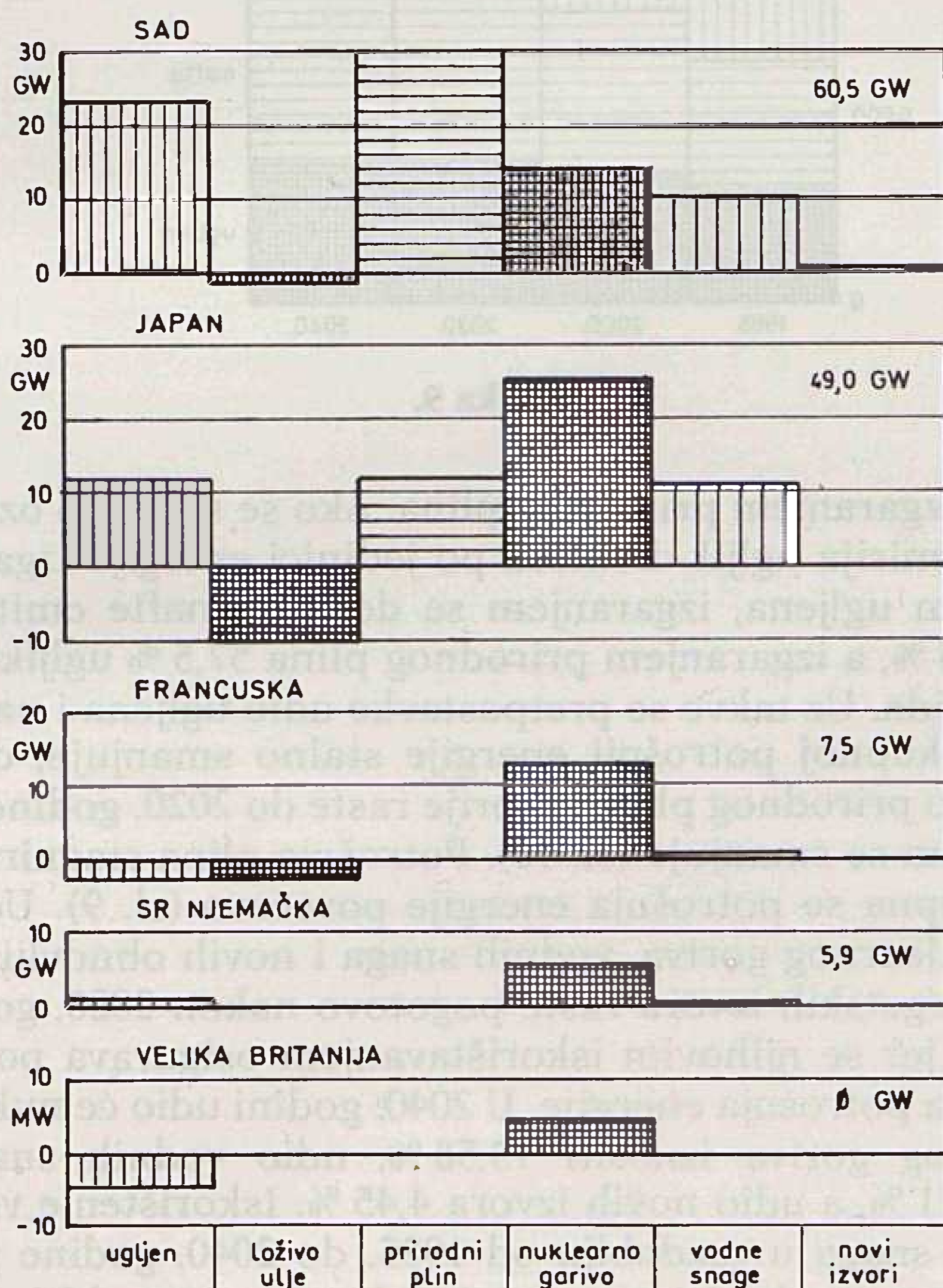
U Francuskoj se ne predviđa gradnja drugih tipova elektrana osim nuklearnih elektrana (12,9 GW) i nešto hidroelektrana (0,4 GW). Te nove elektrane, osim osiguranja zadovoljenja porasta potrošnje, imaju zadatak da zamijene dotrajale termoelektrane ložene ugljenom (2,6 GW), termoelektrane ložene loživim uljem (2,5 GW) i termoelektrane ložene prirodnim plinom (0,3 GW).

U SR Njemačkoj ne predviđa se veliko povećanje snage elektrana u promatranom razdoblju, ali će najveći dio novih snaga biti ostvareno u nuklearnim elektranama (5,4 GW), a tek manji dio u termoelektranama loženih ugljenom (0,8 GW) i hidroelektranama (0,1 GW). Obustavit će se oko 0,6 GW termoelektrana loženih loživim uljem.

U Velikoj Britaniji gradit će se samo nuklearne elektrane (4,6 GW) koje će zamijeniti dotrajale termoelektrane ložene ugljenom.

Prema tome, u zemljama OECD gradit će se više-manje ravnopravno svi tipovi elektrana koji su tehnički i komercijalno provjereni, a nuklearne elektrane predstavljat će nešto više od četvrtine snage novih elektrana. U velikim industrijskim zemljama te grupacije, osim u SAD, među novim elektranama dominantan će položaj imati nuklearne elektrane. U SAD one neće biti na prvom mjestu, ali će njihov udio u novim elektranama ipak biti zantan (oko 20 %).

IZGRADNJA NOVIH ELEKTRANA (1985 - 2000)

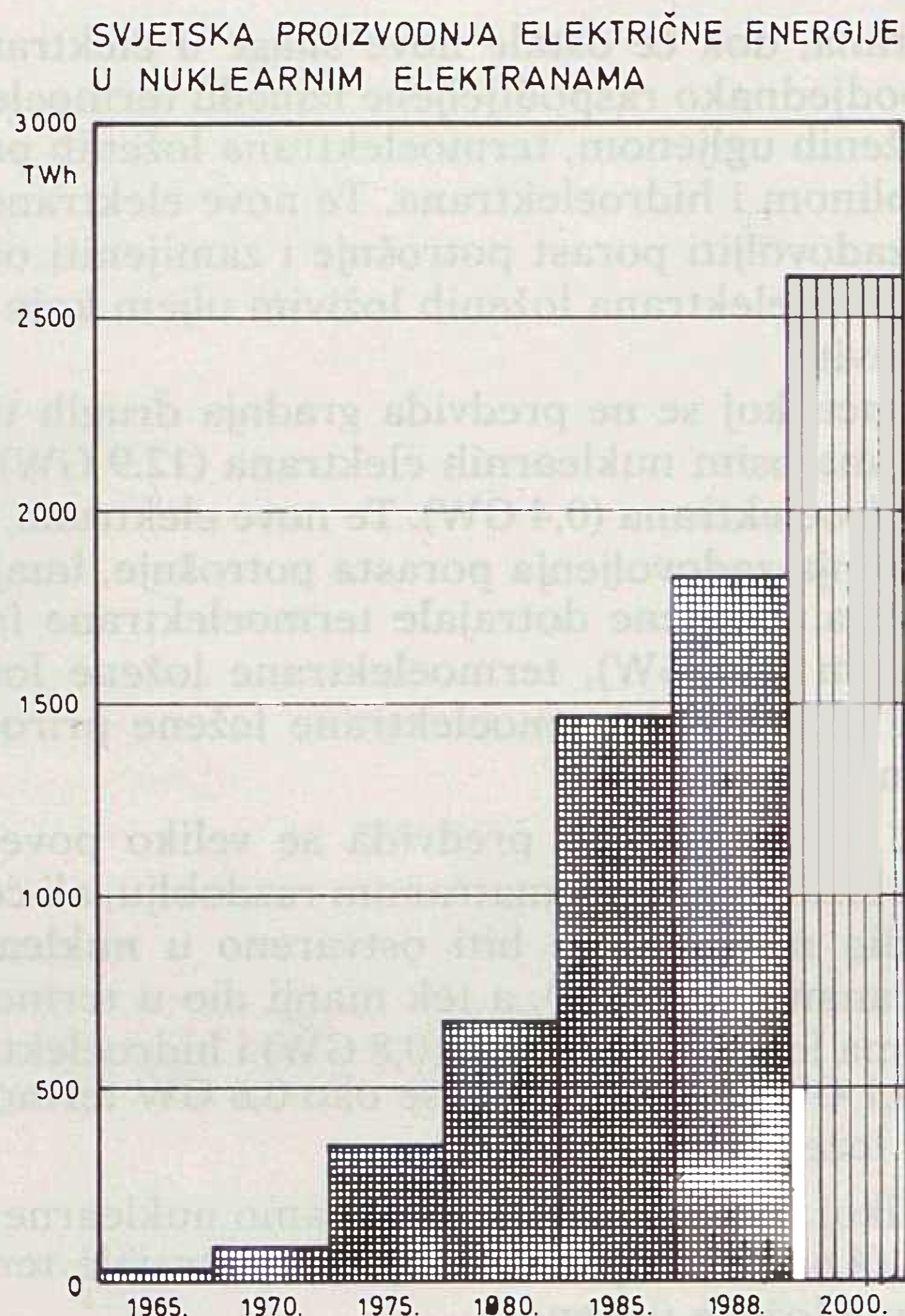


Slika 7.

### 3. RAZVOJ NUKLEARNE ENERGETIKE U SVIJETU

Ako se promatra svijet kao cjelina, može se konstatirati da je gradnja nuklearnih elektrana nastavljena, uz sve spomenute zapreke i djelovanje antinuklearnih pokreta, što potvrđuje ekonomsku i energetske opravdanost takvog tipa elektrana. Taj nastavak gradnje pokazuje povećanje proizvodnje u nuklearnim elektranama (sl. 8). Proizvodnja do 1985. godine obuhvaća proizvodnju u svim zemljama [1 i 7]. Proizvodnja u 1988. godini obuhvaća proizvodnju u zemljama Evropske komisije za Evropu [5] i u Japanu [6]. Tako iskazana proizvodnja u 1988. godini nešto je manja od stvarne, jer ne obuhvaća proizvodnju u neevropskim zemljama koje nisu u okviru Ekonomske komisije za Evropu i u grupaciji OECD (Koreja, Argentina, Južnofrička Republika, Indija, Pakistan i Tajvan).

Na sl. 8. prikazana je očekivana proizvodnja u 2000. godini koja je određena na temelju podataka o snazi nuklearnih elektrana koje se grade i koje su predviđene za gradnju (sl. 5). U tu predviđenu proizvodnju nije uključeno povećanje proizvodnje u razdoblju od 1985. do 2000. godine u spomenutim izvan-evropskim zemljama.



Slika 8.

Ostvarena je proizvodnja u nuklearnim elektranama u svijetu iznosila:

1975.	352 TWh
1980.	673 TWh
1985.	1 453 TWh
1988.	1 817 TWh

dok očekivana proizvodnja iznosi

2000.	2 601 TWh.
-------	------------

Udio električne energije proizvedene u nuklearnim elektranama u ukupnoj proizvodnji električne energije iznosi:

1975.	3,40 %
1980.	8,17 %
1985.	15,02 %
1988.	17,43 %
2000.	18,60 %

što znači da je proizvodnja u nuklearnim elektranama brže rasla nego ukupna proizvodnja električne energije.

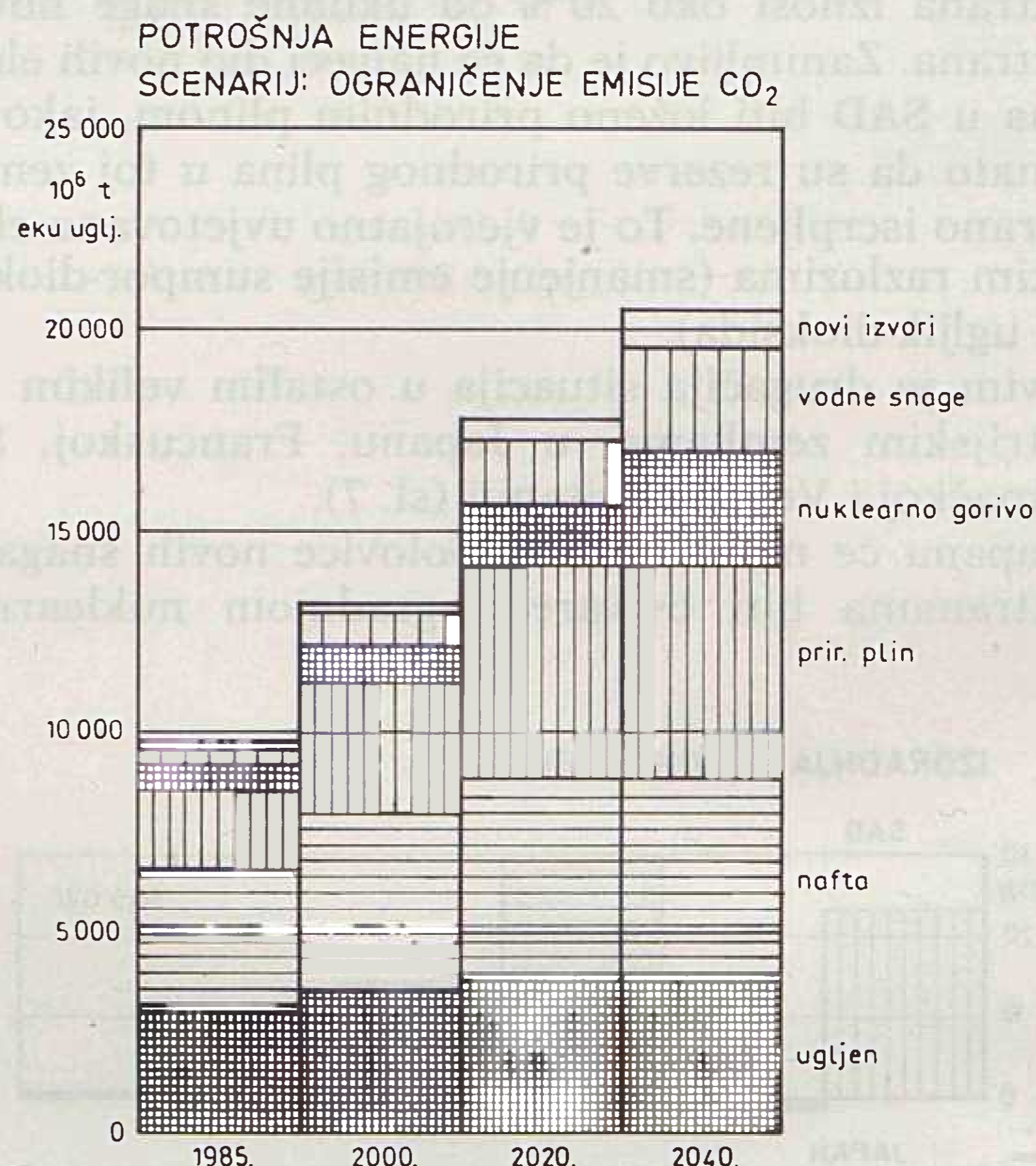
Kad se promatra dalji razvoj proizvodnje električne energije u nuklearnim elektranama, ne smije se zanemariti problem emisije ugljik-dioksida u atmosferu izgaranjem fosilnih goriva i utjecaj te emisije na povećanje njegove koncentracije u atmosferi.

Da bi se upozorilo na taj problem, prikazat će se jedan od mogućih scenarija razvoja energetike kojim se nastoji smanjiti emisija ugljik-dioksida [8]. U tom je scenariju predviđena intenzivna racionalizacija upotrebe energije, pa se računa sa sljedećom potrošnjom energije u kilogramima ekvivalentnog ugljena po dolaru društvenog proizvoda:

1985.	0,846
2000.	0,703
2020.	0,535
2040.	0,352

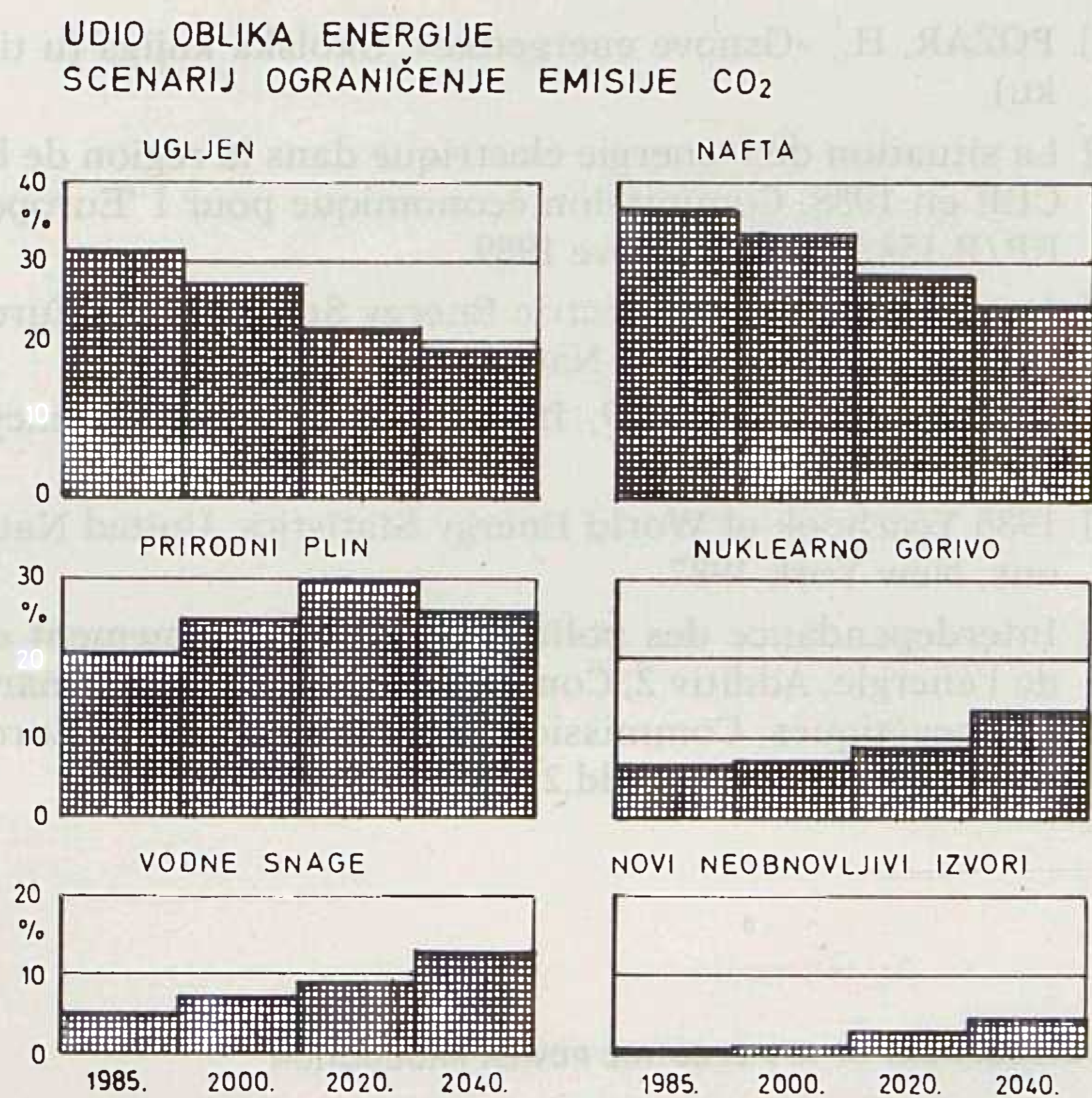
što znači da će se u razdoblju od 2000. do 2040. godine potrošnja energije po jedinici vrijednosti društvenog proizvoda smanjiti na polovicu.

Prema tom scenariju, upotrijebljena količina fosilnih goriva (ugljen, nafta, prirodni plin) raste do kraja 2020. godine, a zatim stagnira (sl. 9). Nakon toga se porast potrošnje energije pokriva povećanjem upotrebe nuklearnog goriva, vodnih snaga i novih obnovljivih energetske izvora. Najveći se dio porasta potrošnje fosilnih goriva, do 2020. godine, osigurava povećanjem potrošnje prirodnog plina, zatim povećanjem potrošnje nafte, a tek onda povećanjem potrošnje ugljena. Takva je struktura potrošnje fosilnih goriva predviđena da bi se što više smanjila emisija ugljik-dioksida, jer se najmanje ugljik-dioksida dobi-



Slika 9.

va izgaranjem prirodnog plina. Ako se sa 100 % označi emisija ugljik-dioksida po jedinici energije izgaranjem ugljena, izgaranjem se derivata nafte emitira 80,5 %, a izgaranjem prirodnog plina 57,5 % ugljik-dioksida. Uz takve se pretpostavke udio ugljena i nafte u ukupnoj potrošnji energije stalno smanjuje, dok udio prirodnog plina najprije raste do 2020. godine, a zatim se smanjuje (sl. 10). Potrošnja plina stagnira a ukupna se potrošnja energije povećava (sl. 9). Udio nuklearnog goriva, vodnih snaga i novih obnovljivih energetske izvora raste pogotovo nakon 2020. godine, jer se njihovim iskorištavanjem osigurava povećana potrošnja energije. U 2040. godini udio će nuklearnog goriva iznositi 13,58 %, udio vodnih snaga 12,71 %, a udio novih izvora 4,45 %. Iskorištenje vodnih snaga u razdoblju od 1985. do 2040. godine porast će za oko 5,6 puta, pa će tako vjerojatno biti potpuno iskorištene vodne snage u razvijenijim zemlja-

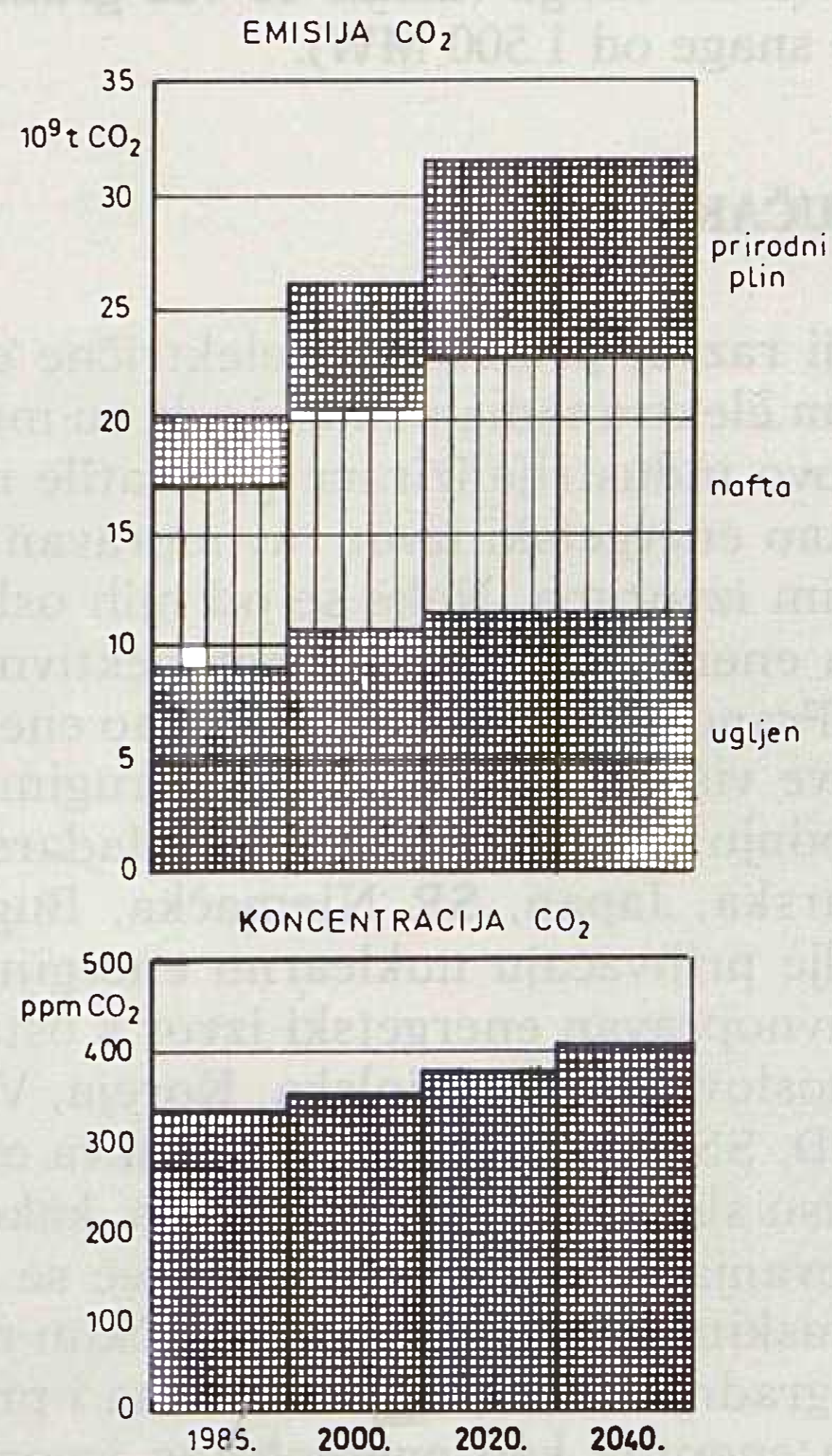


Slika 10.

ma. Vodne snage u najmanje razvijenim zemljama ne mogu se naime racionalno iskoristiti, pogotovo vodne snage velikih vodotoka, zbog male potrošnje energije u tim područjima i zbog velike udaljenosti od većih potrošačkih središta. Iskorištenje novih obnovljivih izvora povećat će se, prema tom scenariju, za oko 30 puta, što se može smatrati više optimističkom nego pesimističkom pretpostavkom s obzirom na malu energetska gustoću tih izvora i na promjenljivost njihove intenzivnosti.

Emisija će se ugljik-dioksida do 2020. godine povećavati, a zatim će ostati konstantna, jer će potrošnja fosilnih goriva ostati nepromijenjena (sl. 11). Tada će svaki od fosilnih goriva podjednako sudjelovati u emisiji ugljik-dioksida. Zbog toga će se povećavati koncentracija ugljik-dioksida u atmosferi od 333 ppm u 1985. godini na 406 ppm u 2040. godini. Ta će koncentracija i uz održavanje konstantne emisije rasti, da bi 2080. godine iznosila oko 479 ppm ugljik-dioksida u atmosferi. Kakav će ta koncentracija imati utjecaj na klimatske prilike na planetu, teško je reći, ali se može tvrditi da taj utjecaj na većinu područja neće biti pozitivan. Održavanje konstantne emisije ugljik-dioksida, međutim, tražit će dalje povećanje iskorištenja nuklearnog goriva i novih obnovljivih izvora uz manji porast iskorištenja vodnih snaga. Dakako da to povećanje iskorištenja ovisi o razvoju potrošnje energije.

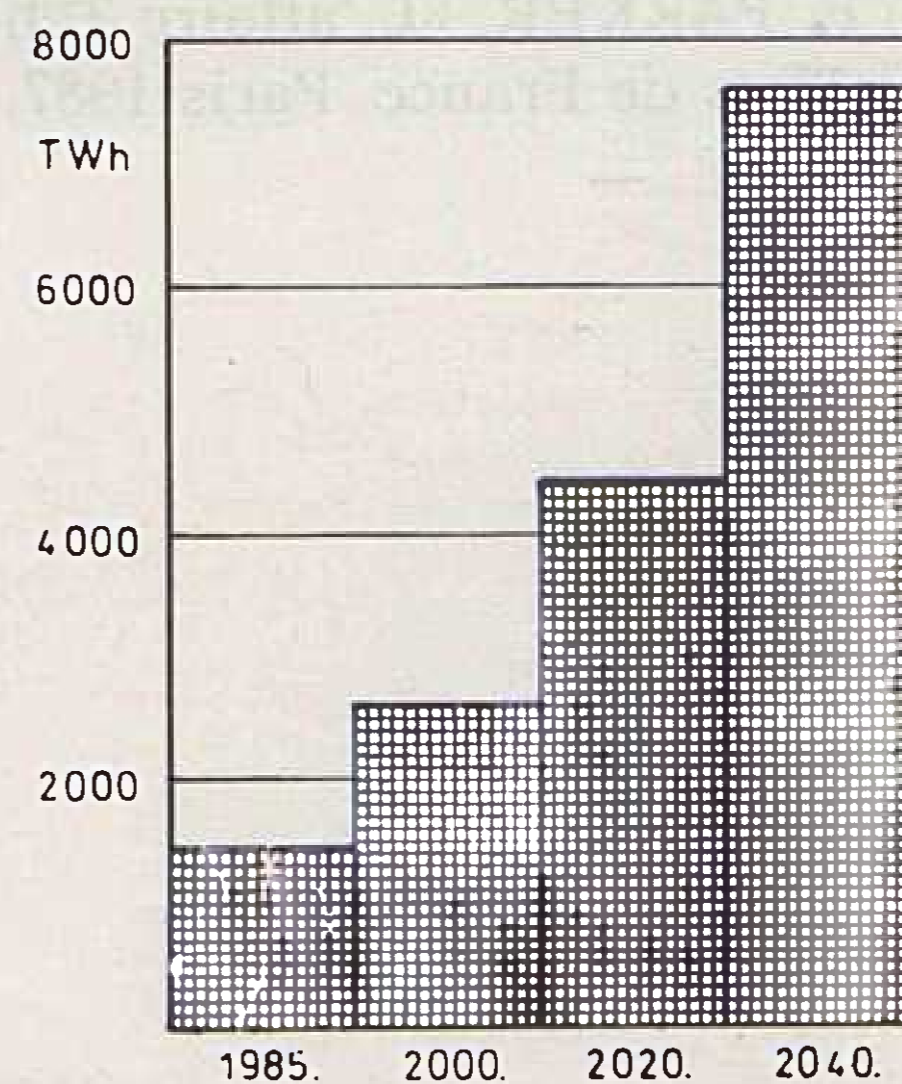
Takav scenarij razvoja, koji nije daleko od realnosti, iako je optimistički s obzirom na moguće smanjenje potrošnje energije po jedinici društvenog proizvoda, traži, dakle, povećano iskorištavanje nuklearnog goriva, bez obzira na to da li će se to ostvariti u reaktorima s termičkim neutronima ili u reaktroima s brzim neutronima. U 2020. godini potrebna bi proizvodnja električne energije u nuklearnim elektranama iznosila 4 450 TWh, a u 2040. godini 7 800 TWh (sl. 12). Ako se računa da će se u 2020. godini 40 % ukupne energije upotrijebiti za proizvodnju električne

EMISIJA I KONCENTRACIJA CO<sub>2</sub>  
SCENARIJ OGRANIČENJE EMISIJE CO<sub>2</sub>

Slika 11.

ne energije, u nuklearnim bi se elektranama proizvelo 20,6 % ukupne električne energije. Ako se, međutim, računa da će se u 2040. godini 45 % ukupne energije iskoristiti za proizvodnju električne energije, udio će nuklearnih elektrana u proizvodnji električne energije iznositi 28,1 %.

Može se, dakle, očekivati povećanje udjela nuklearnog goriva u opskrbi energijom, što će se ostvariti iskorištavanjem toga goriva za proizvodnju električne energije. Upotreba nuklearnog goriva za opskrbu toplinom može, naime, doći u obzir samo u sasvim iznimnim slučajevima jer je teško ostvariti masovnu potrošnju topline na malom području. Transport topline ne veće udaljenosti nije, naime, ekonomičan, a niti izgradnja reaktora male snage, jer su zaštitni uređaji praktički jednaki za reaktor male snage kao i

PROIZVODNJA NUKLEARNIH ELEKTRANA  
SCENARIJ OGRANIČENJE EMISIJE CO<sub>2</sub>

Slika 12.

za snažni reaktor. Zbog toga se danas i teži izgradnji reaktora velikih snaga (danas se već grade reaktori električne snage od 1 500 MW).

#### 4. ZAKLJUČAK

Dosadašnji razvoj proizvodnje električne energije u nuklearnim elektranama pokazuje da su mnoge zemlje, pogotovo industrijalizirane prihvatile nuklearnu energiju kao energetski izvor ravnopravan s drugim energetskim izvorima. Neke se od njih oslanjaju na nuklearnu energiju kao jedini perspektivni energetski izvor (Francuska, Belgija), neke kao energetski izvor koji sve više prevladava među drugim izvorima za proizvodnju električne energije (Mađarska, Švedska, Švicarska, Japan, SR Njemačka, Bugarska), a neke zemlje prihvaćaju nuklearnu energiju više-manje kao ravnopravan energetski izvor s ostalim izvorima (Čehoslovačka, Španjolska, Koreja, Velika Britanija, SAD, SSSR). Takav razvoj i takva energetska politika nisu slučajna i nije posljedica, kako se često čuje, djelovanja nuklearnog lobija, već se to osniva na ekonomskim, energetskim i političkim razlozima. Odluke o gradnji nuklearnih elektrana i prihvaćanje nuklearne energije kao energetskog izvora sigurno su bile dobro promišljene jer se radi o ulaganju vrlo velikih sredstava i o odlukama koje imaju dugoročan utjecaj i na energetske i ekonomske prilike u tim zemljama.

Svidalo se to nekome ili ne, svijet postaje sve više nukleariziran, pa bi se, s gledišta antinuklearnih pokreta, moglo postaviti pitanje da li su svi državnici, poslovni ljudi koji odlučuju o gradnji nuklearnih elektrana i koji ne dopuštaju njihovo obustavljanje, da li su svi znanstveni radnici koji preporučuju gradnju takvih postrojenja, luđaci, zločinci ili, jednostavno, plaćenici. Ili oni jasno sagledavaju budućnost, ne samo s energetskog nego i s ekološkog stajališta, usprkos medijskom pritisku, usprkos širenju straha među stanovništvom i usprkos antinuklearnim mitinzima.

#### LITERATURA

- [1] POŽAR, H., »Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima«, Prvi svezak, Informator, Zagreb 1983.
- [2] LECERF, Y., E. PARKER, »L'affaire Tchernobyl«, Presses Universitaires de France, Paris 1987.

- [3] POŽAR, H., »Osnove energetike«, Školska knjiga (u tisku)
- [4] La situation de l'énergie électrique dans la région de la CEE en 1988, Commission économique pour l'Europe, EP/R.154/Add. 2, Genève 1989.
- [5] Annual Bulletin for Electric Energy Statistics for Europe, 1980 – 1988, United Nations, New York 1989.
- [6] Coal Information 1989, International Energy Agency, Paris 1989.
- [7] 1985 Yearbook of World Energy Statistics, United Nations, New York 1987.
- [8] Interdependance des politiques de l'environnement et de l'énergie, Additiv 2, Concentration en CO<sub>2</sub> et scénarios énegétiques, Commission économique pour l'Europe, ENERGY/AC.10/Add,2, Genève 1989.

#### A DEVELOPMENT OF NPP ELECTRIC POWER PRODUCTION

In the article is presented a historical development of NPP in the world with the review of up-to-day situation (1988 year) with regional and state electric power production, forecast of conditions till 2040 year, with an attractive explanation of antinuclear movement.

#### ENTWICKLUNG DER ENERGIEVERSORGUNG IN KERNKRAFTWERKEN

Nach der geschichtlichen Übersicht der Entwicklung der Kernkraftwerke in der ganzen Welt, wird ein Überblick des heutigen (1988) Standes und des Anteils an der Erzeugung regional und in einzelnen Ländern, sowie die Voraussicht bis zum Jahr 2040 mit einer interessanten Erklärung der antinuklearen Bewegung gegeben.

#### РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ АТОМНЫМИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ

После исторического обзора развития атомных электростанций в мире, приводится обзор нынешнего (1989 г.) состояния отстройки и участие в производстве по регионам и отдельно взятым государствам, а также предположения до 2040 года с интересным объяснением антиатомного движения.

Naslov pisca:

**Akademik Hrvoje Požar, dipl. inž.**  
41000 Zagreb, Trg D. Iblera 5, Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:  
1990-03-12



# NOVE VEZE 110 kV IZMEĐU HRVATSKE I BOSNE I HERCEGOVINE

Mr. Zdenko Tonković, Zagreb

UDK 621.316.1:621.315.1

STRUČNI RAD

U članku se iznose novi pogledi na povezivanje 110 kV vodivima elektroenergetskog sistema Hrvatske i okolnih sistema, s posebnim osvrtom na rezultate novih studija razvoja granične mreže 110 kV s Bosnom i Hercegovinom prihvaćenih u Elektroprivredi Hrvatske.

**Ključne riječi:** razvoj mreže 110 kV Hrvatske, međurepubličko povezivanje.

Općenita je tendencija da se međurepubličke veze 110 kV ne pojačavaju. Međutim, kašnjenje izgradnje mreže unutar vlastitih granica ili potreba pojačavanja sigurnosti najekonomičnijim zatvaranjem petlji vodili su omekšavanju takvog stava. Međurepubličke veze 110 kV ne samo da ne atrofiraju nego se pojačavaju, barem na primjeru Hrvatske. Način njihova pogona ovisit će o konkretnim prilikama u sistemu.

Kada je riječ o vezama sa Slovenijom, kažimo da je kompleksna analiza uloge voda Samobor — Brestanica u ljubljanskom i zagrebačkom Institutu dovela do odluke da se supstituiraju dvosistemskim vodom, čime će se pojačati veza zagrebačkog područja i Dolenjske (koja će se energetske osamostaliti izgradnjom savskih elektrana i TS 400/110 kV Krško).

Slična studijska razrada ukazala je na korisnost saniranja veze Koper — Buje prije svega sa stajališta sigurnijeg napajanja konzuma zapadne obale Istre, ali je to čvršće povezivanje Istre i Primorske interesantno i za »Soške elektrane«. Uskoro će se ova inicijativa prodiskutirati na sastanku obiju elektroprivreda i donijeti odgovarajuća odluka.

Jednako tako je na području »Elektroprivrede Rijeke« zaključeno da treba održavati vod Matulji — Ilirska Bistrica usprkos njegovoj neadekvatnosti za intenzivniju razmjenu (dionica od desetak km s vodičima Cu 80).

Na sličan način revidirane su 110 kV veze Hrvatske i Bosne i Hercegovine. U ovom prilogu izlažemo glavne rezultate prihvaćene u obje republičke elektroprivrede.

## I

Za dvosistemski vod Sisak — Banja Luka moglo bi se reći da je točno ispunio svoj pretpostavljeni vijek trajanja: pušten je u pogon u prosincu 1957, a srušio se u studenom 1987. Imao je važnu povijesnu ulogu u razvoju jugoslavenskog elektrosistema kao vod kojim je na 110 kV izvršena sinhronizacija centralnog i zapadnog dijela sistema.

U havariji prije dvije godine, 15. studenog 1988, dalekovod je bio toliko oštećen od Pračnog do lokacije Kostajnički Majur u dužini 24,7 km (od ukupno 35,1 km do Une) da je trasa potpuno »očišćena«: demontirani su ostaci stupova i uža. Dalje od Kostajničkog Majura i na teritoriju BiH dalekovod nije stradao [1].

Ta šteta inicirala je pitanje što sada učiniti s tim dalekovodom odnosno njegovom trasom: da li ga integralno rekonstruirati, sasvim napustiti, čuvati trasu za neki novi vod ili naći neko drugo rješenje. Problem je rješavan u Institutu za elektroprivredu u Zagrebu [2]. Dijagnoza tekućih problema sistema na promatranom dijelu mreže sisačkog područja, kao i onih na strani Bosne i Hercegovine usmjerila je razmišljanja.

U svom životnom vijeku prešao je taj vod put od istaknute interkonektivne pa preko regionalne do konačno sasvim rezervne funkcije.

Postupno su na njegove trojke »kišobranski« prikapčani odvojci s vodičima 150 Al/Č: 1962. priključen je na jednu trojku Prijedor 1, a petnaestak godina kasnije 1976. na drugu trojku Bosanska Dubica. Mijenjana su imena krajnjih čvorišta od onih prvotnih Jajce — Zagreb, dok napokon nisu međurepublička incidencija postale veze:

Pračno — Bosanska Dubica

46,6 km s vodičima 3 × 240 Al/Č

11,5 km s vodičima 3 × 150 Al/Č

Pračno — Prijedor 1 59,5 km s vodičima 3 × 240 Al/Č

6,4 km s vodičima 3 × 150 Al/Č

Razvoj sistema marginalizirao je ulogu promatranog voda, i polazno je bilo jasno da ga nema smisla obnoviti u prvotnom stanju. Međutim, njegovu smo trasu željeli iskoristiti za rješavanje problema na sisačkom području — uz dalje zadržavanje međurepubličke veze (čuvanje trase, rezerve u napajanju za čvorišta s obje strane Une). Ocijenjeno je — s obzirom na druge veze i pogledom u dispečerske izvještaje o ostvarenim snagama razmjene (ne većim od prirodne snage jedne trojke i poznatim planovima razvoja) — da će za ovu »pomoćnu« interkonekciju dostajati prijenos-

ni kapacitet jedne trojke Al/Č 240 (termička granica 115 MVA).

Na području »Elektre Sisak« urgentna je potreba osiguravanja potrošnje TS 35/10 kV Sunja i TS 35/(20) 10 kV Kostajnica koje se nalaze serijski spojene na jednom dugom radijalnom 35 kV kraku iz Pračnog: Pračno — Sunja, 19,78 km:  $3 \times 95$  Al/Č i Sunja — Kostajnica, 11,45 km :  $3 \times 95$  Al/Č.

Već za postignut nivo potrošnje padovi napona su na granici dozvoljenih. Uz kvalitetu napona treba valorizirati i pitanje sigurnosti ovog poteza, jer kvarom na dijelu Pračno — Sunja (na vodu ili u vodnom polju) ostaju bez mogućnosti opskrbe energijom i Sunja i Kostajnica (kako se to u prošloj havariji evidentno demonstriralo).

Prirodno je bilo pomišljati da se taj problem riješi zatvaranjem petlje izgradnjom voda Pračno — Kostajnica. Novi vod gradio bi se po trasi srušenog, i to kao jednostruki 110 kV, a u pogonu bi bio pod 35 kV — sve dok Kostajnica ne sazrije do 110 kV čvorišta.

Takvo rješenje sanacije voda Pračno — Banja Luka predviđa, dakle, ponovnu restauraciju dvosistemskog voda upravo po dužini srušene dionice — do Kostajnice, a dalje bi se tretirao kao jednosistemski do odvojka za Bosansku Dubicu. Trojka koja završava u Kostajnici bila bi u pogonu pod naponom 35 kV, dok bi druga prosljedile pod 110 kV preko Une.

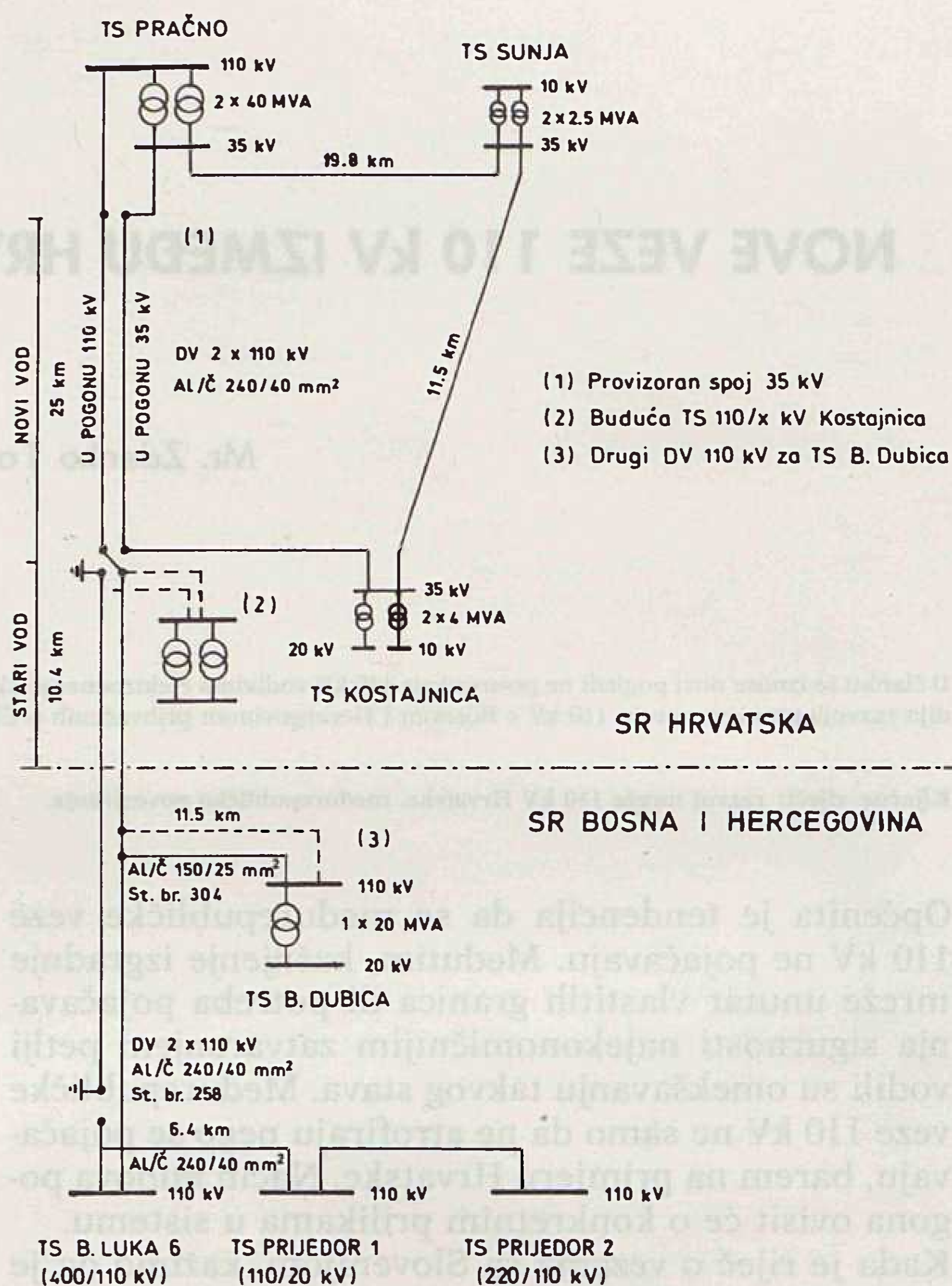
Drugo rješenje bilo bi da se izgradi jednosistemski vod od Pračnog do Kostajnice, i to kao 110 kV, ali da bude u pogonu pod 35 kV. Na taj način riješio bi se problem Kostajnice. Za slučaj potrebe napajanja Bosanske Dubice iz Pračnog, vod bi se u Pračnom prebacio sa 35 kV sabirnice na 110 kV i premostio u Kostajnici, koja bi sada ostala na Pračnom preko Sunje (kao danas). To rješenje bilo bi samo kao vod jeftinije, ali ga ukupno poskupljuje potreba rastavljača u Kostajnici (za premoštavanje na 110 kV).

Treće rješenje je trivijalno, jer ne uzima u obzir BiH, nego se samo gradi jednosistemski vod 110 kV od Kostajnice i eksploatira pod 35 kV (dok se Kostajnica ne pojavi kao 110 kV čvorište, kada se ponovo otvara mogućnost povezivanja sa BiH na 110 kV).

Objedinjavajući oba interesa: interkonekcije i razvoja sisačkog područja, prema prijedlogu [1], usvojeno je u zagrebačkom »Elektroprenosu« rješenje da se srušeni dio dalekovoda Pračno — Banja Luka obnovi kao dvosistemski (dvije trojke na istom stupu) do Kostajnice (što praktički znači upravo cijelu srušenu dionicu), i to kao 110 kV [3].

Jedna trojka bi se uvela u Kostajnicu i bila bi u pogonu pod 35 kV — na taj način zatvorili bi petlju Pračno — Sunja — Kostajnica. Druga trojka prosljedila bi do zdravoga dijela postojećeg dalekovoda i priključila se na onu trojku na kojoj visi Bosanska Dubica. Preostala i neangažirana trojka zdravog dijela postojećeg dalekovoda Pračno — Banja Luka bi se uzemljila. Ta ideja sanacije rezimirana je na sl. 1, i prema njoj je projektiran novi vod  $2 \times 110$  kV [4].

Ovakvim rješenjem ostvarit će se dvije trojke na istom stupu u pogonu pod različitim naponima, o čemu će i inače trebati sve više razmišljati zbog prostornih ograničenja. Presedan već postoji (ako se ne



Slika 1.

računa davni provizorij Resnik-TETO u vrijeme gradnje elektrane): na trećini svoje trase izveden je DV 110 kV Varaždin — HE Čakovec kao dvosistemski (dionica Varaždin — Kneginec, dalje do HE Čakovec je jednosistemski), i druga trojka će biti u pogonu pod 35 kV uključena u mrežu distribucije [5]. Ovo su pionirska rješenja u mreži Hrvatske a, koliko nam je poznato, i u Jugoslaviji.

## II

Jedna trojka koja je privremeno izgubljena na vezi Sisak — Banja Luka ustvari je samo preseljena zapadnije: na pravac Glina — Vrnograč.

Naime, uz republičke granice nalaze se sa svake strane radijalno napajana čvorišta: Glina u Hrvatskoj i Vrnograč u Bosni i Hercegovini. Značenje i veličina konzuma koji gravitiraju tim čvorištima nameću nužnost osiguravanja dvostranog napajanja. Prije svega se to odnosi na kladuško područje jer se kvarom voda 220 kV Prijedor — Bihać ili transformatora 220/110 kV u Bihaću stvara radijalni krak od oko 125 km iz TS 220/110 kV Prijedor s uskim grlom u ishodišnom dijelu zbog voda Prijedor — Bosanska Krupa (i dalje do Bihaća) s vodičima presjeka 150 Al/Č, a da se tada i ne govori o naponskom profilu. Područje Velike Kladaše ostaje bez energije, kao i pri kvaru na vodu 110 kV Bihać — Cazin, a velike redukcije nužne

su ako bi se kvar dogodio na vodu Cazin – Velika Kladuša (zbog mogućnosti mreže 35 kV).

Dosadašnja razmišljanja bila su usmjerena na rješavanje problema unutar republičkih granica. Petlju preko Gline planirano je zatvoriti na Švarču. Aktualnost tog poteza ovisi o realizaciji očekivanog razvoja potrošnje na kordunsko-banijskom području koja bi nametnula nova čvorišta 110 kV (Vojnić, Topusko) i neophodnost dvostranog napajanja. U »konačnoj« perspektivi predviđeno je na karlovačkom području formiranje jedne TS 220/110 kV (na križanju vodova 220 kV Brinje – Mraclin i 110 kV Švarča – Vojnić) – i ta su sagledavanja u projekciji prostornog plana SR Hrvatske. Tako bi se promatrana regija nalazila između dvije TS 220/110 kV: Karlovac na zapadu i TE Sisak na istoku. Što se tiče kladušskog područja, dvostrano napajanje sagledavano je vodom na Bosanski Novi.

Međutim, integralno sagledavanje problema u cjelini elektroenergetskog sistema, bez utjecaja republičke granice, rezultiralo je ekonomičnijim i kvalitetnijim rješenjem. Iz takve perspektive nametnuo se pravac Glina – Vrnograč kao logično rješenje za obje strane. Njime se između čvrstih čvorišta Pračno i TS 220/110 kV Bihać zatvara petlja 110 kV ukupne dužine oko 100 km značajno povećavajući njezinu sigurnost i napajanje interpoliranih čvorišta.

Ispitivanja i jednostavni ekonomski interes pokazala su korisnost voda Glina – Vrnograč [6], koji je:

- upola kraći nego vod Vrnograč – (Bužim) – Bosanski Novi
- prijenosno dobro iskorišten, ovisno o angažiranju TE Sisak i smjeru razmjene »Zapad« – »Centar«
- rješenje za pouzdanije napajanje većeg konzuma (Glina – Petrinja a ne samo Bosanski Novi što bi bilo u alternativnoj varijanti)
- čvršće povezivanje pri kvarovima u mreži.

Na hrvatskoj strani zatvaranje Gline na Vrnograč odlaze potrebu kordunsko-banijske petlje iz Švarče (barem dionice Vojnić – Glina, oko 35 km), no može se pojaviti potreba pojačanja voda Pračno – Petrinja. Trasa voda projektirana je tako da se minimalno utječe na okolinu (s obzirom na šume ovog područja).

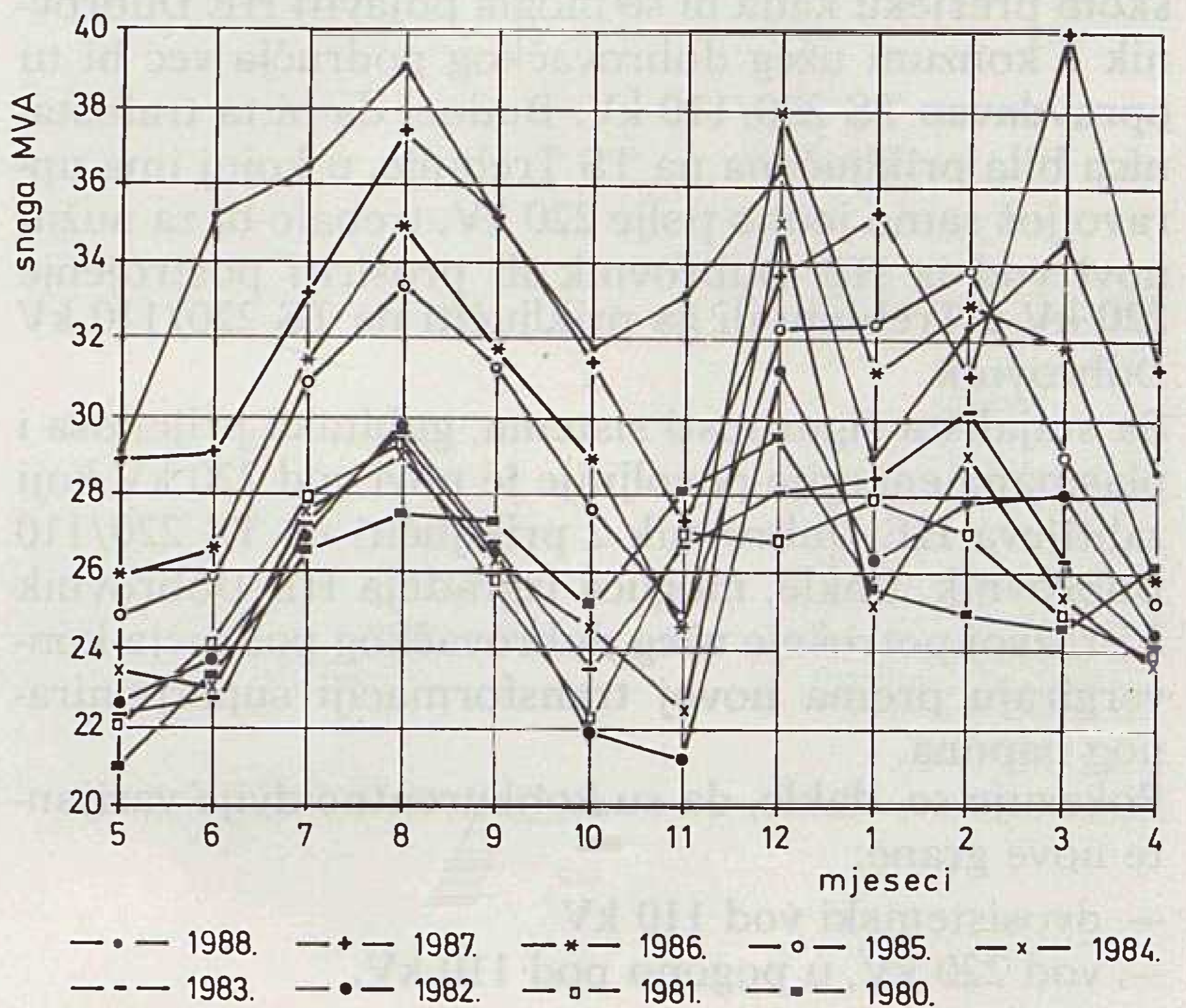
### III

Konzum južne Dalmacije već godinama urgira pojačavanja prijenosne mreže – kao područje s najugroženijim napajanjem u Hrvatskoj. Glavna pojna točka TS 110/35 kV Komolac neadekvatno je povezana sa sistemom: postojeći vod Trebinje – Komolac (17,6 km, u pogonu od 1969) ne zadovoljava više svojim presjekom (150 Al/Č), a još manje svojom sigurnošću. Rezervno napajanje ima samo simboličko značenje s obzirom na udaljenosti, prijenosni kapacitet voda i brojna interpolirana čvorišta. Potrošnja raste s izjednačenim zimskim i ljetnim maksimumom, što se zorno vidi u sinoptičkom prikazu konzuma 1980–88. na sl. 2. Analizom razvoja konzuma koji gravitira Komolcu prognozirano je dalji rast u sljedeća dva desetljeća:

MVA

1990.	1995.	2000.	2005.	2010.
44	56	68	81	99

Moguća je i pojava novih izvora na ovom području: HE Dubrovnik II (2 × 150 MW) i HE Ombla (59,5 MW).



Slika 2.

Stanje mreže i tendencije razvoja južne Dalmacije elaborirane su u Institutu za elektroprivredu Zagreb radi pronalazanja optimalnog rješenja svih relevantnih parametara: potrošnje i proizvodnje, aktualnih prostornih mogućnosti za trase, kao i polja u postrojenjima te njihove postojeće izgrađenosti [7]. Analiza podsistema između čvorišta superponirane mreže Zakućac, Trebinje i Mostar, koji je modeliran za potrebe ovih ispitivanja, rezultirala je novim pogledima na razvoj mreže 110 kV promatranog područja, a u ovom članku izlažemo samo odgovor na pitanje pojačavanja mreže južne Dalmacije, što praktički znači pitanje koncepcije novog voda Trebinje – Komolac. Prijedlog rješenja razvijen je u varijanti razvoja mreže 110 kV kao i u varijanti mreže 220 kV.

Razvoj mreže 110 kV za planirani porast potrošnje traži već za postignuti nivo još jednu trojku Trebinje – Komolac, a najkasnije na nivou potrošnje nazivne 2000. i drugu. To znači da bi novi vod 110 kV trebalo koncipirati kao dvosistemska, s otvorenom mogućnošću etapne montaže trojki. Potreban je ne zbog svog prijenosnog kapaciteta (2 × 115 MVA) nego radi osiguranja od posljedica ispada jedne trojke (što bi preopterećivalo stari vod s vodičima presjeka 150 mm<sup>2</sup>).

Moglo bi se razmišljati i o novom jednostrukom vodu 110 kV, no to bi uvjetovalo potrebu rekonstrukcije postojećeg voda.

Jednostruki novi vod zadovoljavao bi do kraja promatranog perioda 2010. i u slučaju pojave HE Ombla u ovom desetljeću (do presjeka potrošnje nazivne

2000, kada su potrebne dvije nove trojke Trebinje — Komolac).

Međutim, moguća pojava HE Dubrovnik II nametnula je traženje rješenja i u varijanti mreže 220 kV. Priključni vodovi postojeće HE Dubrovnik I ( $3 \times 2 \times 240$  Alč) ne zadovoljavaju i za evakuaciju energije HE Dubrovnik II ( $2 \times 150$  MW); potreban je barem još jedan vod 220 kV za sigurnu evakuaciju energije u sistem prema kriteriju ( $n-1$ ). U vremenskom presjeku kada bi se mogla pojaviti HE Dubrovnik 2 konzum užeg dubrovačkog područja već bi tu opravdavao TS 220/110 kV. Budući da bi ta trafostanica bila priključena na TS Trebinje, u kojoj ima upravo još samo jedno polje 220 kV, trebalo bi za nužni novi vod iz HE Dubrovnik ili proširiti postrojenje 220 kV u Trebinju ili ga priključiti na TS 220/110 kV Dubrovnik.

Sa stajališta sigurnosti sistema, gubitaka prijenosa i plasmana energije povoljnije je novi vod 220 kV koji zahtijeva HE Dubrovnik 2 priključiti na TS 220/110 Dubrovnik. Dakle, moguća izgradnja HE Dubrovnik 2 i razvoj potrošnje užeg dubrovačkog područja konvergiraju prema novoj transformaciji superponiranog napona.

Pokazuje se, dakle, da su konkurentne dvije varijante nove grane:

- dvosistemski vod 110 kV
- vod 220 kV, u pogonu pod 110 kV.

Između njih u troškovima izgradnje gotovo nema razlike, a procjenjujemo da im je podjednaka i sigurnost (barem mehanička, a električna je čak i veća od 220 kV).

Što se tiče siluete stupa, visine stupa za dvosistemski vod 110 kV i vod 220 kV približno su jednake, a u širini je vod 220 kV oko 1 m širi, no zato je vod 220 kV podatljiviji za uklapanje u krajolik.

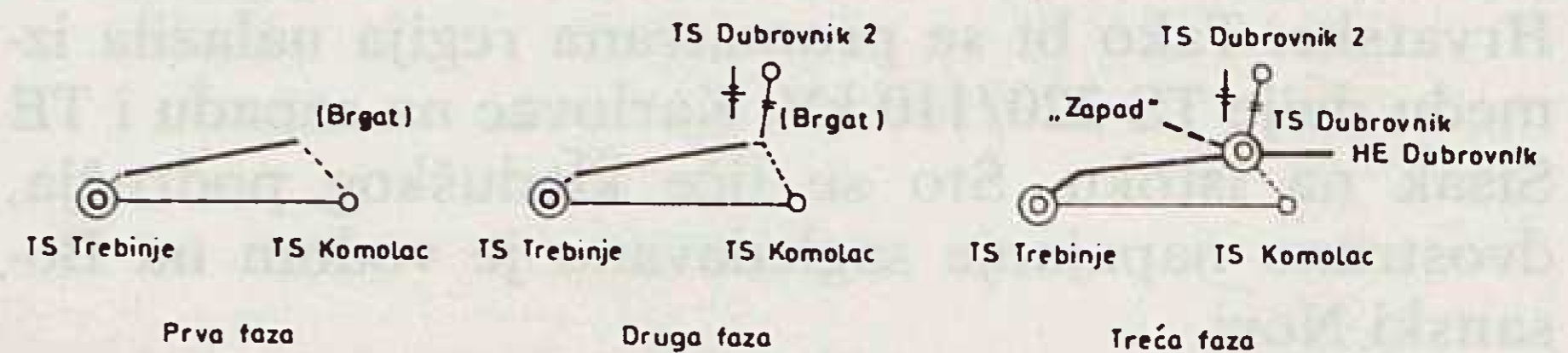
Dvosistemski vod 110 kV zadovoljava potrebe napajanja dubrovačkog područja. Uvode ga sigurnosni razlozi, a ne potreba prijenosnog kapaciteta, pa zato i ne razmišljamo o varijanti jednosistemskog voda s vodičima u snopu.

Rješenje s vodom 220 kV, u prvoj fazi u pogonu pod naponom 110 kV jednako tako zadovoljava za dubrovački konzum, no za razliku od rješenja sa 110 kV, otvoreno je potencijalnoj daljoj evoluciji sistema (iako ograničenog opsega zbog svih nedostataka 220 kV opcije): izvora (HE Dubrovnik 2), potrošnje, pojačavanja superponirane mreže (obalna petlja s mogućom drugom incidencijom na PHE Čapljina), eksploatacije (sigurnost, gubici tranzita), smanjenja opterećenja transformacije u TS Trebinje. Za decidiraniju odluku trebalo bi zbog varijante sa 220 kV proanalizirati razvoj superponirane mreže na znatno većem modelu sistema. Nemamo ni podatke o planovima razvoja crnogorskog elektroenergetskog sistema u graničnoj zoni prema hrvatskome.

Čini se, dakle, da je iz ukupnosti svih promatranih aspekata perspektivnije koncipirati novi vod Trebinje — Dubrovnik za 220 kV.

U [7] nismo istraživali najpogodniju lokaciju nove TS 110/× kV na užem dubrovačkom području i koja bi potencijalno evoluirala u TS 220/110 kV: da li će

to biti lokaliteti Brgata ili Bosanke. Prema našem prijedlogu grana Trebinje — Komolac gradila bi se kao vod 220 kV do Brgata (lokacija potencijalne TS 220/110 kV) i dalje nastavila kao vod 110 kV do Komolca. Budući da se može očekivati razvoj razdjelne mreže dubrovačkog područja sa 35 kV (usko razvučeno područje: »linijska« mreža), lokaciju TS 110/35 kV Dubrovnik 2 dozvoljavao bi prostorni plan na rubu platoa Bosanke: priključak ove trafostanice bio bi dvosistemskim vodom na Brgat i uvođenjem u novi vod 110 kV Trebinje — Komolac, sl. 3.



Slika 3.

Rješenje napajanje dubrovačkog područja bilo bi u [7] prema tome slično razvoju onoga za splitsko, kada je za MIS 1979. građen dvosistemski vod 220 kV do Vrborana (lokacija buduće 220/110 kV) i dalje se nastavljao vodovima 110 kV za Sućidar i Meterize; 1985. stavljeno je u pogon postrojenje 110 kV u Vrboranu.

Međutim, na zajedničkom stručnom savjetu Elektroprivrede Hrvatske i Elektroprivrede Bosne i Hercegovine organiziranom za recenziju [7] zaključeno je graditi dvosistemski vod 110 kV. Prevladali su argumenti s jedne strane vezani za neizvjesnost pojave HE Dubrovnik II — centralnog alibija rješavanja sa 220 kV — i općenite nepodobnosti mreže 220 kV u prijenosno eksponiranijem smislu, a s druge strane hitnost rješenja napajanja dubrovačkog područja i stupanj radova dovršenih sukladno ideji 110 kV (projektno-gradevinskih na trasi i izgrađenosti postrojenja TS Trebinje).

## LITERATURA

- [1] Z. FIRŠT: »Velika havarija«, »Elektroprenos«, Beograd, br. 214, prosinac 1987.
- [2] Z. TONKOVIĆ: »Budućnost DV  $2 \times 110$  kV Pračno-Una (Banja Luka)«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, travanj 1988.
- [3] Z. TONKOVIĆ: »Obnova veze Sisak — Banja Luka«, »Elektroprenos«, Beograd, br. 230, travanj 1989.
- [4] F. VIDA KOVIĆ, A. BAJIĆ: »Sanacija dalekovoda  $2 \times 110$  kV Banja Luka — Sisak na dionici Kostajnica — Sisak«, XII savjetovanje o prijenosu električne energije u SFRJ, Dubrovnik, ožujak 1990.
- [5] B. RADMILOVĆ: »Novi objekti«, »Elektroprenos«, Beograd, br. 235, rujan 1989.
- [6] Z. TONKOVIĆ: »Opravdanost izgradnje DV 110 kV Vrnograč (SR BiH) — Glina (SR H)«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, studeni 1987.
- [7] Z. TONKOVIĆ: »Dugoročni razvoj prijenosne mreže na području južne Dalmacije«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, veljača 1989.

**NEW 110 kV CONNECTIONS BETWEEN SR CROATIA AND SR BOSNIA AND HERCEGOVINA**

In the article are presented new approach to 110 kV connections between electric power systems of SR Croatia with other systems. There are specially discussed results of new studies and development plans of 110 kV connection with SR Bosnia and Hercegovina that are accepted in electric utility of SR Croatia.

**NEUE 110 KV LEITUNGEN ZWISCHEN KROATIEN UND BOSNIEN UND DER HERZEGOWINA**

Im Artikel spricht man über neue Betrachtungen bezüglich der 110 KV Verbindung des elektroenergetischen Systems Kroatiens und der umliegenden Systeme mit einem besonderen Rückblick auf die Ergebnisse der ersten Studien und der Entwicklung des 110 KV Grenznetzes mit Bosnien und der Herzegowina, welche seitens der Elektroprivreda Kroatiens angenommen wurden.

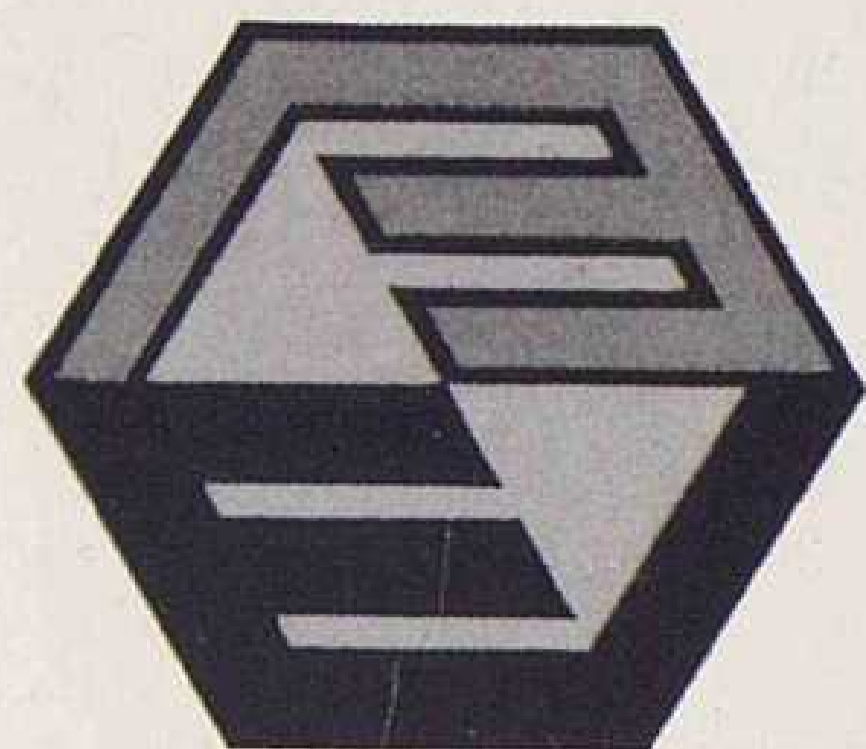
**НОВЫЕ СВЯЗИ 110 КВ ХОРВАТИИ С БОСНИЕЙ И ГЕРЦЕГОВИНОЙ**

В статье излагается новый взгляд на соединение линиями 110 кВ электроэнергетической системы Хорватии с окружающими системами с особым рассмотрением результатов новых изучений и развития смежной сети с Боснией и Герцеговиной, принятых Электрохозяйством Хорватии.

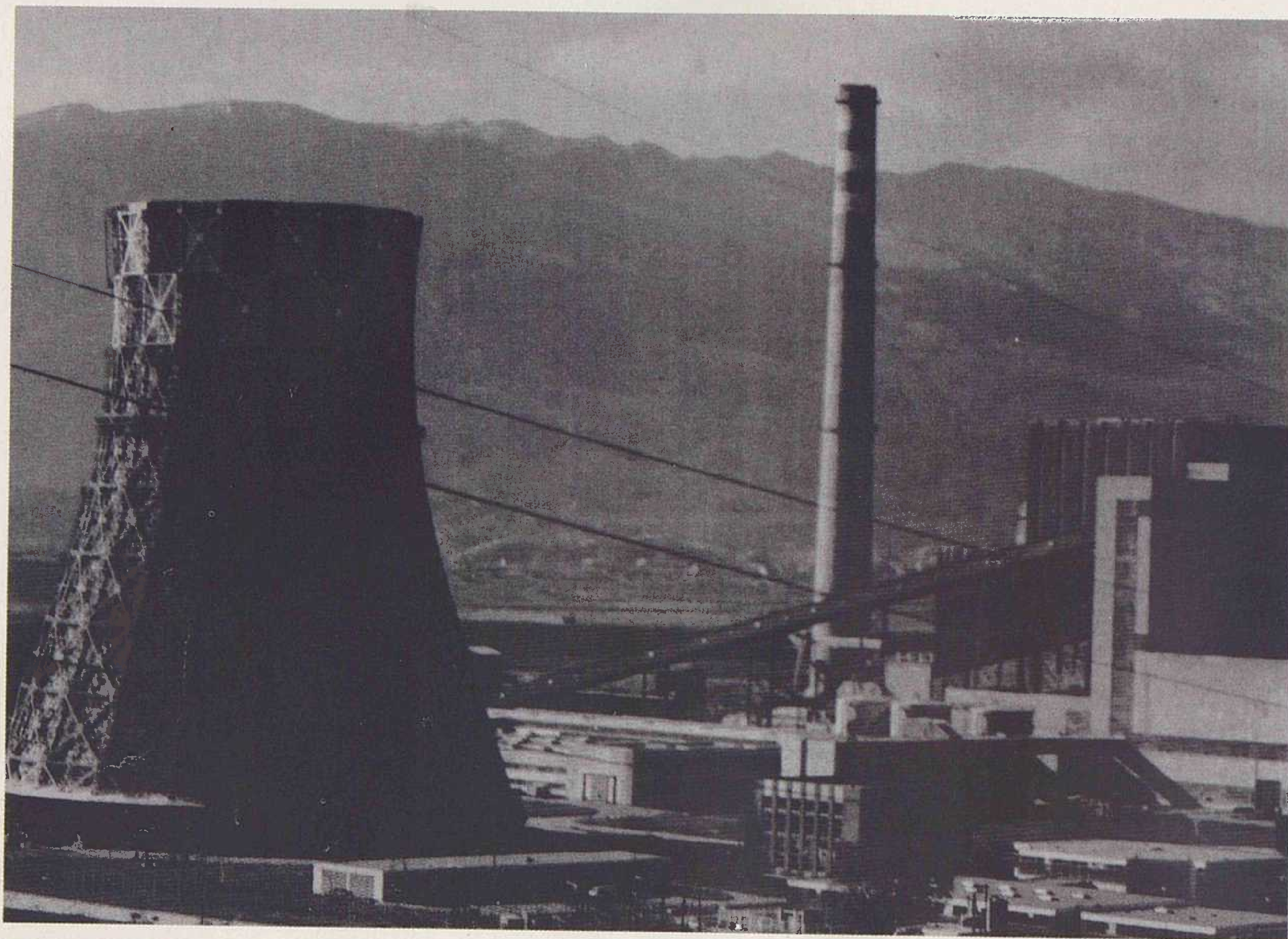
Naslov pisca:

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

Uredništvo primilo rukopis:  
1990-01-26



# MONTING ENERGETIKA ZAGREB



TE »GACKO« – Gacko: Kompletna montaža bloka 1 instalirane snage  $1 \times 300$  mW, 1982. godine.  
Rekonstrukcija kotla kapaciteta 990 t/h pare i kapitalni remont turbogeneratorsa 300 MW, 1989. godine.

**PODUZEĆE ZA IZGRADNJU,  
PROIZVODNJU OPREME I  
MONTAŽU ENERGETSKIH I  
INDUSTRIJSKIH OBJEKATA**

**41000 ZAGREB  
Kesterčankova 1**

Telefoni:	
Centrala	041/217-700
Generalni direktor	235-644
Komercijalni sektor	235-270
Tehnički sektor	233-880
Financijski sektor	234-007
Kadrovski sektor	233-878
Telex	21473 yu mont
Telefax	235-560

# INSOLACIJA KAO ELEMENT PROCJENE PROMJENE ONEČIŠĆENJA ZRAKA

Vesna Pavišić, Zagreb

UDK 577.4:697.34

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Prikazan je teorijski postupak za procjenu promjena onečišćenja zraka, koji se temelji na meteorološkim podacima i primjena tog postupka na području grada Zagreba. Rezultati upućuju na značajnu pozitivnu ulogu daljinske opskrbe toplinom u održavanju kvalitete zraka.

**Ključne riječi:** naoblaka, insolacija, onečišćenje zraka.

## 1. UVOD

Zrak nije nikada potpuno suh i čist, već se u njemu, osim molekula različitih plinova, nalaze promjenljive količine vode (u obliku pare, kapljica ili kristala) i razne čestice onečišćenja koje potječu iz prirodnih izvora (pelud, virusi, kozmička prašina itd.) ili od ljudske aktivnosti (dim, čađa itd.).

Povišene koncentracije čestica onečišćenja prevladavaju u gradovima s jakim prometom i brojnom industrijom, pri čemu industrijski produkti izgaranja — čađa, dim, pepeo — služe kao jezgre kondenzacije za postanak kapljice vode. Sloj zraka u kojem su se pojavile brojne kapljice vode ili kristali leda gubi prozornost, a ovisno o položaju izvora svjetlosti, debljini sloja i broju prisutnih elemenata, postaje bijel, siv ili taman. Takav vidljiv skup sitnih čestica vode ili kristala leda koji lebde u zraku, a može sadržavati i čestice dima i prašine, naziva se oblakom.

Naoblaka se iskazuje u desetinama neba pokrivenog oblacima u odnosu na cjelokupno vidljiv nebeski svod, a bilježi se cijelim brojevima od 0 do 10. Tako npr. naoblaka 0 označava vedro nebo, a naoblaka 10 znači da je nebo potpuno pokriveno oblacima. Na meteorološkoj stanici Zagreb-Grič naoblaka se motri neprekidno od 1862. godine.

Sunčevo zračenje na putu kroz atmosferu do Zemljine površine slabi zbog selektivne (s obzirom na valnu duljinu) apsorpcije ozona, vodene pare, ugljik-dioksida i kisika, postojanja čestica onečišćenja i raspršivanja na molekulama atmosferskih plinova i na raznim česticama koje lebde u zraku. Proces raspršivanja, između ostalog, ovisi o veličini i broju čestica koje vrše raspršivanje. Sunčevo zračenje pri tlu ovisi o zračenju na gornjoj granici atmosfere, a zatim o fizikalnim i meteorološkim uvjetima (naoblaci, vlažnosti atmosfere, duljini dnevnog luka sunca, otvorenosti horizonta).

Instrumentalna mjerenja insolacije (broj sati sijanja Sunca) na meteorološkoj stanici Zagreb — Grič provode se neprekidno od 1889. godine.

S razvojem industrije, promjenom stupnja i vrste motorizacije i porastom broja domaćinstva neprestano se mijenja kvaliteta zraka. Praćenje stupnja zagađenosti zraka provodi se mjerenjem većeg broja pokazatelja kvalitete zraka ( $\text{SO}_2$ , CO,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , Pb, lebdeće čestice itd.) pomoću preciznih instrumenata. Na osnovi tako izmjerenih podataka mogu se obavljati prostorne i vremenske analize kvalitete zraka. Kontinuirana mjerenja na većem broju mjernih mjesta provode se u SR Hrvatskoj zadnjih nekoliko desetljeća (npr. u Zagrebu od 1963. godine), te su podaci o onečišćenju zraka i promjenama koje su se zbivale prije početka mjerenja najčešće nepoznati.

U članku se procjenjuju promjene onečišćenja zraka u Zagrebu u razdoblju od 1951. do 1980. godine na osnovi meteoroloških podataka — insolacije i naoblake.

U tablici 1. prikazani su klizni srednjaci srednjih godišnjih naoblaka i godišnjih suma insolacije na meteorološkoj stanici Zagreb — Grič od početka mjerenja do 1980. godine. Podaci prvih 8 razdoblja preuzeti su iz [1]. Uočljivo je najveće trajanja insolacije u početnom razdoblju (1891 — 1920) i sve izraženiji pad u idućim 30-godišnjim razdobljima. Osjetniji porast naoblake trajao je približno od početka ovog stoljeća do 40-ih godina. Iz tablice 1. također je vidljivo da porastu naoblake odgovara smanjenje insolacije.

Tablica 1. Naoblaka i insolacija u Zagrebu

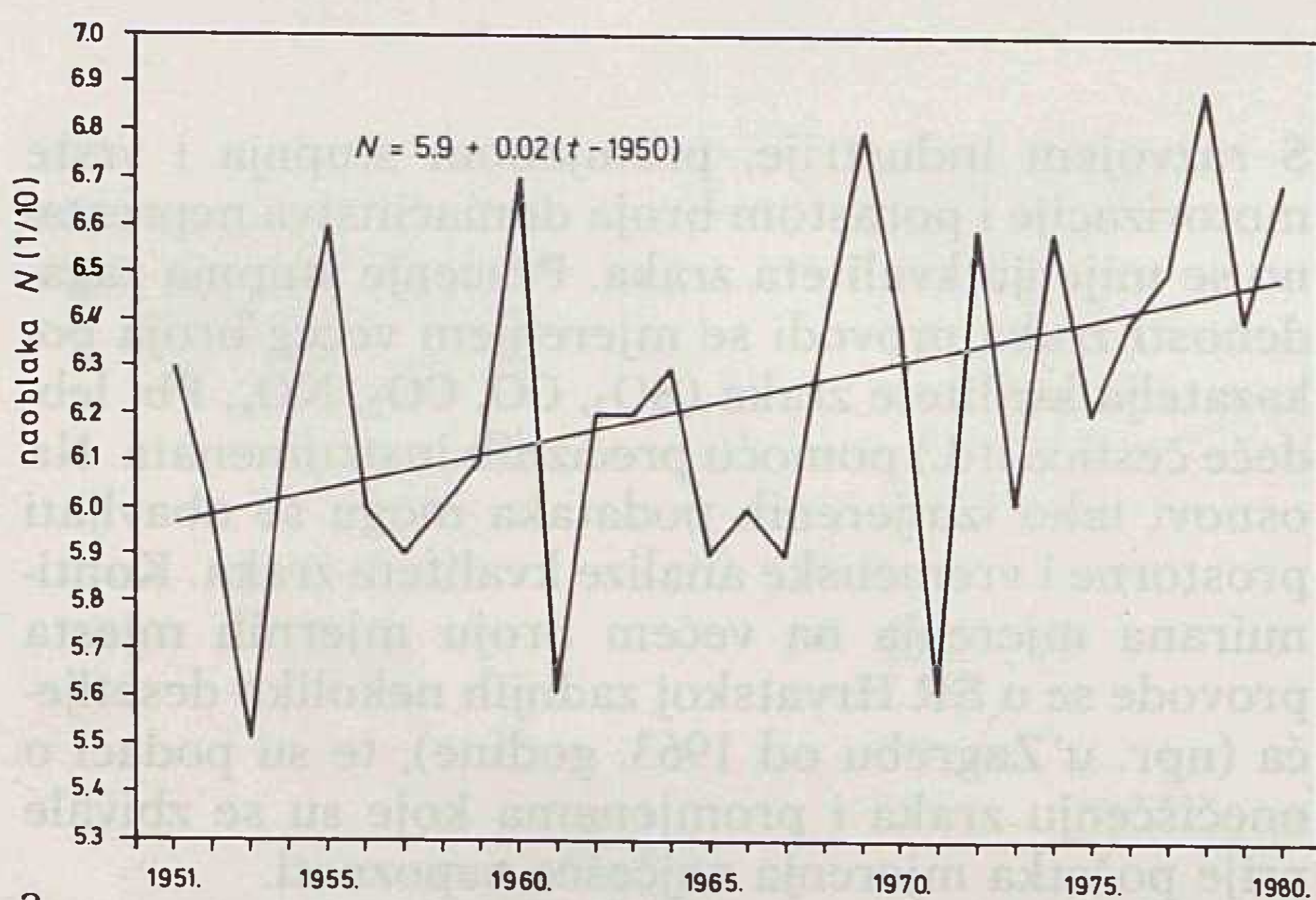
30-godišnje vremensko razdoblje	Srednja godišnja naoblaka	Srednja godišnja suma insolacije (sati)
1 1862 — 1890.	5.6	
2 1871 — 1900.	5.6	
3 1881 — 1910.	5.6	
4 1891 — 1920.	5.7	2 014.6 bez 1905. god.
5 1901 — 1930.	6.0	1 961.2 bez 1905., 1921. — 1950. god.
6 1911 — 1940.	6.3	1 972.6 bez 1921. god.
7 1921 — 1950.	6.3	1 987.8
8 1931 — 1960.	6.2	1 920.0
9 1951 — 1980.	6.2	1 774.1

Porast naoblake [1] je u zimskim mjesecima nešto veći nego u ljetnim, a ustanovljene promjene naoblake i insolacije posljedica su:

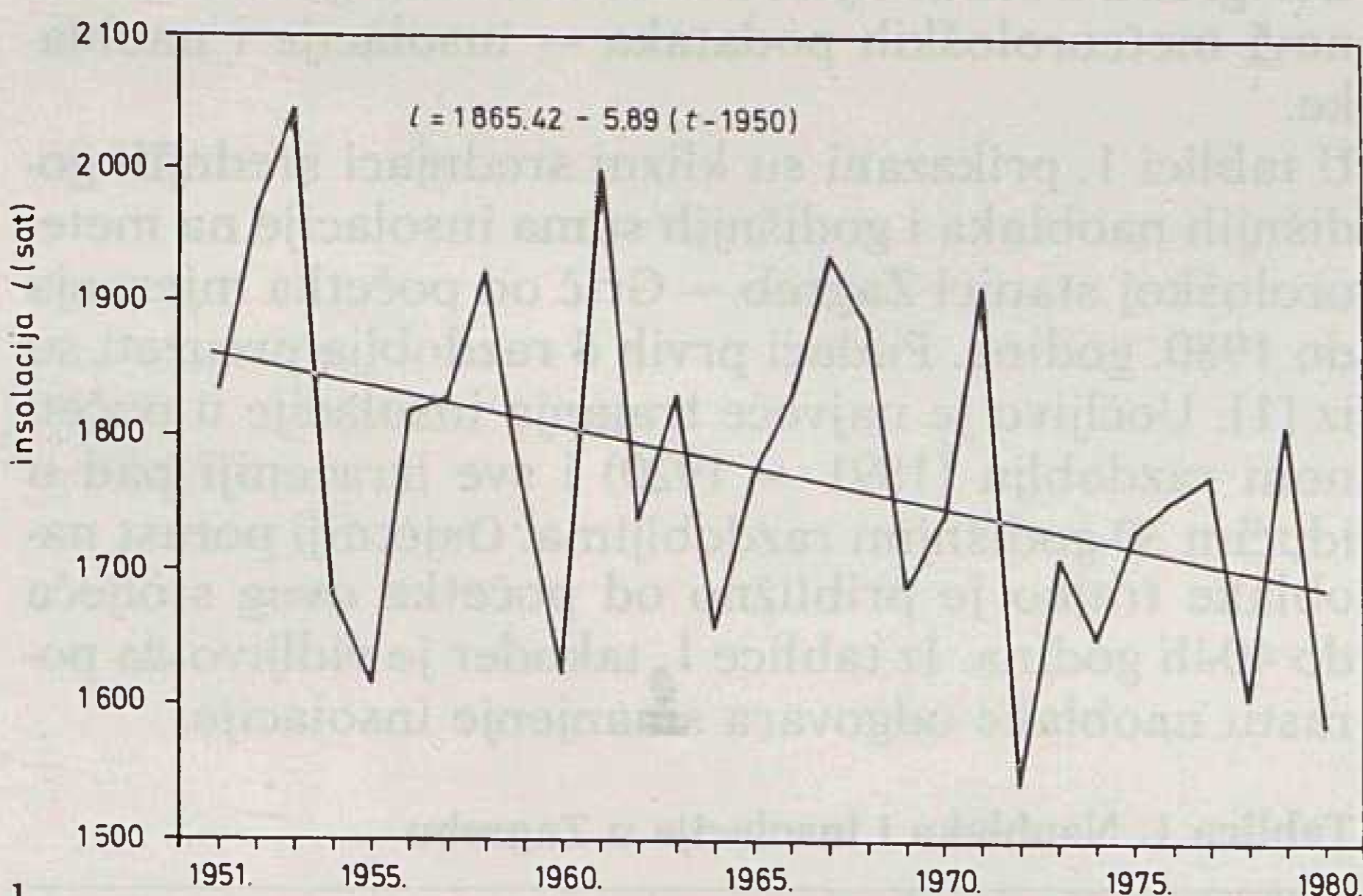
- promjene klime nad cijelim područjem zbog izmijenjenoga atmosferskog strujanja i
- lokalne prirode, tj. višestruke aktivnosti ljudi, kao poljoprivredne i industrijske proizvodnje, saobraćaja i potrošnje privatnih domaćinstava.

## 2. NAOBLAKA I INSOLACIJA U ZAGREBU U TOKU 30-GODIŠNJEG RAZDOBLJA (OD 1951. DO 1980. GODINE)

Od velikog broja sakupljenih meteoroloških podataka meteorološke stanice Zagreb-Grič, u ovom radu su odabrani podaci srednjih mjesečnih vrijednosti naoblake i mjesečnih suma insolacije za razdoblje od 1951. do 1980. godine.



a



b

Slika 1. Zgb. — Grič 1951–1980. Vremenski niz i trend: a) srednja godišnja naoblaka, b) godišnja suma insolacije

Iz slike 1, koja prikazuje srednje godišnje vrijednosti naoblake (1a) i godišnje sume insolacije (1b), vidljive su oscilacije u toku promatranog 30-godišnjeg razdoblja. Ucertani pravci regresije, čiji opći oblik glasi

$$x = a + b(t - 1950) \quad (1)$$

gdje je:

$x$  = naoblaka u 1/10 odnosno insolacija u satima

$a, b$  = konstante određene metodom najmanje sume kvadrata

$t$  = godina

upućuju na porast naoblake i smanjenje insolacije. Budući da naoblaka i insolacija, između ostalog, ovise i o kvaliteti zraka, poželjno je utvrditi u kojoj mjeri na smanjene insolacije utječe porast naoblake, a koliko ostali faktori. Početne pretpostavke su da onečišćenje zraka raste od početka prema kraju razdoblja i da je porast onečišćenja izrazitiji u zimskim mjesecima, tj. u sezoni grijanja, kada se uključuje velik broj kućnih ložišta. Zbog toga je zanimljivo pratiti godišnje i mjesečne promjene onečišćenja zraka.

### 2.1. Obrada podataka

Iz srednjih mjesečnih vrijednosti naoblake i pripadnih mjesečnih suma insolacije izračunato je za 30-godišnje razdoblje sljedeće:

- srednja naoblaka za svaki mjesec posebno

$$\bar{N}_i = \frac{1}{30} \sum_{j=1}^{30} N_{ij} \quad (2)$$

gdje je:

$N_{ij}$  = srednja mjesečna naoblaka pojedine godine

$i$  = redni broj mjeseca ( $i = 1, 2, \dots, 12$ )

$j$  = redni broj godine ( $j = 1, 2, \dots, 30$ )

- srednja godišnja naoblaka cijelog razdoblja

$$\bar{N}_g = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \bar{N}_i \quad (3)$$

- srednja mjesečna suma insolacije za svaki mjesec posebno

$$\bar{I}_i = \frac{1}{30} \sum_{j=1}^{30} I_{ij} \quad (4)$$

gdje je  $I_{ij}$  mjesečna suma insolacije pojedine godine

- srednja godišnja insolacija cijelog razdoblja

$$\bar{I}_g = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} \bar{I}_i \quad (5)$$

- linearna zavisnost između naoblake i insolacije izražena pravcem regresije  $I = a + bN$ , kao i koeficijent korelacije  $r$  koji izražava čvrstoću te linearne međuzavisnosti, a izražava se na osnovu 30 parova podataka pomoću izraza:

$$r(xy) = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (6)$$

Vrijednosti koeficijenata korelacije kreću se od  $-1$  do  $+1$ .

U slučaju  $r = 0$  nema korelacije, a za  $|r| = 1$  zavisnost je najčvršća, tj. funkcijska. Smatra se da je zavisnost relativno dobra ako je  $|r| > 0,50$ .

- vremenski niz razlika između registrirane i izračunate insolacije /pomoću pravca regresije/.



Obrada podataka izvedena je na IBM PC kompatibilnom računaru pomoću programa Lotus 2.01.

## 2.2. Analiza

Rezultati obrade prikazani su u tablicama 2 i 3, a kratki osvrt na svaku izračunatu veličinu dan je u nastavku.

### 2.2.1. Naoblaka

Godišnji hod srednjih mjesečnih vrijednosti naoblake ( $\bar{N}_i$ ), izveden iz 30-godišnjeg niza motrenja (1951 – 1980), pokazuje da su najvedriji mjeseci kolovoz i srpanj, a najoblačniji prosinac, studeni i siječanj. Do maksimuma naoblake u prosincu dolazi zbog velike ciklonalne aktivnosti. Porast naoblake u jesen je pravilan i brži od proljetnog pada. Ta je činjenica također u vezi s jakom ciklonalnom aktivnošću u proljeće.

Tridesetogodišnji srednjak naoblake ( $\bar{N}_g$ ) u vrijednosti 6, 2 govori da je nad Zagrebom u prosjeku više od polovice neba zastrto oblacima, iz čega ne slijedi da je nebo nad Zagrebom najčešće poluoblačno. Naprotiv, motrenja pokazuju da je takvih dana zapravo najmanje. Najčešći su dani s pretežno do potpuno

Srednja godišnja suma insolacije ovog 30-godišnjeg razdoblja ( $\bar{I}_g$ ) iznosi 1774,1 sati (oko 5 sati dnevno) i upućuje na smanjenje insolacije prema prijašnjim 30-godišnjim razdobljima (tablica 1).

### 2.2.3. Koeficijent korelacije

Koeficijenti korelacije između naoblake i insolacije  $r(NI)$  u svim su mjesecima negativni i visoki, što upućuje na dobru obrnuto proporcionalnu zavisnost, tj. na to da povećanju naoblake odgovara smanjenje insolacije. Najveća apsolutna vrijednost koeficijenta korelacije izračunata je za ožujak i iznosi  $|0,978|$ , a najmanja za siječanj  $|0,832|$ .

Rezultati obrade podataka potvrdili su postojanje čvrste linearne veze između naoblake i insolacije, koja je iskazana jednadžbom pravca regresije za svaki mjesec posebno, kao i pravcem sveukupnog razdoblja (tablica 2).

### 2.2.4. Vremenski niz odstupanja insolacije

#### 2.2.4.1. Linearne zavisnosti

Na osnovi izračunatog pravca regresije za svaki pojedini mjesec u godini i poznatih pripadnih srednjih

Tablica 2. Linearne zavisnosti: naoblake i insolacije  $I(N)$  vremenskog niza odstupanja insolacije  $\Delta I(t)$

Mjesec	Srednja mjesečna naoblaka ( $\bar{N}_i$ )	Srednja mjesečna suma insolacije ( $\bar{I}_i$ )	I (N)		$\Delta I(t)$		
			koef. korelacije $r(NI)$	pravac regresije	koef. korelacije $r(t\Delta I)$	pravac regresije	t-test
siječanj	7.6	49.7	-0.832	$I = 199.97 - 19.7 N$	0.238	$\Delta I = -5.25 + 0.34 t$	1.297
veljača	7.0	75.8	-0.908	$I = 225.40 - 21.3 N$	0.116	$\Delta I = -2.09 + 0.14 t$	0.618
ožujak	6.6	123.2	-0.978	$I = 350.80 - 34.6 N$	0.460	$\Delta I = -8.09 + 0.52 t$	2.741*
travanj	6.3	165.2	-0.888	$I = 399.74 - 37.3 N$	0.231	$\Delta I = -5.70 + 0.37 t$	1.256
svibanj	6.0	206.9	-0.908	$I = 461.44 - 42.2 N$	0.185	$\Delta I = -5.58 + 0.36 t$	0.996
lipanj	5.6	224.5	-0.876	$I = 429.20 - 36.3 N$	0.027	$\Delta I = -0.70 + 0.05 t$	0.143
srpanj	4.7	262.0	-0.941	$I = 453.24 - 40.5 N$	0.086	$\Delta I = -1.80 + 0.12 t$	0.457
kolovoz	4.6	247.1	-0.935	$I = 394.81 - 31.9 N$	-0.316	$\Delta I = 6.87 - 0.44 t$	-1.762
rujan	4.9	185.1	-0.873	$I = 327.59 - 29.0 N$	-0.258	$\Delta I = 6.45 - 0.42 t$	-1.413
listopad	5.9	129.8	-0.904	$I = 290.32 - 27.3 N$	-0.172	$\Delta I = 4.19 - 0.27 t$	-0.924
studen	7.7	61.0	-0.843	$I = 249.22 - 24.5 N$	0.103	$\Delta I = -2.61 + 0.17 t$	0.548
prosina	7.7	43.7	-0.890	$I = 230.32 - 24.2 N$	0.167	$\Delta I = -2.61 + 0.17 t$	0.896
1951 – 1980.	6.2	1774.1	-0.878	$I = 460.49 - 50.2 N$	0.084	$\Delta I = -5.68 + 0.03 t$	1.595

oblačnim vremenom i dani s vedrim do malo oblačnim vremenom.

### 2.2.2. Insolacija

Najveća srednja mjesečna suma insolacije ( $\bar{I}_i$ ) je u srpnju, a najmanja u prosincu. Do minimuma u prosincu dolazi zbog kratkoće dana i velike naoblake. Na maksimum u srpnju utječe osim duljine mjeseca i manja naoblaka u srpnju nego u lipnju, dok kolovoz uz visoku vedrinu ima nešto kraću duljinu dana od srpnja.

Promjenljivost godišnje sume insolacije nije prevelika i kreće se od maksimalno 2045, 8 sati 1953. godine do minimalno 1540,6 sati 1972. godine, što daje odstupanje od oko  $\pm 14\%$  u odnosu na srednju godišnju sumu insolacije 30-godišnjeg razdoblja.

Tablica 3. Nelinearna zavisnost vremenskog niza odstupanja insolacije  $t \Delta I$

Mjesec	Omjer korelacije	Jednadžba parabole
siječanj	0.389	$\Delta I = 4.10 - 1.415 t + 0.0566 t^2$
veljača	0.327	$\Delta I = 5.53 - 1.295 t + 0.0461 t^2$
ožujak	0.583	$\Delta I = 0.62 - 1.111 t + 0.0527 t^2$
travanj	0.273	$\Delta I = -0.77 - 0.556 t + 0.0298 t^2$
svibanj	0.249	$\Delta I = 1.37 - 0.942 t + 0.0420 t^2$
lipanj	0.110	$\Delta I = 3.09 - 0.665 t + 0.0229 t^2$
srpanj	0.116	$\Delta I = 0.44 - 0.305 t + 0.0136 t^2$
kolovoz	0.340	$\Delta I = \dots 11.22 - 1.276 t + 0.0272 t^2$
rujan	0.297	$\Delta I = 11.51 - 1.364 t + 0.0306 t^2$
listopad	0.177	$\Delta I = 5.56 - 0.527 t + 0.0083 t^2$
studen	0.169	$\Delta I = -7.30 + 1.049 t - 0.0284 t^2$
prosina	0.332	$\Delta I = 3.63 - 1.005 t + 0.0379 t^2$
1951 – 1980.	0.115	$\Delta I = 1.25 - 0.083 t + 0.0003 t^2$

mjesečnih vrijednosti naoblake za svaku pojedinu godinu promatranog razdoblja izračunate su vrijednosti ( $\hat{I}_N$ ) koje ovise samo o naoblaci. Nakon toga izračunata je razlika ( $\Delta I$ ) između registrirane ( $I$ ) i izračunate insolacije ( $\hat{I}_N$ ), tj.

$$\Delta I = I - \hat{I}_N \quad (7)$$

Na taj način dobije se za svaki mjesec niz vrijednosti u kojima je eliminiran utjecaj naoblake. Razlika ( $\Delta I$ ), između registrirane ( $I$ ) insolacije i insolacije izračunate na osnovi pravca regresije ( $\hat{I}_N$ ) dobivenog pomoću naoblake i insolacije naziva se u daljnjem tekstu odstupanje insolacije. Odstupanje insolacije ( $\Delta I$ ) dio je registrirane insolacije koji nije objašnjen pomoću naoblake, već ovisi o drugim faktorima, kao što su zagađenje zraka, prepreke koje ometaju registraciju i utjecaj ostalih meteoroloških elemenata. Budući da se položaj heliografa na meteorološkoj stanici Zagreb-Grič, na visini od 18 m iznad tla, nije mijenjao od 1889. godine do danas, to se nije promijenila ni slika otvorenosti horizonata za heliograf. Ujedno pretpostavljamo da ostali meteorološki elementi nemaju veći utjecaj na insolaciju i da se nisu znatnije promijenili u tom razdoblju. Zato smatramo da glavni utjecaj na odstupanje insolacije ima onečišćenje zraka.

Kad ne bi postojalo odstupanje insolacije ( $\Delta I = 0$ ), insolacija bi se mogla odrediti poznavajući samo naoblaku. Budući da odstupanje insolacije ( $\Delta I$ ) postoji i poprima različite pozitivne ili negativne vrijednosti ( $I \times \hat{I}_N$ ), izračunata je povezanost odstupanja insolacije i vremenskog niza godina ( $t$ ) za svaki mjesec posebno, kao i za cijelo razdoblje (kronološki od siječnja 1951. do prosinca 1980. godine), tj. izračunat je koeficijent korelacije i pravac regresije  $\Delta I = a + b t$ , za svaki mjesec posebno (tablica 2).

Očekivano je smanjenje insolacije u svim mjesecima, a naročito u zimskim. To znači da bi koeficijenti korelacije trebali biti negativni, a zimi i znatno negativni. Međutim, rezultati obrade nisu potvrdili tu pretpostavku.

Iz tablice 2. vidljivo je da su koeficijenti korelacije negativni samo u kolovozu, rujnu i listopadu, a u svim su ostalim mjesecima pozitivni. To znači da je u toku promatranog 30-godišnjeg razdoblja u većini mjeseci došlo do porasta odstupanja insolacije ( $I > \hat{I}_N$ ).

Koeficijenti korelacije  $r(t, \Delta I)$  mnogo su niži nego prije. Zbog toga je provedeno testiranje pomoću t-testa s (n-2) stupnja slobode. Testirana je nul-hipoteza  $H_0: \rho = 0$ , tj. da ne postoji veza između odstupanja insolacije i niza godina. Kritično područje nalazi se na lijevom ( $u_i < -u_0$ ) i desnom ( $u_i > u_0$ ) rubu t-razdiobe. Granice  $|u_0|$ , kod kojih počinje lijevo i desno kritično područje, određene su iz statističkih tablica tako da svaka granica omeđuje na rubu t-razdiobe površinu veličine  $\alpha/2 = 0,025$ . Vrijednost t-testa označena zvjezdicom u tablici 2. ne zadovoljava nul-hipotezu  $H_0: \rho = 0$ , što znači da je u tom mjesecu odstupanje insolacije značajnije. Sljedi da je u ožujku došlo do značajnijeg porasta, a promjene odstupanja insolacije u ostalim mjesecima nisu značajne. Vrijednost t-testa za 30-godišnje razdoblje (1951–1980) po-

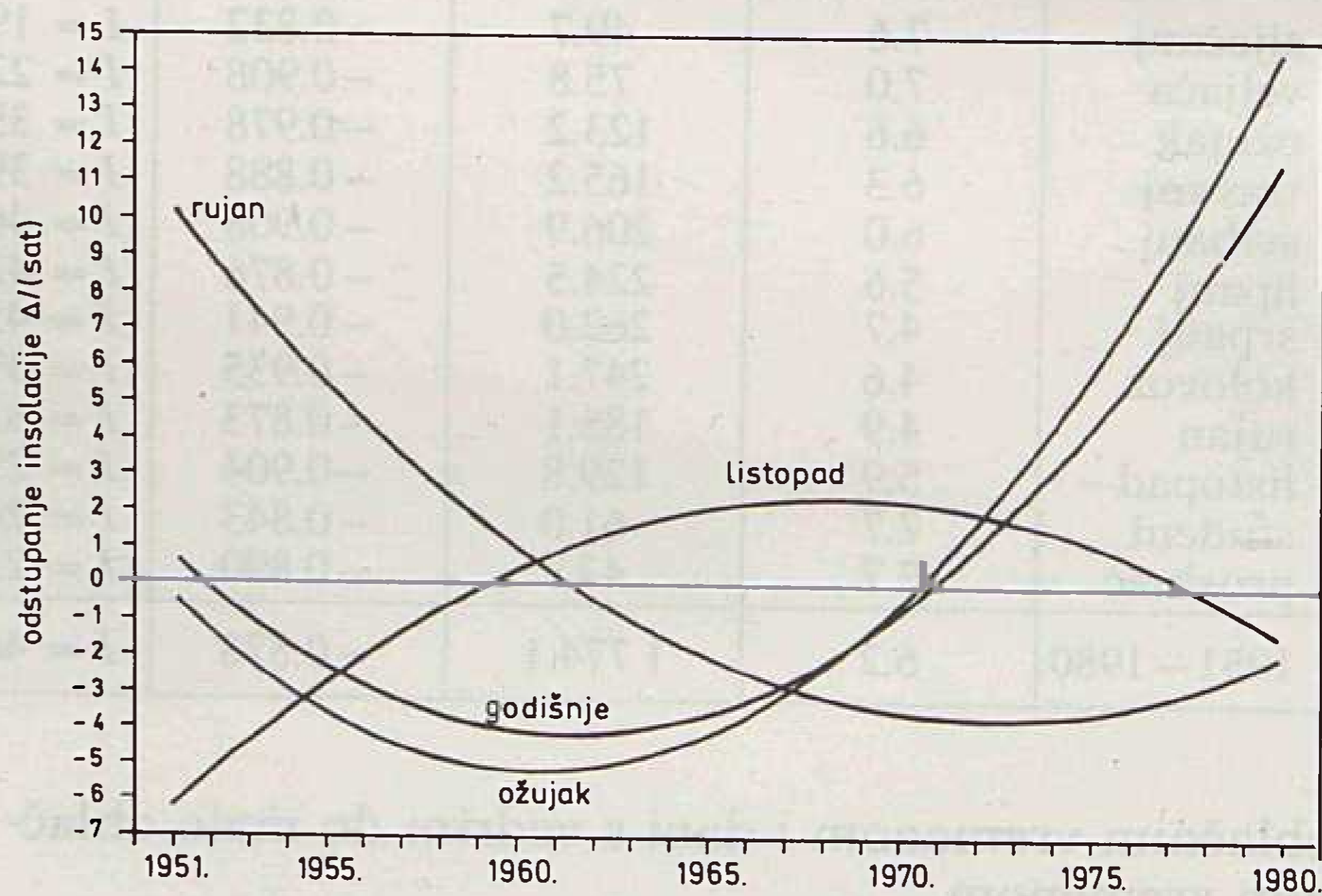
kazuje da porast odstupanja insolacije nije značajan. Na isti način obrađeni su podaci za još 14 meteoroloških stanica u SR Hrvatskoj [2]. Značajniji pad insolacije iskazan je na meteorološkim stanicama Osijek i Belje. Zbog toga je obavljena analiza satnih vrijednosti insolacije za Osijek i Belje [2] na osnovi čega je utvrđeno da glavni uzrok smanjenja insolacije nije promjena kvalitete zraka. Kao predstavnik ostalih stanica izabrana je meteorološka stanica Zagreb-Grič zbog najvećeg broja ostalih izmijenjenih i sačuvanih podataka.

#### 2.2.4.2. Nelinearna zavisnost

Promatranjem rezultata mjerenja [3,4] onečišćenja zraka, koja obuhvaćaju 24-satne koncentracije  $SO_2$ , dima i lebdećih čestica na području grada Zagreba, a koja provodi Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada neprekidno od 1963. godine, uočeno je da bi vremenski niz odstupanja insolacije bolje opisivala parabola.

Zbog toga je pomoću metode najmanje sume kvadrata izračunata jednadžba parabole i omjer korelacije za svaki mjesec posebno i godišnja parabola za 30-godišnje razdoblje.

Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 3. Budući da su omjeri korelacija u tablici 3. veći od koeficijenata korelacije u tablici 2, znači da parabola bolje od pravca opisuje vremenski niz odstupanja insolacije. Slika 2. prikazuje parabole za ožujak, rujnu, studeni, kao i godišnju parabolu, koja kronološki obuhvaća sve mjesece.



Slika 2. Nelinearno odstupanje insolacije Zgb. — Grič, 1951–1980.

Parabole ostalih mjeseci nalaze se između parabola za ožujak i rujnu. Na osnovi jednadžbi parabola iz tablice 3. i pomoću slike 2. uočavamo:

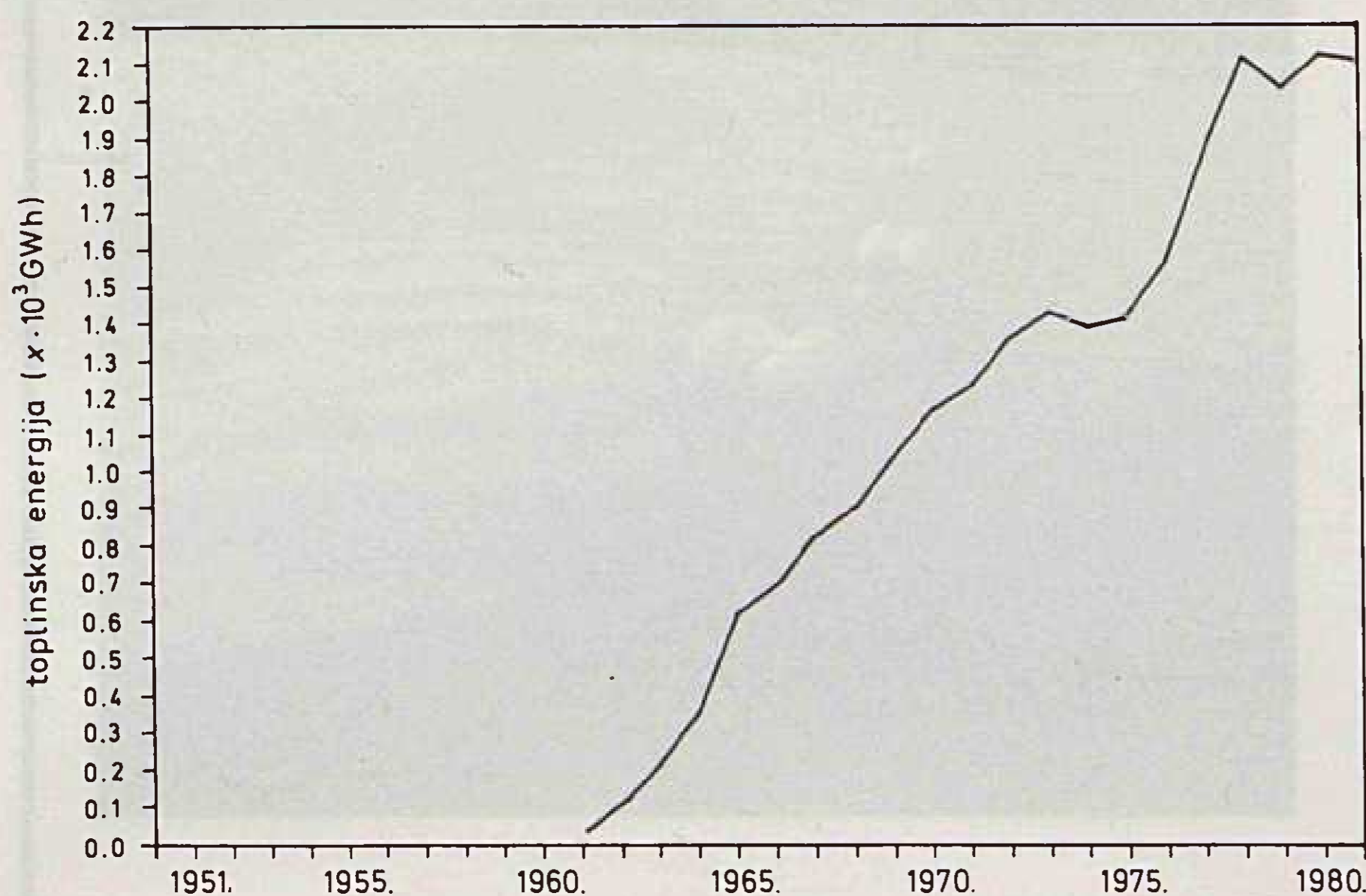
- godišnja parabola i parabole svih mjeseci osim studenog vrlo su slične i položajem i oblikom
- tjemena parabola za mjesec od prosinca do srpnja, te tjeme godišnje parabole nalaze se u razdoblju od 1960. do 1965. godine.
- parabole za kolovoz i rujnu imaju tjeme u razdoblju od 1968. do 1974. godine, dok je tjeme parabole

za listopad smješteno izvan promatranog razdoblja (oko 1982. godine)

- parabola za studeni položena je obrnuto od svih ostalih, a tjeme je u 1968. godini
- godišnja parabola, obrađena kronološki od siječnja 1951. do prosinca 1980. godine, pokazuje pogoršanje kvalitete zraka nad Zagrebom do kraja 1961. godine, te poboljšanje do kraja promatranog razdoblja.

Dobiveni oblik godišnje parabole u toku promatranog 30-godišnjeg razdoblja može se objasniti promjenom strukture korištenja energije na području grada Zagreba, postavljanjem filtera i izgradnjom visokih dimnjaka. Veza između energetske izvora i onečišćenja zraka je jednoznačna, tj. svakom energetskom izvoru odgovara pripadno onečišćenje zraka. Velika urbana područja poput Zagreba osjetljiva su na strukturu korištenja energetske izvora zbog velike potrošnje. Prema [5] u razdoblju 1961–1978, struktura korištenja energetske izvora znatno se promijenila u korist povećanja nafte i plina, i to u prvom redu na račun smanjenja udjela ugljena. Prosječna stopa rasta energije predane korisnicima u razdoblju 1961–1978. godine iznosila je 5,59%. Najveće godišnje stope rasta u tom razdoblju bilježi plin (16,2%) i naftni derivati (16%), a udio ugljena smanjivao se po prosječnoj godišnjoj stopi od 4,91%.

Intenzivnija toplifikacija grada Zagreb započinje 1961. godine puštanjem u rad Elektrane-toplane, te 1963. godine Termoelektrane-toplane [6]. Ukupna proizvodnja energije iz tih izvora za potrebe industrije i domaćinstva otada sve više raste (slika 3), a kvaliteta zraka se poboljšava (slika 2).



Slika 3. Potrošnja toplinske energije u Zagrebu (TE-TO i EL-TO)

Prikazan parabolican tok promjene kvalitete zraka podudara se, osim toga, i s mjerenjima koja je proveo Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada. Prosječne godišnje koncentracije SO<sub>2</sub> pokazuju trend smanjivanja od 1963. do 1978. godine, a prosječne godišnje koncentracije lebdećih čestica zadržavaju približno istu razinu od 1972. do 1978. godine. [3,4].

### 3. ZAKLJUČAK

Iz obrade podataka srednjih mjesečnih naoblaka i mjesečnih suma insolacije u Zagrebu za razdoblje od 1951. do 1980. godine proizlaze sljedeći zaključci:

Između naoblake i insolacije postoji dobra linearna zavisnost koja se može izraziti pomoću pravca regresije s negativnim koeficijentom smjera.

Rezultati linearnog oblika vremenskog niza odstupanja insolacije ( $t \Delta I$ ) pokazuju da značajnije promjene nastupaju u ožujku (porast odstupanja insolacije), a u ostalim mjesecima značajnije promjene nisu iskazane.

Vrijednosti odstupanja insolacije ( $t \Delta I$ ) bolje opisuje parabola koja upućuje na porast zagađenosti zraka do početka 60-ih godina zbog sve većeg zagađivanja dimom i čađom iz kućnih ložišta i tvorničkih dimnjaka, ispušnim plinovima iz motornih vozila, kemijskim tvarima oslobođenih u industrijskoj proizvodnji, prašinom i raznim krutim česticama koje su mehaničkim putem izbačene u atmosferu. Nakon toga slijedi poboljšanje kvalitete zraka, na što je utjecalo uvođenje centraliziranog sistema daljinskog grijanja mnogobrojnih gradskih naselja i parovoda za potrebe industrije, plinifikacije većeg gradskog područja, izgradnja visokih dimnjaka uz gradske toplane, elektrifikacija željezničkog prometa i odvođenje prometa iz centra u periferiju.

Prikazanim načinom mogu se pratiti i procijeniti promjene onečišćenja zraka nad određenim područjima u dužem vremenskom razdoblju uz uvjet da su poznati podaci o naoblaci i insolaciji.

### LITERATURA

- [1] B. MAKJANIĆ, B. PENZAR, I. PENZAR, »Prilog poznavanju klime grada Zagreba«, I. Radovi geofizičkog zavoda, serija III, br. 18, Zagreb, 1977.
- [2] V. PAVIŠIĆ, »Insolacija kao mogući indikator turbiditeta atmosfere«, diplomatski rad, mentor J. Juras, PMF, Zagreb, 1988.
- [3] Institut za medicinska istraživanja i medicinu rada: Organizacija mjerenja onečišćenja atmosfere na području SR Hrvatske, Izveštaj za 1983. Zagreb, prosinac 1983.
- [4] Institut za elektroprivredu: Model za simulaciju onečišćenja zraka, prilog III, Zagreb, travanj 1987.
- [5] D. ČORAK, »Stanje i perspektive razvoja energetske opskrbe Zagreba«, Energija, god. 32, br. 6, str. 413–540, Zagreb, 1983.
- [6] F. ČERNOHOUS, B. RIŠNER, »Tehničko-energetske karakteristike centralnih toplinskih sistema i toplana u pojedinim gradovima Jugoslavije«, V. savjetovanje toplana Jugoslavije, Osijek 18–20. svibnja 1983.

**INSOLATION AS AN ESTIMATION ELEMENT FOR AIR POLLUTION**

In the article is presented a theoretical method for estimation of air pollution that is based on meteorological data and application of that method on the area of Zagreb city. Results show favour of remote district heating on air pollution.

**INSOLATION ALS ELEMENT ZUR BERECHNUNG DER VERÄNDERUNG DER LUFTVERSCHMUTZUNG**

Hier schildert man ein theoretisches Verfahren zur Berechnung der Veränderung der Luftverschmutzung das auf meteorologischen Angaben und der Anwendung dieses Verfahrens auf dem Gebiet der Stadt Zagreb grundtet. Die Ergebnisse weisen auf eine bedeutende positive Rolle der Fernwärmeversorgung bei der Erhaltung der Lebensqualität.

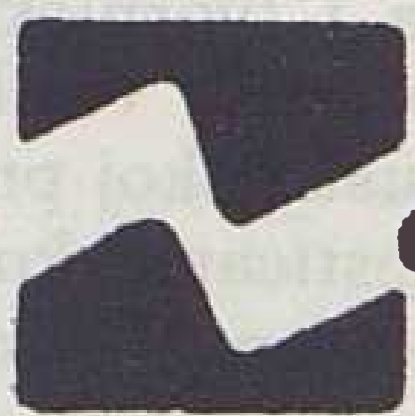
**ИНСОЛЯЦИОННОЕ ВЫВЕТРИВАНИЕ КАК ЭЛЕМЕНТ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА**

Изложен теоретический способ оценки изменения загрязненности воздуха, основывающийся на метеорологических данных, и применение такого способа в диапозоне города Загреб. Результаты указывают на важную положительную роль снабжения теплом на большом расстоянии с целью поддержания качества воздуха.

Naslov pisca:

**Vesna Pavišić, dipl. inž.**  
**»Elektroprivreda« Zagreb,**  
**41000 Zagreb, Proleterskih b. 37,**  
**Jugoslavija**

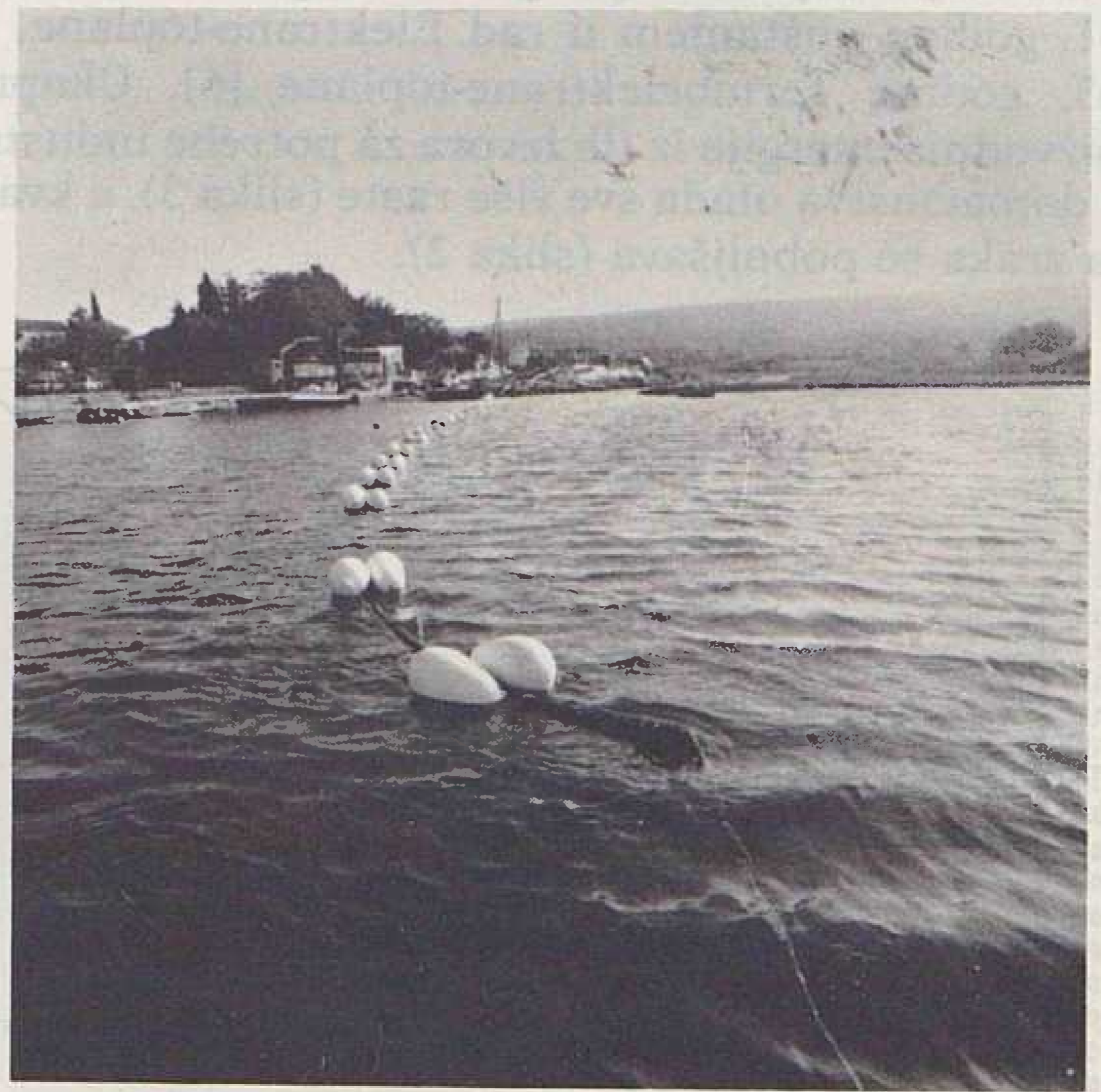
Uredništvo primilo rukopis:  
 1989-11-13



**elektrolux - rijeka**

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

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



U ZAJEDNIČKOM PAKET-ARANŽMANU SUDJELUJU

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

**RO ELEKTROLUX**

# KONCEPCIJA RAZVOJA I IZGRADNJE 400 kV PRIJENOSNE MREŽE AUSTRIJE S PROBLEMATIKOM ZAŠTITE OKOLINE

Mr. Franc Jakl, Maribor

UDK 621.316.1:621.311.1

PREGLEDNI RAD

Uz kratki historijski razvoj prijenosne mreže 110 kV i 220 kV daje se opširan osvrt na koncepciju mreže 400 kV, na osnovna tehnička rješenja i dinamiku izgradnje. Posebno se osvrće na međunarodnu interkonekciju i na utjecaj na okolinu.

**Ključne riječi:** stup, dalekovod, energetski transformator, interkonekcija, ekologija.

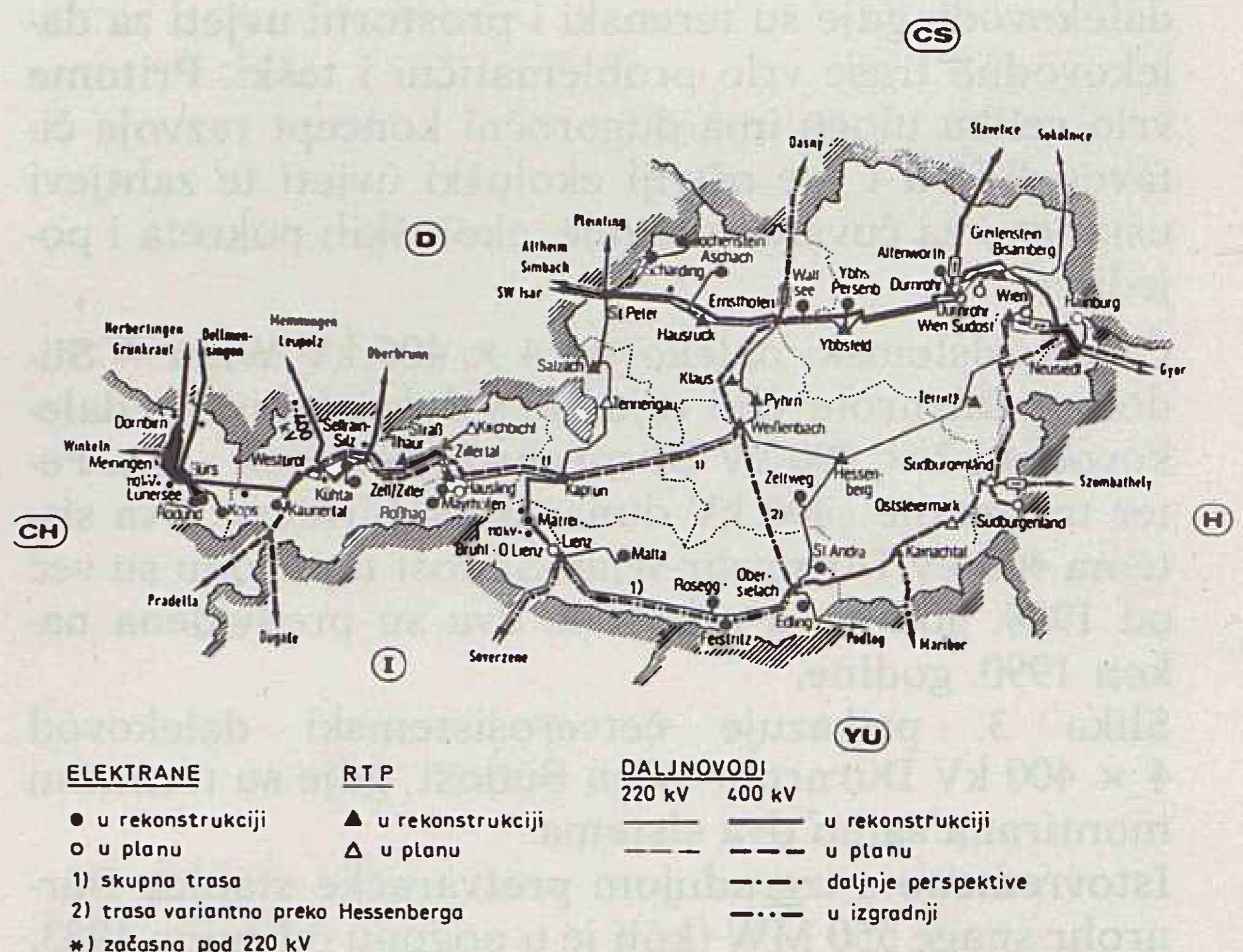
## 1. UVOD

Izgradnja i pogon prijenosne mreže 220 kV i 400 kV u Austriji u neposrednoj je nadležnosti austrijske elektroprivrede ÖVG — Österreichische Verbundgesellschaft sa sjedištem u Beču. Razvoj prijenosne mreže u Austriji bio je koncipiran na naponskom nivou 110 kV (prvi dalekovod 110 kV bio je pušten u pogon 1921/22. god. — Kresten — Wien), a nakon višegodišnjih studijskih ispitivanja prešlo se u razdoblju od 1960. do 1963. na napon 220 kV. (Prvi dalekovod napona 220 kV između St. Petera i Ernsthofena pušten je u pogon već godine 1941/1942.) Od 1960. do 1980. napon od 220 kV bio je bazni napon za čitavu prijenosnu mrežu Austrije, odnosno tvrtke ÖVG. Kontinuiranim trendom porasta potrošnje s istovremenim povećanjem snage u proizvodnim jedinicama, uz istovremeno povećanje razmjene električne energije s inozemstvom, naročito između UCPTÉ i istočnoevropskog sistema OES SEV, ÖVG je prije 10 godina prešao na viši naponski nivo 400 kV, odnosno 380 kV. (Prema austrijskim normativima taj je naponski nivo označen sa 380 kV.) S obzirom na predstojeći koncept proširenja čitave elektroprivrede, kojemu je poseban akcent na tranzitu električne energije, ÖVG-u u 1980. godini prihvatio i odobrio generalni plan izgradnje 400 kV prijenosne mreže na teritoriju čitave Austrije. Kompletni koncept baziran je na etapnoj izgradnji pojedinih prijenosnih čvorova (trafopostrojenja i rasklopnih postrojenja) i dalekovoda 400 kV, pri čemu su bili prisutni naročito ovi ključni momenti:

- široko primijenjeni koncept osnovne 220 kV prijenosne mreže, koja je bila izgrađena u prethodnom razdoblju
- uvažavanje odlučujućih proizvodnih i konzumnih regija
- mogućnost uključivanja na 400 kV mrežu susjednih zemalja u okviru UCPTÉ i sistema OES SEV.

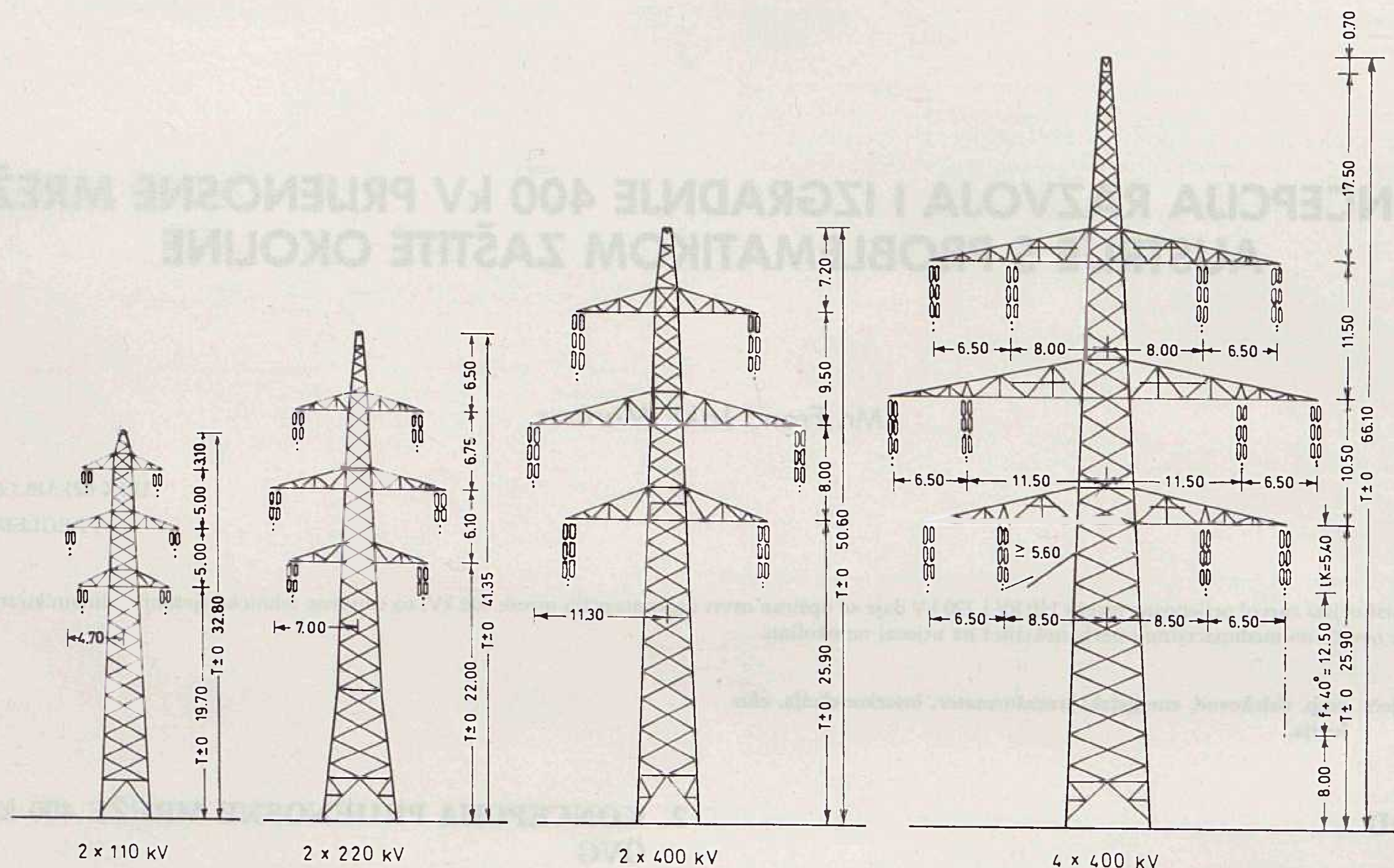
## 2. KONCEPCIJA PRIJENOSNE MREŽE 400 kV U ÖVG

Prijenosna mreža 400 kV austrijske elektroprivrede ÖVG u biti je nadgradnja osnovne 220 kV prijenosne mreže. Zasnovana je tako da čini dvije petlje (zamki) na istočnom i zapadnom području Austrije s dvije veze prema zapadu. Te veze omogućuju zajedničko spajanje svih ključnih proizvodnih i konzumnih područja Austrije između, a također s 400 kV mrežom susjedne SR Njemačke u dunavskoj regiji (Ernsthofen — St. Peter) i sa Švicarskom i Italijom na području zapadnog Tirola (Tauern/Kaprun-Westtirol). Pregled prijenosne mreže 220/400 kV Austrije prikazuje slika 1.



Slika 1. 220 kV i 400 kV prijenosna mreža ÖVG, stanje 30. 6. 1989.

S obzirom na optimalnu iskorištenje prostora svi dalekovodi (od 400 kV isto tako i postojeći 220 kV dale-



Slika 2. Dvosistemski nosni stupovi 110, 220, 400 kV s osnovnim mjerama

kovodi) konceptijski su predviđeni kao dvosistemski. Pregled dvosistemskih nosnih stupova 110, 220 i 400 kV prikazuje slika 2. Ponegdje se montira najprije samo jedan sistem (jedna trojka), a kasnije prema energetske potrebama čitavog elektroenergetskog sistema, predviđen je za izvjesno vrijeme i drugi sistem (druga trojka).

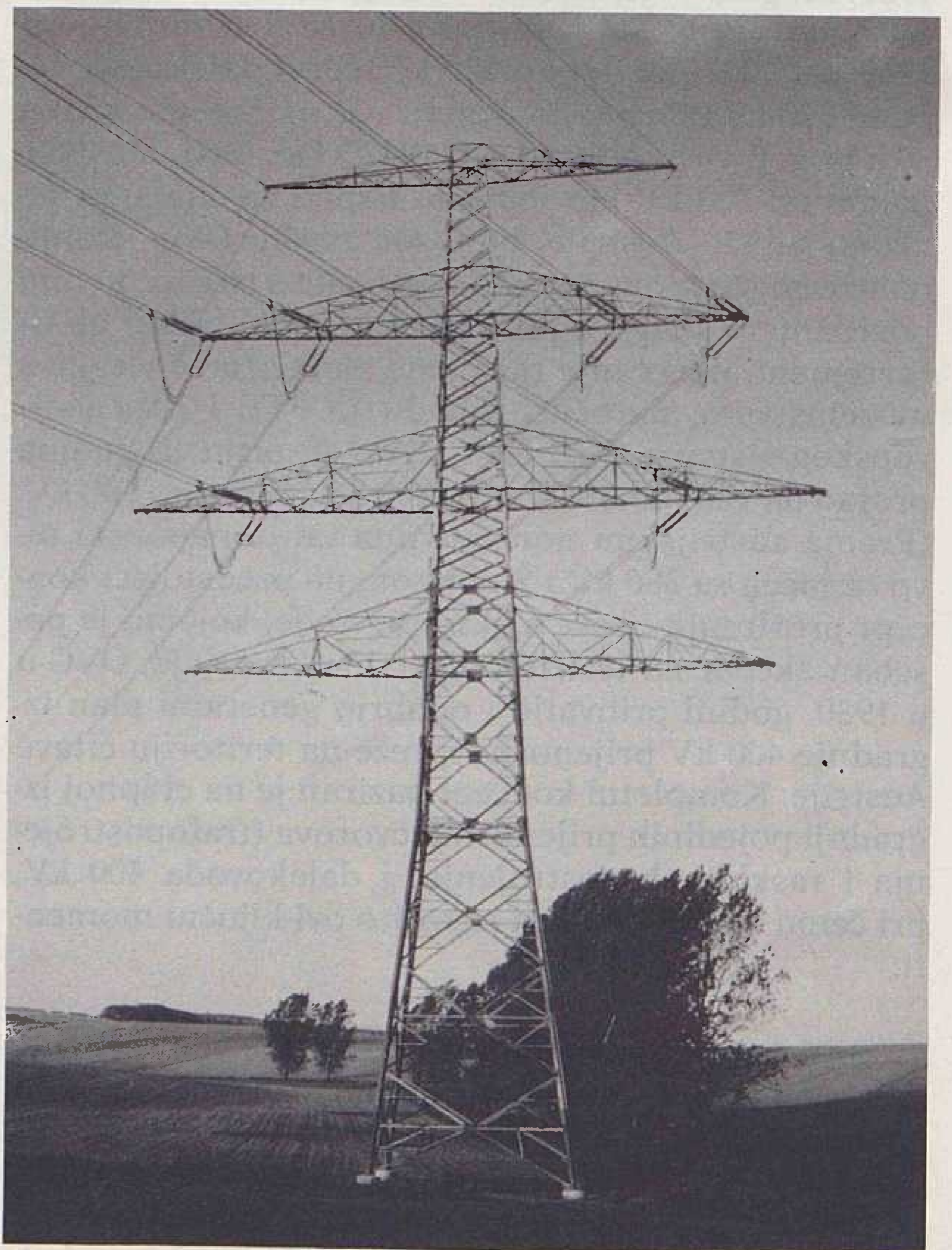
Sve međudržavne veze sa susjednim zemljama u principu su konceptijski predviđene, a neke već izgrađene u dvosistemskoj izvedbi. U posebnim slučajevima predviđeni su (ponegdje i izgrađeni) višesistemski dalekovodi, gdje su terenski i prostorni uvjeti za dalekovodne trase vrlo problematični i teški. Pritome vrlo veliku ulogu ima dugoročni koncept razvoja čitavog EES-a i sve oštriji ekološki uvjeti te zahtjevi ustanova za čuvanje prirode, ekoloških pokreta i pojedinaca.

Četverosistemski dalekovod  $4 \times 400$  kV Wien – Südost – Dürnrrohr čini zajedno s dvosistemskim dalekovodom  $2 \times 400$  kV Dürnrrohr-Ernsthofen – St. Peter takozvane »400 kV dunavske sabirnice«. Dva sistema 400 kV Dürnrrohr-Wien Südost u pogonu su već od 1984. godine, a preostala dva su predviđena nakon 1990. godine.

Slika 3. prikazuje četverosistemski dalekovod  $4 \times 400$  kV Dürnrrohr-Wien Südost, gdje su trenutno montirana samo dva sistema.

Istovremeno s izgradnjom pretvaračke stanice Dürnrrohr snage 550 MW (koji je u pogonu od rujna 1983. godine) [1, 2] iste je godine dovršen prijelaz napona 220 kV na 400 kV na dalekovodu  $2 \times 400$  kV Dürnrrohr-Ernsthofen (u pogonu od travnja 1983. godine). Taj dio »dunavskih sabirnica 400 kV« bio je inače izgrađen u godinama 1976. i 1977., a do 1983. godine bio je pod naponom 220 kV.

Zbog velikih i ozbiljnih prostornih problema u ÖVG su pri koncepciranju prijenosne mreže od 400 kV predvidjeli i izgradnju četverosistemskih mješovitih



Slika 3. Dalekovod  $4 \times 400$  kV Dürnrrohr – Wien Südost

sistema ( $2 \times 400 \text{ kV} + 2 \times 220 \text{ kV}$ ), a u specijalnim slučajevima čak i šestero sistemskih mješovitih sistema ( $4 \times 400 \text{ kV} + 2 \times 220 \text{ kV}$ ).

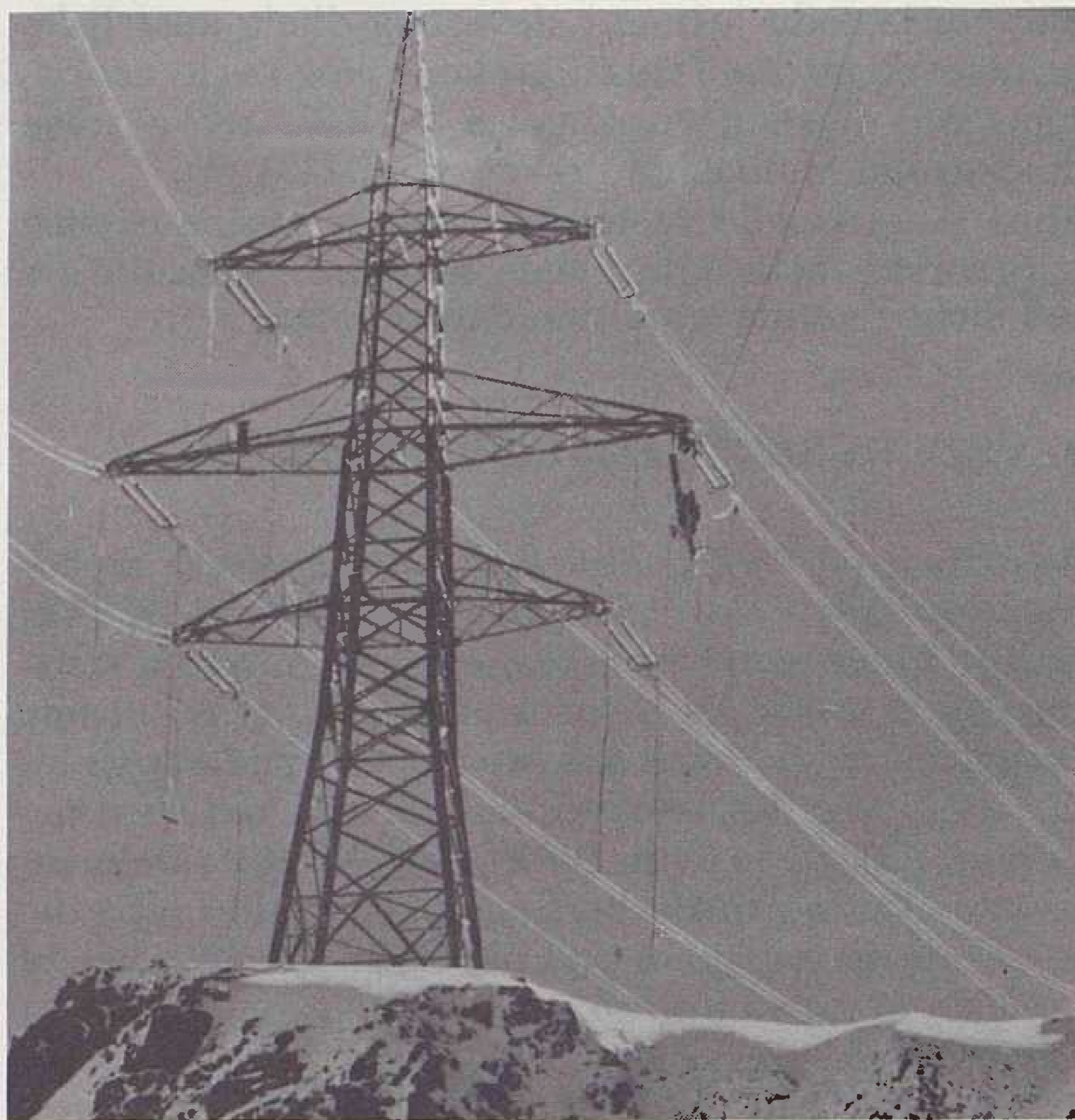
Prvi dio četverosistemskog dalekovoda mješovitog tipa bio je izgrađen na području zapadnog Tirola između TS Westtirol i Sellrain/Silz (1977/78). Na ulaznim dalekovodima 400 kV i 220 kV u novu TS Zillertal, kod ukrštavanja doline rijeke Zill u Tirolu, predviđena je čak i upotreba šestosistemskih dalekovodnih stupova mješovitog tipa u kompaktnoj izvedbi ( $4 \times 400 \text{ kV} + 2 \times 220 \text{ kV}$ ). Više o tome u 5 odjeljku.

Prema generalnom planu ÖVG, izgradnja spomenutog dijela 400 kV dalekovoda u Tirolu između TS Westtirol i TS Tauern kod Kapruna predviđena je nakon 1991. godine. Puštanje nove TS 400/220 kV Tauern u pogon predviđeno je za listopad 1990. godine, isto tako i uključivanje transformacije 400/220 kV u TS Lienz i puštanje dalekovoda  $2 \times 400 \text{ kV}$  Lienz-Tauern pod napon 400 kV. U još daljoj perspektivi predviđena je izgradnja mješovitih četverosistemskih dalekovoda na relaciji Tauern/Kaprun – Weissenbach. Termin ovisi o daljnjim energetske potrebama i trendovima potrošnje, odnosno razmjeni i tranzitu električne energije između istočnog i zapadnog područja Austrije, odnosno elektroenergetskog sistema UCPT i OES SEV.

Na postojećim 220 kV dalekovodima zbog navedenih se razloga i zbog izrazito teških prostornih problema za dobijanje novih trasa stare trase namjeravaju zamijeniti novim višesistemskim tipa ( $2 \times 400 \text{ kV} + 2 \times 220 \text{ kV}$ ) [3, 4].

Zbog istih razloga ÖVG planira nakon 2000. godine pojačati južni magistralni vod između TS Obersielach i TS Lienz sa  $2 \times 220 \text{ kV}$  na  $2 \times 400 \text{ kV} + 2 \times 220 \text{ kV}$  na istoj trasi. Na sve utječe uveliko otpočeta izgradnja međudržavnog dalekovoda  $2 \times 400 \text{ kV}$  Kainachtal – Maribor [12, 13, 14, 15, 16, 17], gdje će biti montirana istovremeno oba sistema (izgradnja je počela u proljeću 1989. godine) i budući novi dalekovod  $2 \times 400 \text{ kV}$  Lienz-Italija, gdje su se već otpočeli terenski radovi za odabiranje najpogodnije trase dalekovoda na dosta teškim alpskim terenima.

Poslije 2000. godine predviđena je nova poprečna veza DV  $2 \times 400 \text{ kV}$  TS Obersielach – TS Weissenbach (alternativno preko Hessenberga) i između TS Tauern i TS St. Peter. U toku su vrlo intenzivne predradnje za utvrđivanje trase dalekovoda 400 kV na relaciji Wien Südost – Südburgenland – Oststeiermark – Kainachtal. Ta trasa prolazi po prilično osjetljivom poljoprivrednom i vinorodnom području, pa su otpori raznih ekoloških struktura (zeleni) naročito u posljednje vrijeme vrlo oštri. ÖVG se trudi taj vrlo važan dio dalekovoda da izgradi do 1995. godine, što je povezan s izgradnjom novih pretvaračkih stanica u Wien Südostu (veza s Györom) i u Südburgenlandu (veza sa Szombathelyem u Mađarskoj). U ljeto 1989. godine izvodili su se elektromontažni radovi na montaži drugog sistema na DV  $2 \times 400 \text{ kV}$  Lienz-Tauern/Kaprun, koji je inače bio izgrađen 1975/1976. godine. Čitavo vrijeme bio je u pogonu pod naponom 220 kV, a prijelaz na 400 kV predviđen je za listopad 1990. godine. Taj dalekovod vrlo je značajna popreč-



Slika 4. Dalekovod  $2 \times 400 \text{ kV}$  Tauern – Lienz



Slika 5. Montažni radovi na dalekovodu  $2 \times 400 \text{ kV}$  Tauern – Lienz

na veza između južnog i sjevernog dijela austrijske prijenosne mreže. Prolazi preko teškog i vrlo nepristupačnog alpskog visokogorja (najviša točka trase dalekovoda je na nadmorskoj visini 2481 m).

Slika 4. prikazuje rasteretni stup u blizini najviše nadmorske točke dalekovoda, a slika 5. prikazuje detalj elektromontaže na tom dalekovodu.

### 3. VEZE SA SISTEMOM UCPTTE I OES SEV

Austrija je od 1974. godine sinhrono vezana sa zapadnoevropskim elektroenergetskim sistemom UCPTTE. Sa SR Njemačkom veza protječe preko jednog sistema DV 2 × 400 kV Westtirol-Mammingen/Leupolz (drugi sistem je još uvijek privremeno pod naponom 220 kV) i Westtirol-Sellrain-Silz-Oberbrunn (pod naponom 220 kV) te dviju DV 2 × 400 kV Bürs-Delmenzingen i Dornbirn-Herbertingen/Grünkraut (oba dalekovoda su u pogonu pod naponom 220 kV). Sve te veze su na zapadnotiroloj strani.

Do Bavarske izgrađen je dalekovod 2 × 400 kV St. Peter — SW Isar (pod naponom 220 kV) i dalekovod 220 kV St. Peter — Altheim/Simbach i St. Peter — Pleinting/Pirach.

Do 1. 1. 1990. izgrađeno je dakle ukupno 5 dalekovoda 2 × 400 kV i 2 dalekovoda 2 × 220 kV, koji su svi u pogonu pod naponom 220 kV, osim jednog sistema Westtirol-Memmingen/Leupolz (u pogonu je već od izgradnje 1963. godine pod naponom 400 kV).

Vežu sa Švicarskom čini momentano samo jedan dalekovod 2 × 400 kV Meiningen — Winkeln (1976) i samo jedan sistem, dok će drugi 400 kV dalekovod Westtirol — Kaunertal — Pradella, prema predviđanju, biti uključen u pogon 1991. godini (na austrijskom teritoriju dužina trase je oko 60 km, na švicarskom oko 10 km).

S Italijom trenutno je samo jedna dalekovodna veza, i to DV 220 kV Lienz — Soverzene (1963), što je jedan krak SUDEL zamke između Austrije, Italije i Jugoslavije. U programu je izgradnja novog dalekovoda 2 × 400 kV Lienz — Conegliano (utvrđivanje trase već je u toku) i DV 2 × 400 kV Kaunertal — Dugale, koji je zbog prostornih i drugih problema u južnom Tirolu odgođen za neodređeno vrijeme.

S Čehoslovačkom trenutno postoje dvije dalekovodne veze, i to DV 2 × 20 kV Bisamberg — Sokolice (1958) i DV 2 × 400 kV Dürnrrohr — Slavetice (izgrađen 1982/1983.). Taj dalekovod u prvom je fazi opremljen samo jednim sistemom (jedna trojka) i služi za pogon pretvaračke stanice tipa back-to-back Dürnrrohr snage 550 MW sa mogućnošću proširenja na 1100 MW. To je postrojenje prvo i trenutno jedino ovakvog tipa u Srednjoj Evropi te ima veliko značenje za prijenos odnosno razmjenu velikih količina električne energije između sistema OES SEV i UCPTTE. U redovitom pogonu je od rujna 1983. godine. Optimalni kapacitet mu je 1,6 TWh/godinu pri snazi 550 MW. Više o tome vidi [1, 2] i u stručnim člancima u posebnom broju časopisa ÖZE 39 (1983), broj 8/9, koji je u cjelini posvećen ovome postrojenju pod naslovom *Hochspannungs-Gleichstrom-Kurzkupplung*

*Dürnrrohr-Stromdrehscheibe Österreich*. U daljnjoj perspektivi predviđena je izgradnja sličnog postrojenja u Ernsthofenu i izgradnja novog dalekovoda 2 × 400 kV Ernsthofen-Dasny (ČSSR).

S Madžarskom postoji trenutno samo jedna dalekovodna veza, i to DV 2 × 220 kV Wien Südost — Györ (1968). Na 400 kV naponu u gradnji je prvi dio DV 2 × 400 kV Wien — Südost — Györ (trasa je bila odobrena u 1989. godini, a građevinski radovi počeli su u jesen 1989. godine). Ovaj vod imaće veliku važnost za povećanje razmjene električne energije iz sistema OES SEV, naročito nakon izgradnje nove pretvaračke stanice 2 × 550 MW u Wien Südostu, koja prema planu treba biti završena do 1992. godine.

U daljnjoj perspektivi predviđena je izgradnja još jedne pretvaračke stanice tipa back-to-back, iste snage u Südburgenlandu, s novim dalekovodom 2 × 400 kV Südburgenland — Szombathely.

Sa SFRJ trenutno postoji samo jedna veza, i to DV 220 kV Podlog — Obersielach (1969), ako zanemarimo dalekovod 110 kV Dravograd — Lavamünd, koji je praktički više od 20 godina izvan pogona. Dalekovod 220 kV bio je prvi put uključen pod napon 220 kV dana 1. 10. 1970. a inače je u redovitom pogonu u SUDEL zamki od 3. 6. 1975. EES Jugoslavije je od 16. 9. 1974. stalno sinhrono povezan s Italijom u SUDEL-u preko DV 220 kV Divača — Padriciano. Proslava 15-godišnjice rada SUDEL-a bila je 12. 9. 1989. u Ljubljani, gdje je 1964. godine bila osnovana radna grupa SUDEL s predstavnicima Jugoslavije, Austrije i Italije. Osnovni cilj ove grupe bila je međunarodna saradnja na području elektroprivrede [5, 6].

Izgradnja DV 220 kV Podlog — Obersielach opisana je u [7], a problematika međusobnog povezivanja i problemi regulacije frekvence i izmjenu snage u pogonu povezanih elektroenergetskih sistema u [8, 9, 10].

Posebno mjesto ima novi dalekovod 2 × 400 kV Maribor — Kainachtal koji je upravo u gradnji. Taj dalekovod predstavlja snažnu energetske vezu između obje zemlje, čime će se bitno proširiti mogućnosti razmjene električne energije između oba EES-a. Nakon 15 godina pripremnih i istraživačkih radova u listopadu 1988. godine otpočeli su prvi terenski radovi na pročišćavanju trase dalekovoda na jugoslavenskoj strani, a nakon potpisivanja međudržavnog ugovora o izgradnji ovog dalekovoda između ÖVG i EGS 3. 3. 1989. otpočeli su i operativni građevinski radovi u obje zemlje. Opis ovog projekta vidi u [11], problematika pripremnih radova na jugoslavenskom terenu opisana je u [12, 13], a problematika utjecaja novoga interkonekcijskog voda 2 × 400 kV Maribor — Kainachtal na pouzdanost jugoslovenskog EES potanko je opisana u [14, 15, 16, 17].

Za realizaciju programa izgradnje 400 kV prijenosne mreže ÖVG za 10-godišnje razdoblje 1983–1992. predviđene su ukupne investicije od 20 milijardi ATS [3] (bazne cijene za lipanj 1982), ne računajući troškove za pretvaračke stanice u Wien Südostu, Ernsthofenu i u Südburgenlandu.

Generalni plan izgradnje 400 kV prijenosne mreže ÖVG iz 1980. godine realizira se u fazama. Osnovno



načelo su besprijekorna tehnička rješenja, uz uvažavanje ekonomskih kriterija na dugi period (kao npr. odlučivanje striktno izgradnje dvosistemskih dalekovoda, odnosno u pojedinim opravdanim slučajevima i višesistemskih dalekovoda uz vremensku izgradnju pojedinih faznih trojki sistema). Ekološki problemi su naročito u posljednjem desetljeću sve prisutniji i oštiri, pa često nisu mogući kompromisi. Zbog toga je elektroprivreda često prinuđena prihvatiti mnogo skuplja tehnička rješenja (npr. pomicanje trase dalekovoda izvan urbanih područja, minimiziranje šumskih prosjeka, osiguravanje tla i prirodnih ljepota itd).

U sklopu ÖVG do 1. 1. 1989. bilo je izgrađeno 775 km dalekovoda 400 kV i 1 780 km dalekovoda 220 kV.

Neki višesistemski 400 kV dalekovodi privremeno još uvijek rade pod naponom 220 kV, a neki su napon nakon dužeg rada pod 220 kV uključeni pod napon 400 kV. To su:

- DV 2 × 400 kV Westtirol — Memmingen (SR Njemačka); u pogonu je jedan sistem sa 220 kV, dok je drugi od 1963. godine pod naponom 400 kV
- DV 2 × 400 kV Ernthofen — Dürnrrohr; uključen pod napon 400 kV u 1983. godini.
- DV 4 × 400 kV Dürnrrohr — Bisamberg — Wien Südost; pod naponom 400 kV samo dva sistema od 1984. godine
- DV 2 × 400 kV Obersielach — Kainachtal; do svibnja 1987. godine u pogonu s naponom 220 kV, u svibnju 1987. godine prebačen sistem I na 400 kV, a u veljači 1988. godine i sistem II na 400 kV.

Više detalja o ulozi i pogonskim iskustvima austrijskog EES u vezi s UCPTA i OES SEV vidi u [29, 30, 31].

## 4. TEHNIČKA RJEŠENJA 400 kV MREŽE ÖVG

### 4.1. Dalekovodi 400 kV

Pri postavljanju osnovnih parametara odlučivali su naročito ovi tehničko-ekonomski kriteriji:

- postići što višu prijenosnu snagu
- ekonomičnost s obzirom na investicijske i pogonske troškove
- postići što niže gubitke korone, što naročito vrijedi za dijelove dalekovoda u visokim alpskim predjelima
- što više uskladiti odnosno prilagoditi ekološke zahtjeve.

Brojne studijske analize izrađene u ÖVG, Tehničkom fakultetu u Beču, u Tehničkoj visokoj školi u Grazu i u drugim institutima pokazale su da je za austrijske uvjete najpogodniji prijenos električne energije kod neprekidnog pogona oko 2 kA po sistemu. Pritome se računa kod konačne izgradnje čitavog sistema poprečna dužina 400 kV dalekovoda oko 60 – 80 km.

Detaljne studije o izboru provodnika pokazale su da ovim uvjetima najviše odgovara snop od dva, tri ili četiri vodiča različitog presjeka po fazi, gdje se nisu pokazale nikakve izrazite prednosti ni za jednu od spomenutih varijanti. Pritom se ÖVG odlučio za

standardnu izvedbu snopa od dva provodnika po fazi iz Al/Č 680/85 mm<sup>2</sup>. Prema austrijskim standardima odgovara trajna dopuštena struja 2 300 A po sistemu, odnosno dopustivo termičko opterećenje 1 500 MVA po sistemu [2, 3, 29].

Tehnička izvedba snopa je u vertikalnom položaju s odstojećima od 400 mm. Neke studije a i mnoga njihova praktična iskustva pokazuju da je ovaj način snopa efektivniji od horizontalne izvedbe snopa, i to pri suzbijanju galopiranja vodiča i sukanja snopa u slučaju većih zimskih opterećenja. Navedeno rješenje upotrebljavaju adekvatno i kod dalekovoda 220 kV (teška izvedba).

### 4.2. Energetski transformatori 400/220 kV odnosno 400/110 kV

Brojne studijske analize i istraživanja pokazale su da je zbog ekonomsko-tehničkih razloga najoptimalnije rješenje s obzirom na veličinu transformatorskih jedinica, snage i napona kratkih spojeva, izvedba i drugih parametara standardna izvedba trofaznih energetskih transformatora 400/220 kV snage 600 MVA s punom izolacijom i uzdužnom, a ponegdje i s poprečnom regulacijom. S takvim tehničkim rješenjem postižu optimalne rezultate uz mogućnost ograničavanja snage kod jednopolnih i trolnih kratkih spojeva. To je vrlo bitno za dimenzioniranja ostale ras-klopne opreme u postrojenjima i za mogućnost snižavanja utjecaja na susjedne objekte, TK-vodove itd. Veće transformatorske jedinice zbog transportnih razloga nisu preporučive. Jedina iznimka je transformator 400/220 kV u TS Westtirol, gdje je bio u 1974. godini instaliran trofazni transformator snage 1 000 MVA. U svim ostalim područjima gdje mreža 220 kV nije razvijena (npr. u Oststeiermarku i Südburgenlandu) predviđa se direktna transformacija 400/110 kV. U tom slučaju transformatori su isto tako puno izolirani, snage 300 MVA uz odgovarajuću regulaciju. Ova je izvedba u usporedbi s indirektnom transformacijom u izrazitoj manjini.

Kao zanimljivost navodimo da je već u 1981. godini bila postavljena varijanta privremenog instaliranja trofaznog transformatora 400/220 kV najprije u TS Maribor i kasnije u TS Kainachtal, i to u razdoblju, kada su se usklađivali tehnički parametri i tehnička rješenja za dalekovod 2 × 400 kV Maribor — Kainachtal [12]. Nakon uključivanja TS Kainachtal i TS Obersielach pod napon 400 kV (ujedno i dalekovoda Kainachtal — Obersielach, koji je uključen pod napon 400 kV u svibnju 1987. godine), i konačnog potpisivanja ugovora o izgradnji DV 2 × 400 kV Maribor — Kainachtal 3. 3. 1989. navedene varijante o privremeni instalaciji transformacije 400/220 kV u TS Maribor ili u TS Kainachtal definitivno su otpale.

### 4.3. Prijelaz na viši naponski nivo

Kada se studirao i formirao koncept izgradnje prijenosne mreže 400 kV u ÖVG, bila je prisutna ideja o eventualnom uvođenju višeg naponskog nivoa. Bilo je razgovora o naponskom nivou 750 kV s obzirom na izgradnju 750 kV sistema u obližnjim zemljama

OES SEV (dalekovod 750 kV Zapadnoukrajinska — Albertirsa u Madžarskoj bio je pušten u pogon 1978. godine). S obzirom na tehničke i ekonomske parametre jedan jednosistemski dalekovod 750 kV može se usporediti s jednim četverosistemskim dalekovodom 400 kV ( $4 \times 400$  kV). Utjecaji na okolinu su kod 750 kV dalekovoda bitno veći. Termička snaga je u oba oko 6 000 MVA, a troškovi gradnje u oba procijenjeni su na 13 do 18 milijuna ATS/km (za srednje raspone 300–400 m i za nizinski teren). Da bi dostigli odgovarajuću pogonsku sigurnost kod havarija odnosno u slučaju ispada pojedinog sistema, kod 750 kV potrebna su dva dalekovoda, a kod 400 kV u pogonu još uvijek ostaju tri sistema. Dok su pogonski gubici na 750 kV sistemu bitno manji nego na 400 kV sistemu, investicijski su troškovi za 750 kV bitno veći zbog većeg opsega postrojenja (i do tri puta). Dodatni je problem utvrđivanje rezervnih trasa dalekovoda 750 kV, naročito u vrlo teškim alpskim uvjetima. Pritome treba uvažiti to da su dalekovodi u Austriji razmjerno kratki — u prosjeku 60 do 80 km.

S obzirom na sve navedene tehničke činjenice te privredne i teritorijalne osobitosti Austrije kao pretežno alpske države, u austrijskoj su elektroprivredi zaključili da zbog tehničkih, ekonomskih i ekoloških razloga jednostavno nije bilo potrebno uvoditi nivo višeg napona od 400 kV. U zapadnoj Evropi, pa i drugdje, više se od 15 godina vrlo intenzivno studiraju pa i eksperimentalno istražuju različiti programi EHV i UHV (ekstravisokog i ultravisokog napona). Poznati su programi ENEL-a 1 050 kV iz Italije [19], program 1 150 kV iz Sovjetskog Saveza [20, 21], program 1 200 kV BPA iz SAD i program 1 600 kV AEP-ASEA s eksperimentalnim postrojenjem iz South Benda u Illinoisu SAD [22]. U realizaciji te zamisli najviše je učinjeno u Sovjetskom Savezu. U 1985. godini bio je pušten u pogon prvi dio dalekovoda 1 150 kV Ekibastus — Kokčitaf — Kurtanaj u dužini 900 km. Njegova ukupna dužina od Čeljabinska u srednjem Uralu preko Kokčitafa do Ekibastusa u Kazahstanu u Srednjoj Aziji i dalje do Itata u Sibiru bit će oko 2 700 km.

Vrlo impozantan je i projekt 1 500 kV jednosmjernog prijenosa  $\pm 750$  kV u Sovjetskom Savezu na relaciji od Ekibastusa (Kazahstan u Srednjoj Aziji) do središnje regije Sovjetskog Saveza u ukupnoj dužini 2 414 km. Oba programa su već djelomično u izgradnji, a završetak radova predviđa se do 1995. godine. Sve istraživačke i studijske radnje za naredna dva projekta obavljena su u institutu VEI Moskva (Svesajuzni elektrotehnički institut). Eksperimentalna istraživanja na poligonu za testiranje 1 150 kV izmjenične struje 50 Hz i 1 500 kV ( $\pm 750$  kV) jednosmjernne struje obavljaju se u VEI Filijali Toljati kod Kujbiševa [23].

## 5. EKOLOŠKA PROBLEMATIKA ČUVANJA OKOLINE

Ekološki pokret je u Austriji vrlo snažan. On je naročito u posljednjem desetljeću bitno utjecao na kon-

ceptiju i realizaciju projektiranja i izgradnje energetskih objekata, pa tako i na dalekovodnu tehniku, jer dalekovodi zauzimaju određeni teritorij i utječu na širi prostorni izgled, odnosno na okolinu. U Austriji, koja je posebno u zapadnom dijelu izrazito alpska zemlja, taj je problem posebno prisutan i izoštren. U novije vrijeme ÖVG treba za svaki značajni prijenosni objekt (dalekovod ili trafopostrojenje) izraditi odnosno nadležnim organima predložiti posebne studije sa stručnim mišljenjima o utjecaju objekata na okolni prostor, što vrijedi i za sve ostale energetske objekte. Takve studije se zbog objektivnijeg prikaza naručuju obično kod priznatih vanjskih institucija, koje treba da daju varijantna rješenja s konačnim mišljenjem i prijedlogom o načelnom tehničkom rješenju za određeni objekt (npr. za cijeli dalekovod ili samo za dio najproblematičnog voda ili postrojenja itd.).

Poseban primjer takvih tehničkih i ekoloških studija jest razrada odgovarajućih rješenja za vrlo zahtjevnu trasu novih dalekovoda 400 kV u dolini rijeke Inn i Ziller u Zapadnom Tirolu između TS 400/220 kV Westtirol i TS 400/220 kV Zillertal te TS 400/220 kV Tauern kod Kapruna. Ovdje su predviđeni višesistemski dalekovodi na četverosistemskim i šesterosistemskim stupovima. Za tu trasu dalekovoda ÖVG je naručio posebnu studiju, koju je izradio Institut za električna postrojenja i visokonaponsku tehniku pri Tehničkom fakultetu u Beču [24].

Studija je nakon detaljnog proučavanja svih tehničkih, ekonomskih i ekoloških aspekata pokazala da je najoptimalnija dugoročna varijanta izgradnja višesistemskog dalekovoda ( $4 \times 400$  kV) na čitavoj trasi od TS 400/220 kV Westtirol do nove TS 400/220 kV Tauern kod Kapruna u ukupnoj dužini 175 km.

Veći se dio postojećeg 220 kV dalekovoda demontira i na istoj trasi gradi novi višesistemski dalekovod  $4 \times 400$  kV. Novi dalekovod će zbog drugih razloga prolaziti djelomično i novom trasom izvan naselja (alpski turistički centri). Dio stare napuštene trase 220 kV dalekovoda namijenjen je drugim potrebama: urbanističkim, privrednim, poljoprivrednim, a udovoljeno je i ekološkim zahtjevima.

Prema stručnim nalazima i prijedlogu studije [24] nesporno izlazi da će dva sistema 400 kV direktno povezivati TS 400/220 kV Westtirol i TS 400/220 kV Tauern, a preostala dva sistema će se uključiti u novu TS 400/220 kV Zillertal. Odatle će treći sistem ići direktno u TS 400/220 kV Tauern, a četvrti će sistem biti uključen preko već izgrađenoga dvosistemskog dalekovoda  $2 \times 400$  kV Tauern/Kaprun-Lienz u novo postrojenje 400 kV u Matriju (gdje je predviđena nova akumulacija u alpskom visokogorju snage 450 MW) uz odgovarajuća prespajanja na dalekovodnim stupovima u zajedničkoj točki obiju trasa kod Mittersilla.

Kod prelaska doline rijeke Ziller sa uvodnim dalekovodima 400 kV i 220 kV u novu TS 400/220 kV Zillertal u studiji [24] su razrađene slijedeće varijante:

- nadzemni vodovi u višesistemskoj izvedbi
- podzemski kablovodi u više varijanti (jednožilni kabeli sa prirodnim hlađenjem položeni u zemlju,

jednožilni kabeli s prirodnim hlađenjem položeni u kanale, jednožilni kabeli sa forsiranim hlađenjem položeni u specijalne kanale)

- oklopljeni cijevni vodovi u SF 6 izvedbi posebno za 400 kV i posebno za 220 kV dio.

Pojedina varijantna rješenja obrađena su za spomenuti vrlo delikatni i osjetljivi dio trase dužine cca 1,5 km i to s tri aspekta:

a) s tehničkog aspekta s obzirom na:

- opterećenje
- gubitke
- preopterećenje
- utjecaj na prilike kratkih spojeva
- prilike jalove energije
- prenaponske probleme
- pogonsku sigurnost

b) s aspekta očuvanja okoline:

- prostorne potrebe (površine)
- utjecaj na okolinu
- ekološki utjecaji
- elektromagnetni utjecaji
- ostali utjecaji u prostoru (gromobranska zaštita).

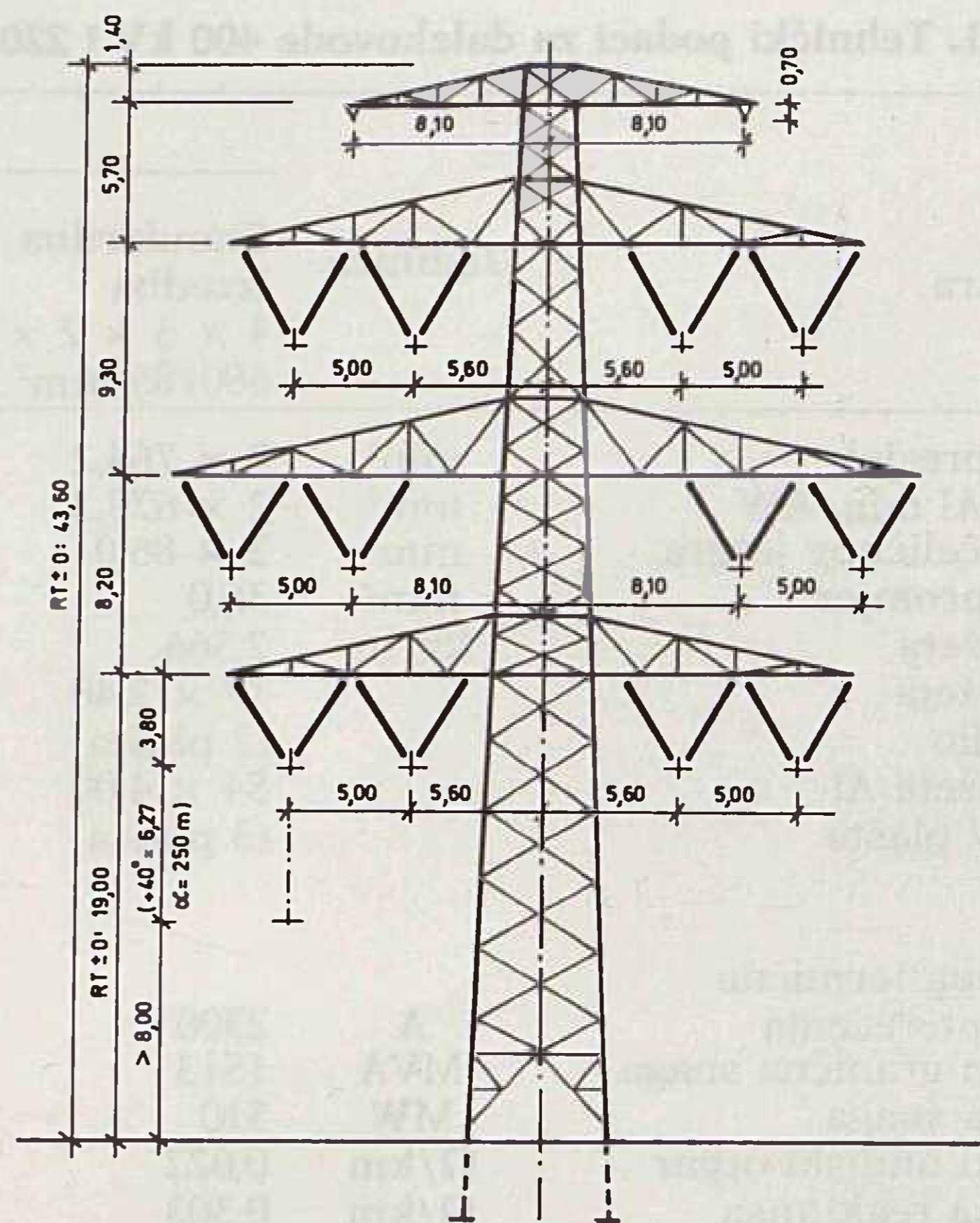
c) s aspekta ekonomskih učinaka:

- investicioni troškovi
- pogonski troškovi
- troškovi gubitaka.

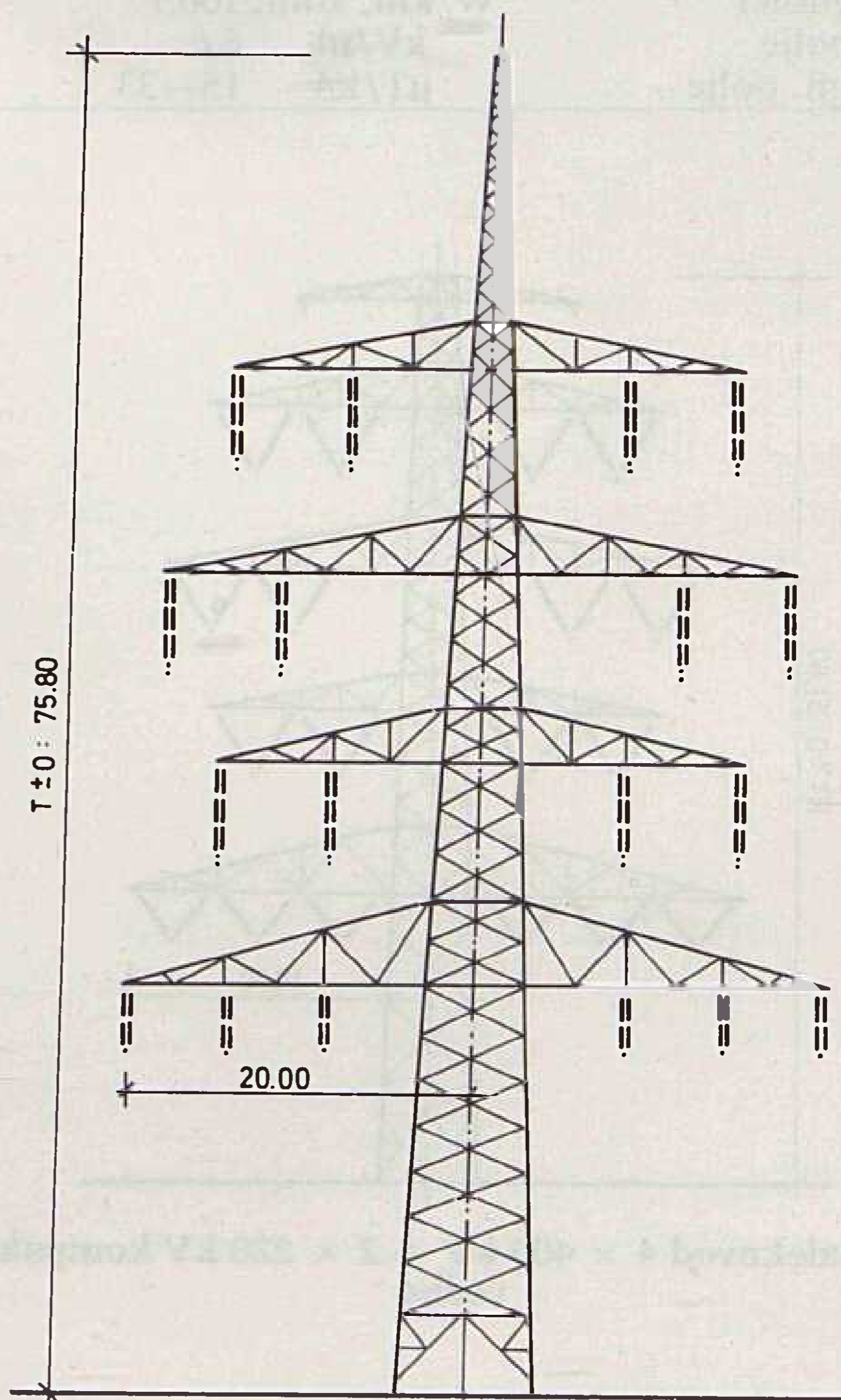
Najoptimalnija varijanta za ovaj najkritičniji dio pokazala se ugradnjom četverosistemskog dalekovoda  $4 \times 400$  kV u kompaktiranoj izvedbi i višesistemskog kombiniranog sistema ( $4 \times 400$  kV +  $2 \times 220$  kV) također u kompaktiranoj izvedbi (upotreba jednog provodnika većeg presjeka Al/AW 1805/228 mm<sup>2</sup> za 400 kV dio, odnosno Al/AW 1514/182 mm<sup>2</sup> za 220 kV dio umjesto snopa dva vodiča Al/Č 680/85 mm<sup>2</sup> u vertikalnom položaju za oba naponska nivoa). Pri tom se primjenjuju dva gromobranska užeta aldrey AlMg Si/Č 240/80 mm<sup>2</sup> umjesto jednog užeta klasične izvedbe i upotreba »V« izolatorskih lanaca. S time se postižu bitne prednosti, i to: manje visine stupova (od 76 m na 52 m kod šestosistemskog voda, odnosno od 66 m na 43 m kod četverosistemskog voda) i u oba slučaja mnogo bolji pregled na čitavi vod (uočljivo rasterećenje zbog jednog užeta). Promatrano s ekološke strane, postignuta je prava namjera ovakvog rješenja, to jest estetsko smanjenje vidljivosti voda u prostoru, odnosno estetsko razterećenje objekta (voda) u prostoru.

Pogled na četverosistemski nosni stup DV  $4 \times 400$  kV normalne izrade prikazuje slika 2, pogled na četverosistemski nosni stup DV  $4 \times 400$  kV u kompaktiranoj izvedbi prikazuje slika 6. Pogled na šestosistemski nosni stup mješanog tipa DV  $4 \times 400$  kV +  $2 \times 220$  kV normalne izrade prikazuje slika 7, a kompaktirane izvedbe slika 8.

Tehnički podaci za uže Al/AW 1805/228 mm<sup>2</sup> i za Al/AW 1514/182 mm<sup>2</sup> poznati su pod imenom »bospor uže«, koje je bilo upotrijebljena kod ukrštanja dalekovoda 400 kV preko morskog tjesnaca Bospor u Turskoj [25]. Razlika je samo u upotrebjenom materijalu zbog velike razdaljine (1757 m), gdje je bila pri-



Slika 6. Dalekovod  $4 \times 400$  kV kompaktne izvedbe



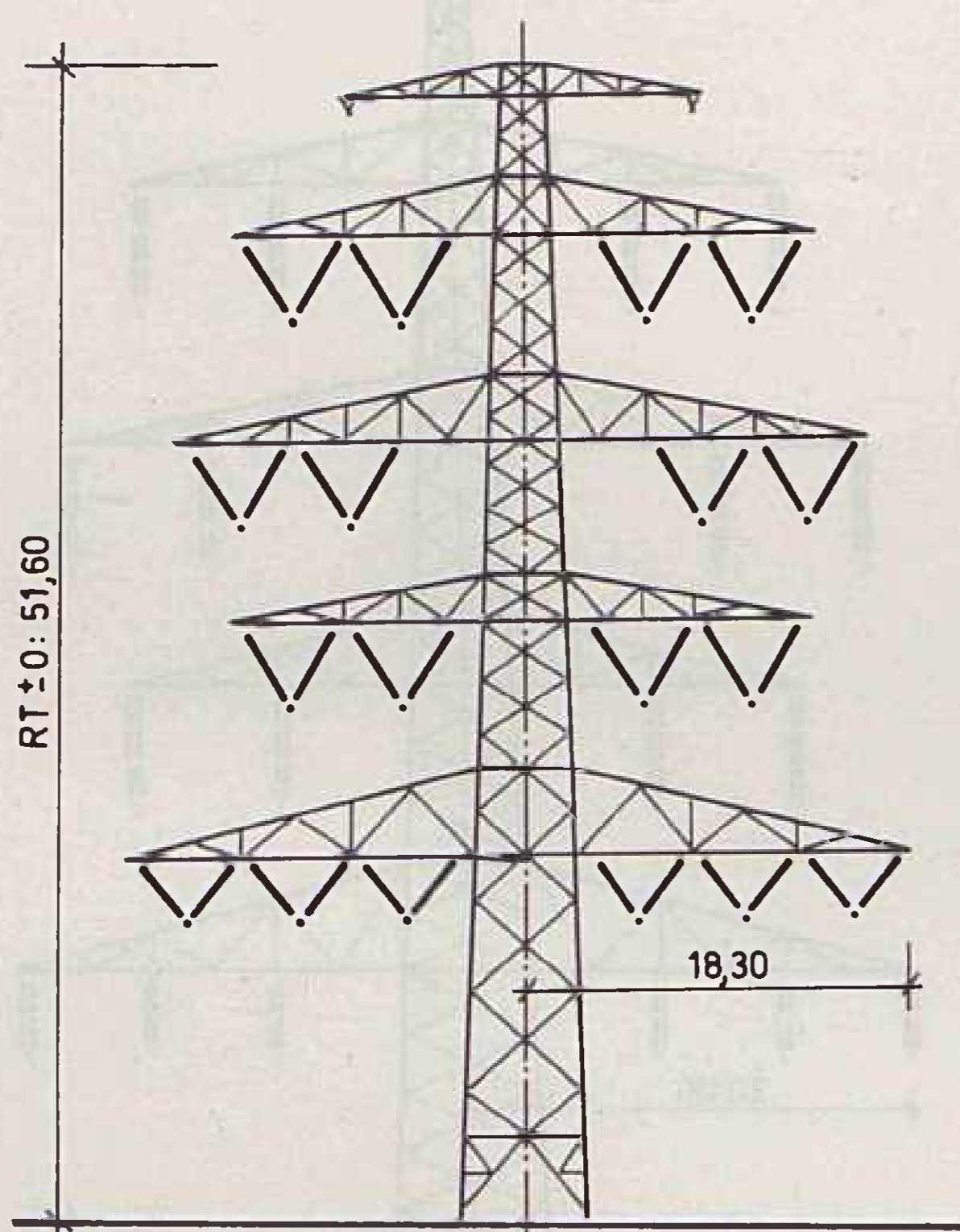
Slika 7. Dalekovod  $4 \times 400$  kV +  $2 \times 220$  kV normalne izvedbe

mijenjena kombinacija AlMgSi/AW (aldrey/alumoweld) istih dimenzija. Tehnički parametri ovakvog užeta Al/AW 1805/228 mm<sup>2</sup> s obzirom na prijenosne snage snopa dvaju vodiča  $2 \times$  Al/Č 680/85 su praktički isti (vidi tablicu 1).

Istraživanja elektromagnetnih utjecaja kod konkretnih višesistemskih dalekovoda 400 kV pokazala su, da električno polje ispod četverosistemskih daleko-

Tablica 1. Tehnički podaci za dalekovode 400 kV i 220 kV različitih izvedbi u EES Austrije

Vrsta parametra	Jedinica	400 kV		220 kV	
		Standardna izvedba 4 × 3 × 2 × Al/Č 680/85 mm <sup>2</sup>	Kompaktirana izvedba 4 × 3 × 1 Al/AW 1805/228 mm <sup>2</sup>	Standardna izvedba 2 × 3 × 2 Al/Č 560/50 mm <sup>2</sup>	Kompaktirana izvedba 2 × 3 × 1 Al/AW 1514/182 mm <sup>2</sup>
ukupni presjek	mm <sup>2</sup>	2 × 764,2	2033,29	2 × 611,2	1696,0
presjek Al odn. AW	mm <sup>2</sup>	2 × 678,2	1805,46	2 × 561,7	1514,37
presjek čeličnog jezgra	mm <sup>2</sup>	2 × 86,0	227,83	2 × 49,5	181,62
vanjski promjer	mm <sup>2</sup>	36,0	58,9	32,2	53,7
težina užeta	kg/m	2,566	6,488	1,954	5,432
sastav užeta		19 × 2,40	37 × 2,80	7 × 3,00	37 × 2,50
čelični dio		(2 plašta)	(1+6+12+18)	(1 plašt)	(1+6+12+18)
sastav užeta Al odn. AW plašta		54 × 4,00 (3 plašta)	108 × 3,90 + 40 × 4,05 (18 + 24 + 30 + 36 + 40)	48 × 3,86 (3 plašta)	108 × 3,50 + 36 × 4,10 (18 + 24 + 30 + 36 + 36)
dozvoljena termična struja opterećenja	A	2300	2320	2080	2100
termična granična snaga	MVA	1513	1527	792,6	800,0
prirodna snaga	MW	510	445	182	147
pogonski ohmski otpor	Ω/km	0,022	0,015	0,026	0,019
pogonska reaktansa	Ω/km	0,303	0,35	0,284	0,36
pogonska kapacitivnost	nF/km	12,04	10,56	12,84	10,46
reaktivna snaga	Mvar/km	0,546	0,479	0,195	0,159
maks. rubno elektr. polje	kV/m	15,13	14,14	9,84	8,9
dozvoljeno rubno el. polje	kV/m	16,13	15,71	16,46	15,98
koronski gubici	W/km, vodič	100,1	68,0	2,1	1,5
maks. el. polje	kV/m	6,6	5,25	3,9	5,25
maks. magn. polje	μT/kA	15–33	15–33	15–33	15–33



Slika 8. Dalekovod 4 × 400 kV + 2 × 220 kV kompaktne izvedbe

voda 4 × 400 kV ne prelazi 6,6 kV/m, ispod šestosistemskih dalekovoda mješovitog tipa 4 × 400 kV + 2 × 220 kV pa 5,25 kV/m. Za magnetsko polje je utvrđena maksimalno 70 μT odnosno 56 A/m, a inače je znatno niža. Električno polje ovisno je o pogonskom naponu i konstrukcijskim dimenzijama dalekovoda, dok je magnetno polje ovisno o veličini i smjeru struje u toku rada dalekovoda.

No ukupno dobijeni rezultati su daleko ispod vrijednosti, propisanih u raznim standardima koje su deklarirane kao opasne (npr. standardi GOST iz Sovjet-

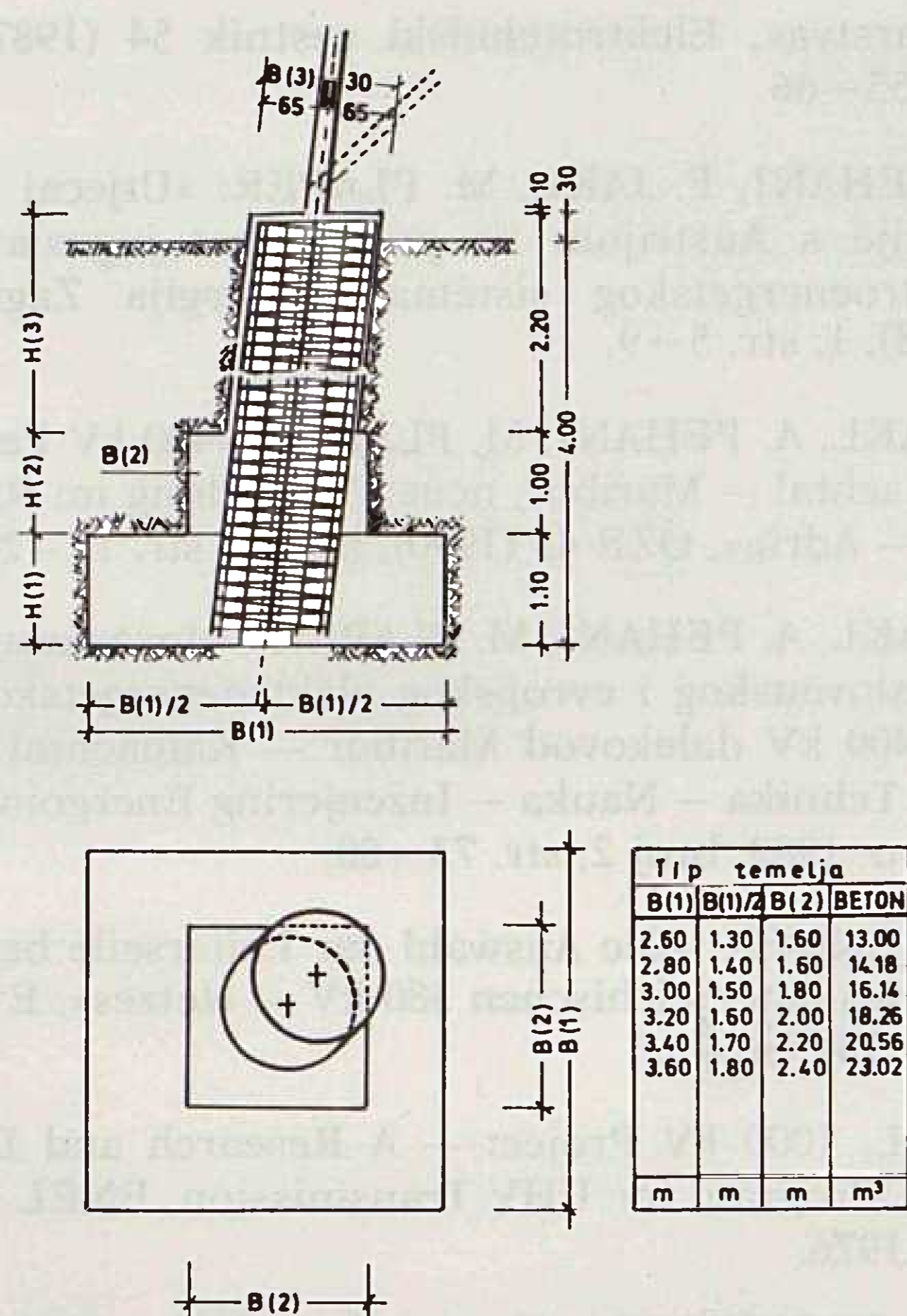
skog Saveza [26] odnosno podaci Svjetske zdravstvene organizacije WHO i CIGRE Paris [27].

Posebna studija [28] pak daje rezultate utjecaja visokonaponskih dalekovoda i podzemnih kablovoda na mikrobiološku klimu okoliša i tla u neposrednoj blizini visokonaponskih objekata. Za dalekovode nisu utvrđeni nikakvi štetni utjecaji. Na primjer utjecaj električnog polja oko dalekovoda na stvaranje ozonskog plašta je zanemarivo [24]. Utvrđeno je, da ova vrijednost i kod dalekovoda najvišijih i ultravisokih napona iznosi oko jedan posto od onoga, što ukupno čine promet, industrija, loženje za grijanje itd. Isto tako je dokazano, da visokonaponski dalekovod sa svojim električnim poljem ne utječe na stvaranje atmosferskih uvjeta za pojavu tuče, itd.

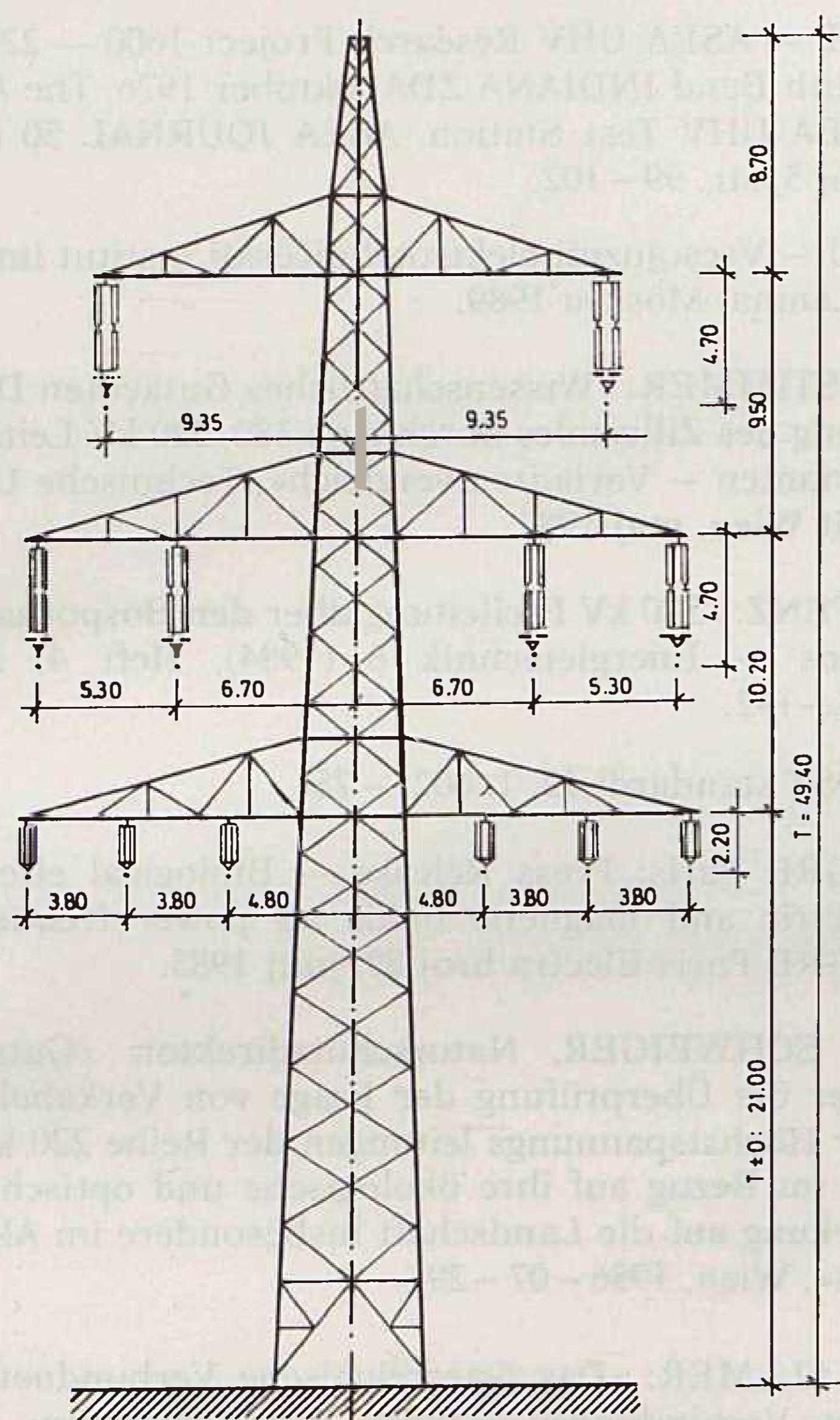
Slična ispitivanja o ekološkim opterećenjima i utjecaju na okolinu bila su učinjena za novi dalekovod 2 × 400 kV Maribor – Kainachtal i za mnoge druge. Tipični raščlanjeni temelj zateznog stupa na austrijskoj trasi dalekovoda 2 × 400 kV Kainachtal – Maribor prikazuje slika 9, dok nosni stup na novoj dionici dalekovoda od TS Kainachtal – Südburgenland – Wien Südost prikazuje slika 10. (DV 2 × 400 kV + 2 × 110 kV).

## 6. ZAKLJUČAK

Austrijska elektroprivreda ÖVG odlučila se 1980, nakon izvršenih brojnih studija, analiza i ispitivanja za koncept izgradnje 400 kV prijenosne mreže, koji omogućuje elastičnu i etapnu izgradnju. Usvojena koncepcija standardnih dvosistemskih dalekovoda 2 × 400 kV s faznim vodičima u vertikalnoj izvedbi



Slika 9. Raščlanjeni temelj kutno rasteretnog stupa dalekovoda 2 × 400 kV za normalne geološke uvjete



Slika 10. Dalekovod 2 × 400 kV + 2 × 110 kV normalne izvedbe

2 × Al/Č 680/85 mm<sup>2</sup> i s jednim gromobraskim užetom 1 × AlMg Si/Č 240/80 mm<sup>2</sup> omogućuje upotrebu jedinstvenih standardnih izvedbi dalekovodnih

stupova u cijeloj Austriji. Stupovi i gromobrasko uže je tako dimenzionirano, da se može kasnije, kad se pokaže potreba, na nju dodatno montirati i svjetleći kabel za potrebe telekomunikacija i informacijskog sistema. U posebnim slučajevima u skladu s dugoročnom strategijom razvoja elektroprivrede i privrede uopće, uz jednovremeno optimalno iskorištavanje prostora, ÖVG planira i izgrađuje i višesistemске dalekovode (npr. DV 4 × 400 kV Dürnrrohr – Wien Südost, gdje su trenutno montirana samo dva sistema 2 × 400 kV), odnosno četverosistemski mješani sistemi (2 × 400 kV + 2 × 220 kV).

U prostorno i ekološki vrlo osjetljivim područjima (npr. u Tirolu) za najkritične dijelove su predviđeni četverosistemski dalekovodi u kompaktiranoj izvedbi (4 × 400 kV), ili čak mješani šestosistemski kompaktirani dalekovodi (4 × 400 kV + 2 × 220 kV). Kod takvih dalekovoda predviđa se 400 kV upotreba samo jednog faznog vodiča većeg presjeka Al/AW 1805/228 mm<sup>2</sup>, odnosno Al/AW 1514/182 mm<sup>2</sup> kod 220 kV dalekovoda sa po dva gromobraska užeta 2 × Al Mg Si/Č 240/80 mm<sup>2</sup>. Izolatorski lanci su kod kompaktiranog voda u »V« izvedbi. Na takav način dobijaju se niži stupovi i istovremeno manje uočljivi. S upotrebom jednog faznog vodiča umjesto dva u vertikalnoj izvedbi dobija se manja uočljivost cijelog dalekovoda (pogled sa strane). Takva rješenja predviđena su na vrlo osjetljivom području Tirola, pa i drugdje (npr. kod ukrštavanja rijeke Ziller s višesistemskim mješovitim sistemom dalekovoda u kompaktiranoj izvedbi (4 × 400 kV + 2 × 220 kV ispred nove TS 400/220 kV Zillertal u Tirolu). Za smanjenje uočljivosti dalekovodnih stupova u prostoru primjenjuje se poseban površinski tamniji premaz (obično zelene boje), koji istovremeno služi kao zaštita od korozije osnovnoj vruće pocinčanoj čeličnoj konstrukciji (Duplex Sistem). Na taj način vijek trajanja antikorozivne zaštite čeličnih konstrukcija znatno se produžuje čak i za 300 %, odnosno na čitav amortizacijski vijek od 50 godina. U najnovije vrijeme na traženje ekologa na potpuno nove provodnike se već u tvornici nanose dodatni tamniji premazi. Ovaj tamniji premaz ima ulogu, da uže na novo izgrađenom dalekovodu čini manje uočljivim. Obično uže nakon jednogodišnje upotrebe samo potamni.

U tehničkoenergetskom smislu ovakvo konceptijsko rješenje etapne izgradnje 400 kV prienosne mreže Austrije, odnosno austrijske elektroprivrede ÖVG, zadovoljava, uz određenu rezervu, sve do 2000. odnosno 2020. godine. Ključna postrojenja su tako koncipirana, da se mogu uz manje preinake osposobiti za viši naponski nivo, ako to bude potrebno. Na osnovi brojnih istraživanja u okviru raznih evropskih udruženja i organizacija (npr. UNIPEDE) usvajanje višeg naponskog nivoa bit će aktualno tek nakon 2000. godine.

Mnoga rješenja s tehničkim i znanstvenim rezultatima zanimljiva su i za našu praksu. Bilo bi dobro koristiti ih kod dalekovodne tehnike u nas bez obzira na trenutno velike privredne poteškoće.

## LITERATURA

- [1] W. FREMUTH: »Hochspannungs-Gleichstrom-Kurzkupplung Dürnrohr Stromdrehzscheibe Österreich, Bedeutung der Hochspannungs-Gleichstrom-Kurzkupplung im Rahmen der Ost-West-Beziehungen«, ÖZE 36 (1983), broj 8/9, strana 257-258.
- [2] W. RENNER: »Technische Entwicklung der Netze von Ost und West und deren Zukünftige Verknüpfung«, ÖZE (36), broj 8/9, strana 263 – 265.
- [3] H. ALLMER: »Planung eines österreichischen 380 kV – Verbundnetzes und dessen überregionale Bedeutung«, ÖZE 36 (1983), broj 3/4, strana 50 – 55.
- [4] R. BLUMER: »380 kV Freileitungsbau«, ÖZE 36 (1983), broj 3/4, strana 91 – 99.
- [5] V. KOROŠEC: »Zanka SUDEL med Jugoslavijo, Avstrijo in Italijo pripravljena«, Elektrotehniški vestnik 37 (1970) 11 – 12, strana 249 – 250.
- [6] L. LJUBIŠA, Jugel: »Razvoj in delovanje jugoslovanskega elektroenergetskega sistema.«  
W. FREMUTH ÖVG: »Moderni procesi deregulacije in privatizacije v evropskih elektroenergetskih sistemih.«  
F. ARIATTI, ENEL: »Italijanski razvoj na področju električne energije in prispevek k evropski interkonekciji.«  
A. PEHANI, F. GUBINA, M. PLAPER, EIMV Ljubljana: »Nujnost vključevanja jugoslovanskega elektroenergetskega sistema v širši evropski prostor.«  
Referati na strokovnem posvetovanju Evropski Elektroenergetski tokovi danes in v perspektivi ob 15. letnici SUDEL obratovanja, Ljubljana 1989 – 09 – 12.
- [7] F. JAKL: »Gradnja daljnovoda Podlog – Holmec – Obersielach (Na Selu) kot del mednarodne povezave 220 kV SUDEL med Jugoslavijo, Avstrijo in Italijo«, Elektrotehniški vestnik 38 (1971), 4 – 5, str. 62 – 72.
- [8] M. PLAPER: »Nekateri problemi elektroenergetskega povezovanja Jugoslavije s sosednjimi državami«, Elektrotehniški vestnik 35 (1968), 9 – 10, str. 164 – 170.
- [9] M. PLAPER: »Regulacija frekvence in moči izmenjav v praktičnem obratovanju povezanih elektroenergetskih sistemih«, Elektrotehniški vestnik 36 (1969), 11 – 12, str. 297 – 301.
- [10] M. PLAPER: »Jugoslavanski elektroenergetski sistem v evropskem prostoru«, Elektrotehniški vestnik 46 (1979), 4, str. 213 – 221.
- [11] M. ALLMER: »Ausbau des österreichischen 380 kV Netzes-Projekt 380 kV Leitung Kainachtal – Staatsgrenze – Maribor«, Verbundgesellschaft Wien, 4. Auflage, Januar 1988.
- [12] F. JAKL: »Problematika predhodnih del na daljnovodu 2 × 400 kV Maribor – Kainachtal (Avstrija)«, Elektrotehniški vestnik 54 (1987), 1 – 2, str. 61 – 76.
- [13] F. JAKL: »Historiat študijskih in operativnih del za ojačitev povezave Jugoslavije z Avstrijo na nivoju 400 kV«, Elektrotehniški vestnik 57 (1990) broj 1.
- [14] K. BAKIĆ, F. JAKL, M. PLAPER: »Vzpon mednarodne delitve dela na področju jugoslovanskega elektrosog-
- podarstva«, Elektrotehniški vestnik 54 (1987), 1 – 2, str. 55 – 66.
- [15] A. PEHANI, F. JAKL, M. PLAPER: »Utjecaj interkonekcije s Austrijo na pouzdanost jugoslavenskog elektroenergetskog sistema«, Energija Zagreb, 37 (1988), 1, str. 5 – 9.
- [16] F. JAKL, A. PEHANI, M. PLAPER: »400 kV Feileitung Kainachtal – Maribor, neue Verbindung im Raum Alpen – Adria«, ÖZE 43 (1990), broj 1, str. 15 – 20.
- [17] F. JAKL, A. PEHANI, M. PLAPER: »Nova veza između jugoslovenskog i evropskog elektroenergetskog sistema 400 kV dalekovod Maribor – Kainachtal (Avstrija)«, Tehnika – Nauka – Inženjering Energoinvest Sarajevo, 1989, broj 2, str. 73 – 80.
- [18] W. RENNER: »Die Auswahl der Leiterseile beim Ausbau des österreichischen 380 kV – Netzes«, E und M, 94 (1974), broj 11
- [19] ENEL, 1000 kV Project – A Research and Development Program for UHV Transmission, ENEL Milano, julij 1976.
- [20] A. A. TROICKOGO: »Energetika SSSR v 1986 – 1990«, Moskva 1987.
- [21] G. N. ALEKSANDROV: »Ustanovki sverhvisokogo napražanja i ohrana okružajočej sredi«, Leningrad 1989.
- [22] AEP – ASEA UHV Research Project 1600 – 2200 kV, South Bend INDIANA ZDA, oktober 1976, The AEP – ASEA UHV Test Station, ASEA JOURNAL 50 (1977), broj 5, str. 99 – 102.
- [23] VEI – Vsesojuznij elektrotehničeskij institut imeni V. I. Lenina, Moskva 1989.
- [24] H. STIMMER: »Wissenschaftliches Gutachten Die Querung des Zillertales durch eine 380/220 kV Leitung – Varianten – Varianten vergleich«, Technische Universität Wien, maj 1987.
- [25] J. FENZ: »380 kV Freileitung über den Bosphorus«, Siemens – Energietechnik 6 (1984), Heft 4, strana 138 – 142.
- [26] GOST standardi 12. 1. 002 – 75.
- [27] CIGRE Paris: Press Release – Biological effects of electric and magnetic fields ad power frequencies, CIGRE Paris Electra broj 89, julij 1983.
- [28] H. SCHWEIGER, Naturschutzdirektor: »Gutachten über die Überprüfung der Frage von Verkabelungen der Höchstspannungs leitungen der Reihe 220 kV/380 kV im Bezug auf ihre ökologische und optische Auswirkung auf die Landschaft insbesondere im Alpenraum«, Wien, 1986 – 07 – 29.
- [29] H. ALLMER: »Das österreichische Verbundnetz und seine Verbindungen zu West – und Osteuropa«, E und M, 100 (1980), broj 11.
- [30] W. ERBACHER, W. RENNER: »Österreichs Höchstspannungsnetz und der Verbundbetrieb mit den Nachbarstaaten«, ÖZE 29 (1978), broj 5.
- [31] K. HÖNIGMANN: »Die Situation Österreichs im europäischen Verbundnetz«, ÖZE 38 (1985), broj 2, stran 31 – 41.

**A DEVELOPMENT CONCEPT AND CONSTRUCTION OF 400 kV HV TRANSMISSION NET IN AUSTRIA WITH ENVIRONMENTAL PROBLEMS**

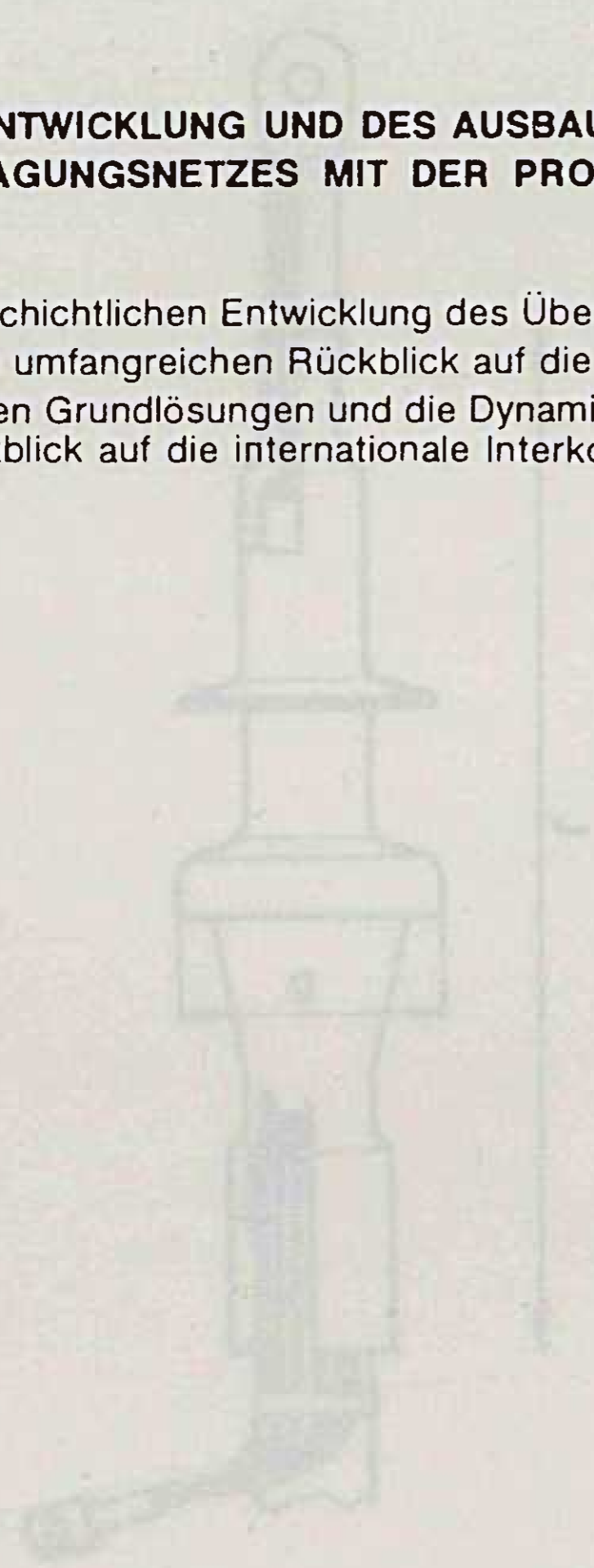
In the article is presented a short historical development of 110 kV and 220 kV transmission net with description of 400 kV net concept with technical solutions and investment dynamics. It is also discussed an international interconnection with the environmental impacts.

**КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ АВСТРИИ С ПРОБЛЕМАТИКОЙ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

После короткого описания исторического развития сетей передачи 110 и 220 кВ, приводится обстоятельный взгляд на концепцию сети 400 кВ, на основные технические решения и динамику строительства. Отдельно рассматривается международное объединение и влияние на окружающую среду.

**KONZEPTION DER ENTWICKLUNG UND DES AUSBAUS DES 400 kV ÖSTERREICHISCHEN ÜBERTRAGUNGSNETZES MIT DER PROBLEMATIK DES UMWELTSCHUTZES**

Neben der kurzen geschichtlichen Entwicklung des Übertragungsnetzes 110 kV und 220 kV gibt man einen umfangreichen Rückblick auf die Konzeption des 400 kV Netzes auf die technischen Grundlösungen und die Dynamik des Ausbaus. Man gibt einen besonderen Rückblick auf die internationale Interkonexion und auf den Einfluß auf die Umwelt.



Naslov pisca:

**Mr. Franc Jakl, dipl. inž.  
Dravske elektrane Maribor  
62000 Maribor, Jugoslavija**

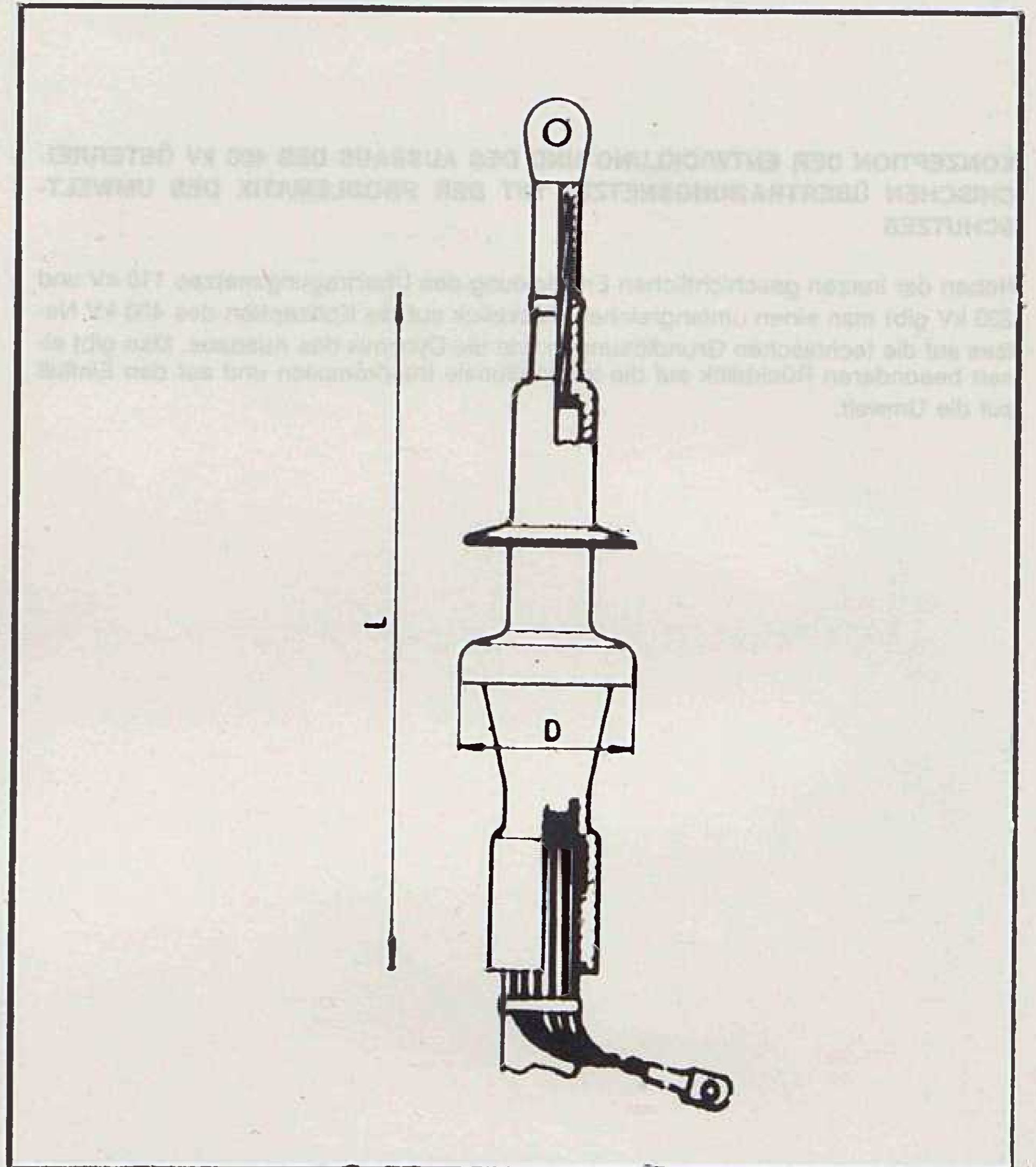
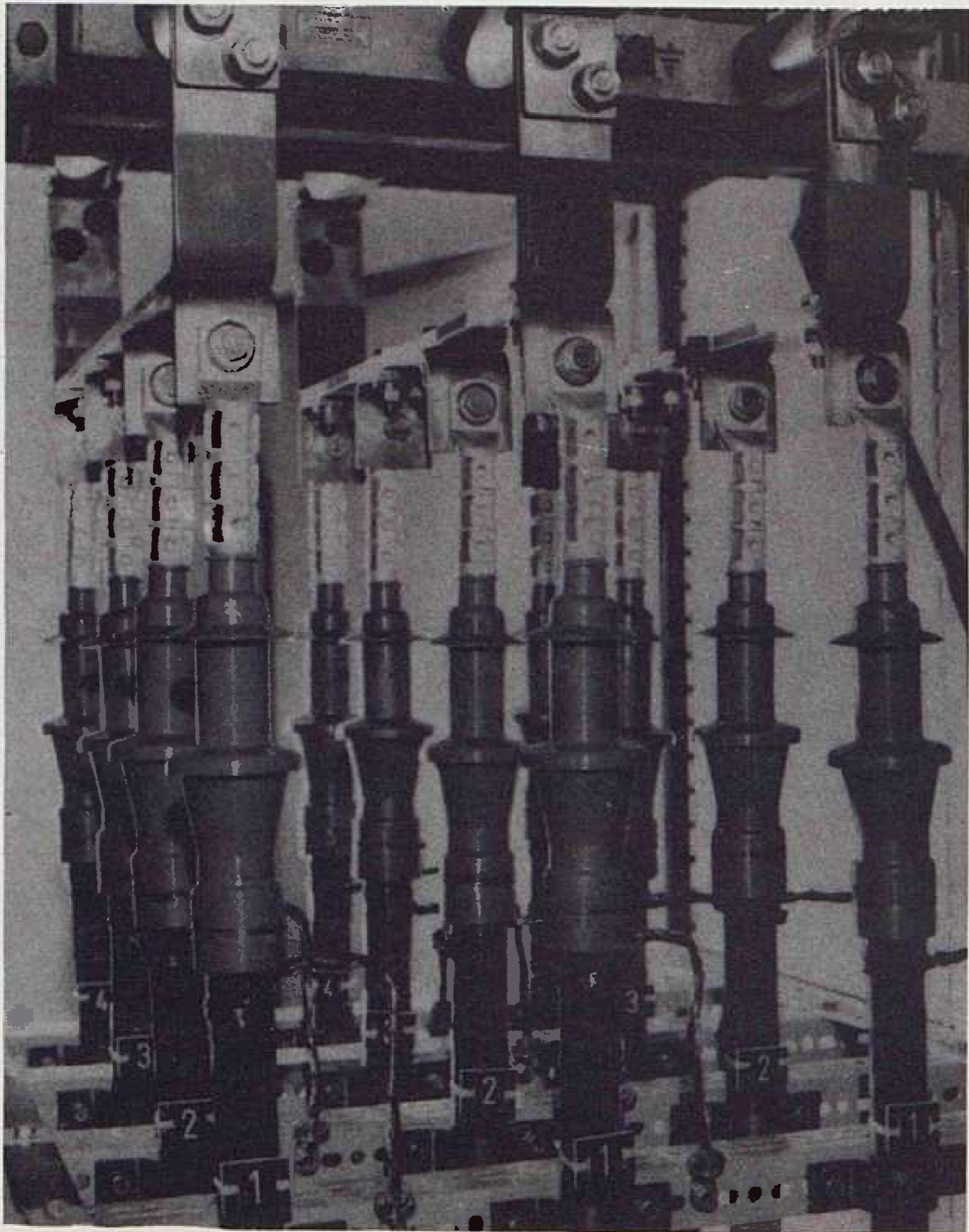
Uredništvo primilo rukopis:  
1990 – 03 – 01

PROJEKT PREKO IZOLACIJE (mm)	L (mm)	Ø (mm)	MAKSIMALNI PRESEK (mm <sup>2</sup> )	TIP	NAZIVNI NAPON kV
18-17.5	505	55	95-50	KGI 101	10
19-20.5		55	70-50	KGI 102	
20-24		55	100-100	KGI 103	
20.5-23.5		55	105-200	KGI 104	
20.5-22		55	300	KGI 105	
18-21.5	240	54.5	50-50	KGI 200	20
20-24.5		70.5	70-55	KGI 201	
20-28		70.5	120-120	KGI 202	
20-25.5		78	150-200	KGI 203	
21-23.5		75	300	KGI 204	
21.5-22	215	60	50-50	KGI 301	30
22-24		60	60-100	KGI 302	
22-23		60	200-200	KGI 303	



41000 ZAGREB, Medbarka 58 — Telefon: 041/56-322, Telex: 51381, Telefaks: 041/100-259  
 Institute for Energy Research and Development (IEE) • Zagreb • Institute for Energy Research and Development (IEE)

# KABELSKE GLAVE IZ SILIKONA ZA UNUTARNJU MONTAŽU U TEHNICI NAVLAČENJA KGI 10, KGI 20, KGI 35



POSTROJENJE 110/20 kV TS — VOLOVČICA  
opremljeno s TEP-ovim silikonskim glavama

## Namjena

Kabelske glave KGI 10, KGI 20 i KGI 35 koriste se za završavanje jednožilnih kabela s izolacijom od PE-a, UPE-a i EPDM-a za unutarnju montažu. Primjenjive su za kabele s bakrenim i aluminijskim vodičima, te za kabele s grafitnim i ekstrudiranim slabovodljivim slojem.

## Izvedba

Kabelska glava je izrađena iz silikona dobrih električnih i mehaničkih osobina te velike otpornosti na puzne struje. U izolator je ugrađen dio za oblikovanje polja, a polje se oblikuje geometrijskim načinom.

## Montaža

Montaža kabelske glave je brza i jednostavna, a vrši se prema tvorničkoj uputi.

## Podaci za narudžbu

Kabelske glave isporučuju se kao slog od tri silikonska izolatora s priborom za montažu. U narudžbi navesti tipnu oznaku kabelske glave ili tip kabela, materijal i presjek vodiča.

NAZIVNI NAPON kV	TIP	MAKSIMALNI PRESJEK (mm <sup>2</sup> )	D (mm)	L (mm)	PROMJER PREKO IZOLACIJE (mm)
10	KGI 10/1	35-50	55	205	16-17,5
	KGI 10/2	70-95	55		19-20,5
	KGI 10/3	120-150	62		22-24
	KGI 10/4	185-240	62		25,5-28,5
	KGI 10/5	300	62		29,5-32
20	KGI 20/0	20-50	64,5	240	19-21,5
	KGI 20/1	70-95	70,5		23-24,5
	KGI 20/2	129-150	70,5		26-28
	KGI 20/3	185-240	78		29-32,5
	KGI 20/4	300	78		34-36,5
35	KGI 35/1	50-95	83	318	27,5-32
	KGI 35/2	120-185	83		32-38
	KGI 35/3	240-300	89,5		38-42

## ISPITIVANJE I ATESTIRANJE

Sav kabelski pribor ispitan je i atestiran u Institutu za elektroprivredu u Zagrebu, prema propisima VDE i IEC.

**tvornice elektrotehničkih proizvoda · zagreb**

41090 ZAGREB, Medarska 69 — Telefon: 041/156-522, Telex: 21361, Telefax: 041/156-539

**TEP**



# ZAŠTITA MODULARNIH TRAFOSTANICA OD ATMOSFERSKIH PRENAPONA

Mr. Milan Puharić, Clamart Cedex

UDK 621.316.91

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Razmotrena je zaštita trafostanica priključenih na zračni vod preko podzemnog kabela. Izvršen je proračun rizika s obzirom na atmosferske prenapone.

**Ključne riječi:** modularna stanica, odvodnik prenapona, atmosferski prenapon.

## 1. UVOD

Postojanje dvaju bliskih naponskih nivoa 63 i 90 kV u francuskoj prijenosnoj mreži, te orijentacija na izgradnju modularnih trafostanica smanjenih dimenzija P. I. M. (Postes Interieurs Modulaires), kasnije i P. I. G. M. E. (Poste Industrialise Garczinski), potaknulo je ideju ujedinjenja nivoa izolacije [1]. Bile su razmatrane tri solucije:

- zadržava se nivo izolacije 90 kV te se u tom slučaju predimenzionira oprema na 63 kV naponu;
- izabire se nivo izolacije 63 kV, tražeći tehnička rješenja koja bi zadovoljila i 90 kV opremu;
- pokušava se naći hibridno rješenje, no u tom se slučaju ne poštuju principi normalizacije, što uzrokuje povećanje troškova.

Bila je izabrana varijanta b), a kao njezina posljedica proizlazi zahtjev za dobrom zaštitom, prije svega od atmosferskih prenapona. Takva odluka bila je bazirana na upotrebi kvalitetnih cink-oksidnih (ZnO) odvodnika prenapona, koji su osamdesetih godina počeli zamjenjivati klasične ventile (SiC) odvodnike prenapona.

Interpolacija modularne TS 90/20 kV P.I.G.M.E. u 90 kV prijenosnu mrežu uvjetovala je njezino šticeenje od prenapona. Budući da je smanjen nivo izolacije trafostanice koji na podnosivi udarni napon iznosi 325 kV (u odnosu na ranije usvojen 450 kV), potrebno je pravilnim izborom odvodnika prenapona i njihovim smještajem kvalitetno zaštititi postrojenje.

Limitirajući faktor koji je bio prisutan u izradi studije [2] jest činjenica da ovakav tip trafostanice, zbog svojih smanjenih dimenzija, ne omogućava instaliranje odvodnika prenapona u njenoj unutrašnjosti. Postavljen je problem da li jedan odvodnik prenapona instaliran na prijelazu zračnog voda u kabel, kao i sam kabel mogu zaštititi trafostanicu od atmosferskih prenapona. Problem je rješavan primjenom programa E.M.T.P. (Electro Magnetic Transients Program), a u članku će se pokušati, koliko je to mo-

guće, ujediniti postupak izbora prenaponske zaštite s opisom i mogućnostima programa E.M.T.P.

## 2. OSVRT NA PRENAPONSKU ZAŠTITU TRAFOSTANICA

Odvodnik prenapona združen s podzemnim kabelom koji povezuje zračni vod s trafostanicom u osnovi je dobra zaštita postrojenja od nailazećih prenapona. Standard IEC 72-2 koji tretira koordinaciju izolacije izražava da kabel smanjuje strminu upadnog vala, ali ne smanjuje njegovu amplitudu, osim onda kada ta duljina prelazi 1 do 2 kilometra. U slučaju vrlo bliskog udara groma odnosno neposredno na prijelazu nadzemnog voda u kabel efekat njegove duljine na visinu prenapona u trafostanici je zanemarujući. S razvojem raznih programa, a time i stalnim usavršavanjem modela pri proračunu, ove su se pretpostavke ponešto izmijenile. Udarci gromova u stupove ili u zaštitno uže dalekovoda izazivaju povratne preskoke na fazne vodiče. Prenaponi koji se formiraju na vodičima imaju velike strmine te predstavljaju opasnost za opremu u trafostanici. Realnu opasnost za postrojenje (kao što će to biti kasnije pokazano) izazivaju udarci groma u prva dva provjesa. Udaljavanjem od trafostanice pražnjenja u nadzemni vod te prenaponi koji se pojavljuju u stanici imaju amplitude koje su bitno niže od onih kod vrlo bliskih udara. Osim toga, u tim slučajevima prisutan je utjecaj duljine kabela na smanjenje amplitude prenapona u stanici. Time se unekoliko mijenja i pojam »bliskih udaraca groma« koji se odnosio na pogotke u zračni vod na udaljenosti od 1,5 km. Smatralo se da u tom području svaki udar predstavlja realnu opasnost po trafostanicu, što je uvjetovalo i računanje zone rizika koje odgovara dotičnoj duljini voda.

Osim povratnih preskoka, potrebno je i napraviti proračun prenapona koji se javljaju zbog tzv. greške zaštitnog užeta odnosno direktnih udaraca groma u fazne vodiče. Korištenjem elektrometrijskog mo-

dela [2] izlazi da vjerojatnost direktnog udara u faze vodiče postoji za struje reda deset kiloampera, što ne predstavlja opasnost za postrojenje (što i dobivamo simulacijama na modelu).

Inducirani prenaponi koji se pojavljuju pri udarcu gromova u blizini zračnih vodova u ovom se slučaju mogu zanemariti jer su njihove amplitude nedovoljne da slome izolaciju 90 kV voda.

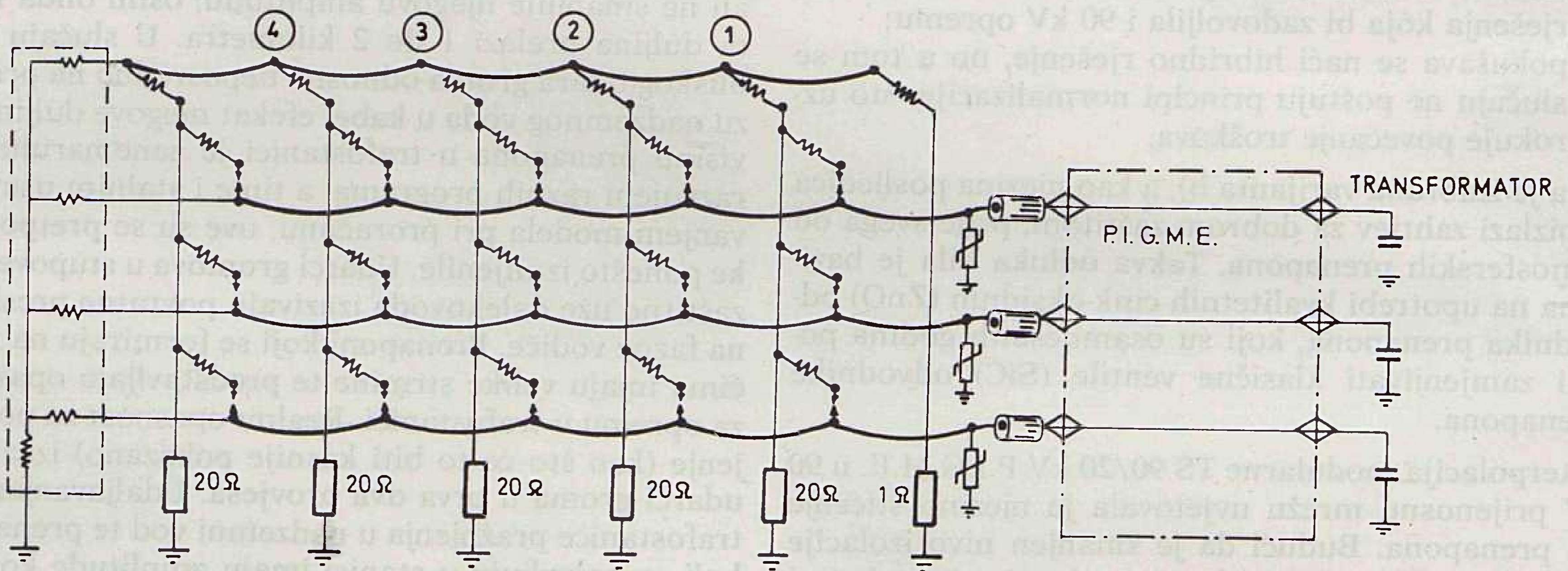
Metoda proračuna koja je prikazana u članku sastoji se u postavljanju modela električnog voda, kabela i trafostanice te simulacije udara groma u stupove. Nakon toga je potrebno napraviti proračun rizika kvara u trafostanici.

### 3. METODOLOGIJA PRORAČUNA NA RAČUNALU

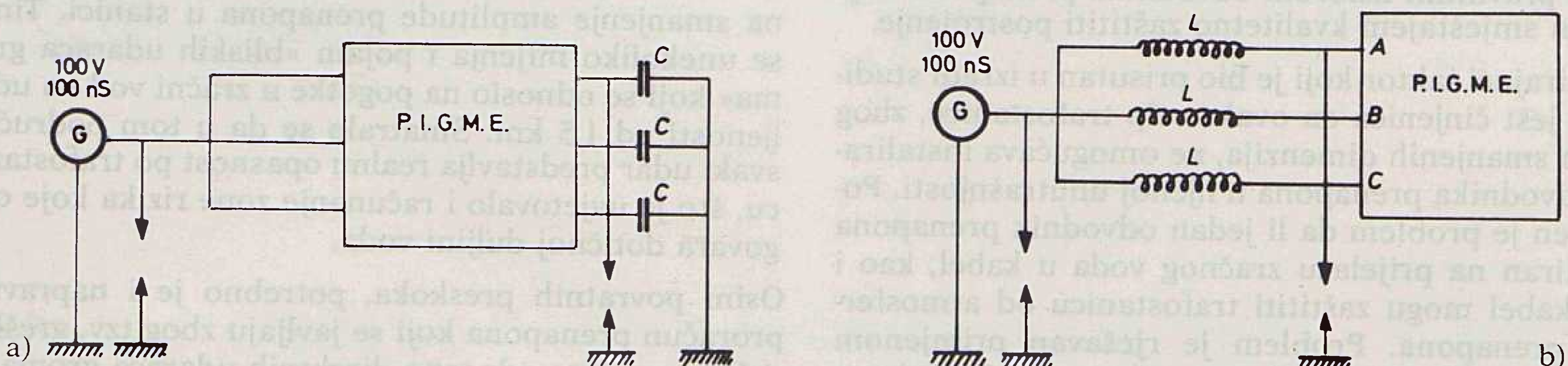
Program E.M.T.P. namijenjen je prije svega računanju prijelaznih procesa ekstremno kratkog trajanja. Proračuni koji su rađeni koristili su najnoviju verziju — E.M.T.P. Version 2.0. Zahvaljujući svojoj kompleksnosti i stalnom poboljšavanju, modeli koji predstavljaju pojedine elemente električne mreže dobro simuliraju stvarna fizikalna zbivanja. U ovom poglavlju pokušat će se što je moguće detaljnije opisati sam postupak modeliranja, kao i utjecaj točnosti modela na proračun.

#### 3.1. Globalni prikaz modela

Na slici 1. prikazana je shema električnog modela. Prilikom simulacije korišten je trifazni model koji u



Slika 1.



Slika 2.

slučaju 90 kV naponskog sistema ima prednosti pred monofaznim. Udarci gromova u stupove izazivaju povratne preskoke na sve tri faze za struje groma koje prelaze 40 kA, što djeluje na visinu napona na vrhu stupa, kao i na vodičima. Takvim izborom dobivena je veća točnost proračuna i bolji uvid u stvarna fizikalna zbivanja prilikom pogodaka gromova u zračni vod.

#### 3.2. Određivanje parametara trafostanice mjerenjem

Prema shemama na slici 2. određeni su kapaciteti (a), odnosno induktiviteti (b) pojedinih elemenata trafostanice (rastavljači, prekidači, sabirnice).

Pokusi su rađeni tako da se narine val strma čela ( $> 100$  ns) na trafostanicu uz priključene (umetnute) poznate vrijednosti induktiviteta odnosno kapaciteta. Uz tako dobiveni rezonantni krug određuje se frekvencija odziva, a nakon toga iz poznatog odnosa

$$f = \frac{a}{2\pi\sqrt{LC}}$$

računa se vrijednost kapaciteta odnosno induktiviteta za svaki pojedini element.

S obzirom na reducirane dimenzije trafostanice, dobivene su zanemarivo male vrijednosti induktiviteta. Zbog toga se stanica modelira s jednim kapacitetom čija vrijednost iznosi približno 1 nF. To predstavlja zbroj kapaciteta spojenih u paralelu uz pretpostavku da su svi rastavljači i prekidači uključeni (zatvoreni).

### 3.3. Model nadzemnog voda

Vod 90 kV napona predstavljen je sa 6 raspona i 7 stupova.

Svaki raspon je prikazan multifrekventnim modelom »J. MARTI« koji omogućava računanje matrica impedancija za spektar frekvencija. Takav izbor bio je uvjetovan postojanjem pogonskog napona frekvencije 50 Hz na koji se superponira napon zbog udara groma.

Nadomjesna mreža dana je pomoću matrice adaptacije, čime se postiže putovanje valova bez refleksije na drugom kraju voda.

Model ne uzima u obzir izobličenje i prigušenje putnog vala zbog korone. Takvo zanemarenje opravdava se simulacijom pretežno bliskih odnosno vrlo bliskih udara groma, gdje se zbog malih udaljenosti ovaj fenomen može zanemariti.

U prvoj fazi proračuna stupovi su bili nadomješteni koncentriranim induktivitetom, što iznosi za visinu stupa 19 m 7,6  $\mu$ H. Uzemljivač je modeliran s induktivitetom u paraleli s čistim otporom.

Ovakav prikaz stupa zamijenjen je modelom kratkog voda valne impedancije 150  $\Omega$  te brzine širenja vala 300 m/ $\mu$ s.

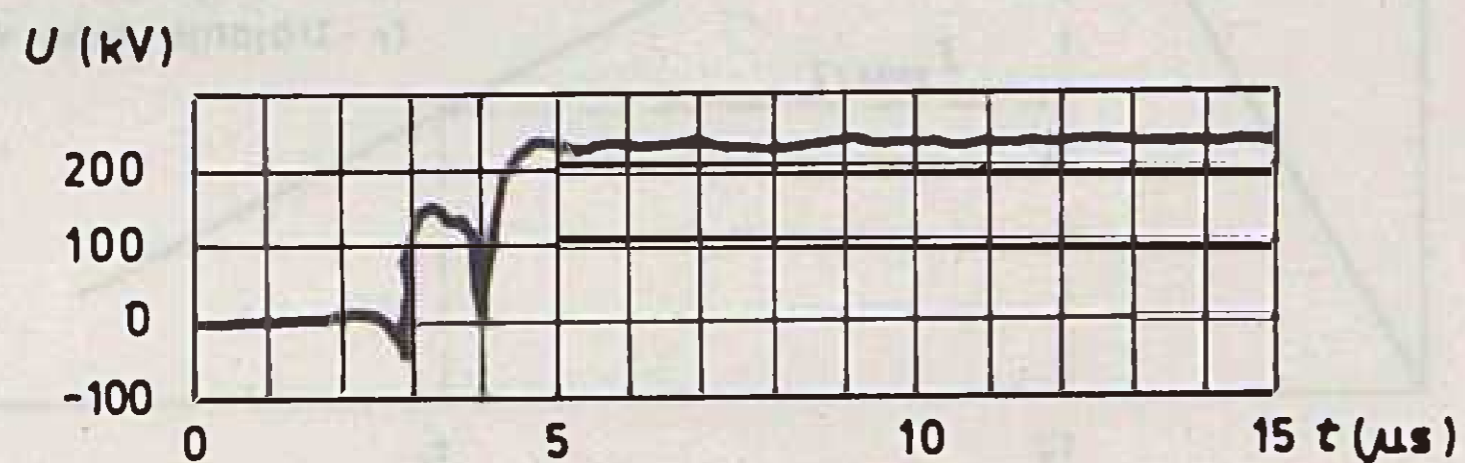
Taj pristup bolje odgovara stvarnim prilikama jer uzima u obzir širenje i refleksije vala na uzemljivaču.

### 3.4. Odvodnik prenapona

U modelu je korištena strujno-naponska karakteristika cink-oksidge (ZnO) odvodnika prenapona, proizvođača ASEA. Preostali napon odvodnika iznosi 240 kV uz nominalnu struju 10 kA, a odabran je uvažavajući maksimalno moguću amplitudu unutrašnjih prenapona koji se mogu pojaviti u mreži.

Odabiranje U-I karakteristike, kao i nazivnog napona (u našem slučaju 96 kV), veoma je značajno kod ZnO odvodnika, a vezano na spomenute unutrašnje prenapone. Stalan tok energije kroz odvodnik za razliku od klasičnih Si-C odvodnika predstavlja opasnost za cink-oksidge odvodnik prilikom prenapona dugog trajanja.

Oscilogrami napona na odvodniku pri simulaciji udara groma 80 kA trajanja čela 2  $\mu$ s u treći stup (dakle, dva raspona po 200 m), dan je na slici 3.

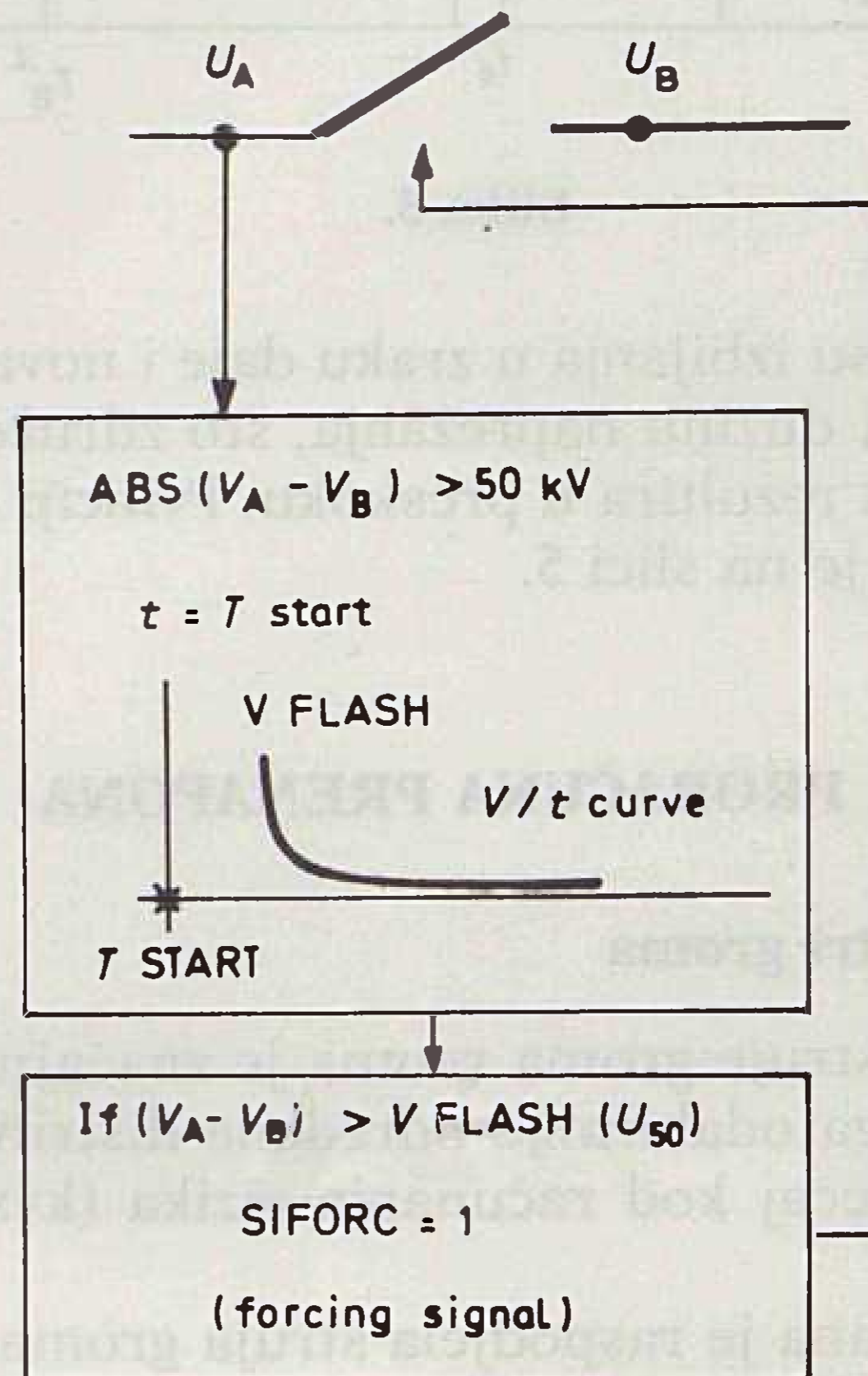


Slika 3.

Potrebno je istaknuti da su dovodi od vodiča zračnog voda na prijelazu u kabel do odvodnika prenapona predstavljeni koncentriranim induktivitetima veličine 1  $\mu$ H/m. Pad napona na njima zna biti vrlo značajan, posebno pri prijelazu valova vrlo strma čela čiji se napon superponira na preostali napon na odvodniku.

### 3.5. TACS model iskrišta

— Korištenje potprograma TACS (Transient Analysis of Control System) koji na neki način predstavlja analogno računalo omogućava da zajedno s programom EMTP formiranje hibridne EMPT-TACS konfiguracije. Načinjen je program čija je shema djelovanja prikazana na slici 4.



Slika 4.

Sistem rada je takav da se napon između dva čvora (A i B) uspoređuje s naponsko-vremenskom karakteristikom zračnog raspora (iskrišta). Kada je napon  $V_{AB}$  veći od napona na krivulji U-t, daje se signal (SIFORC) za zatvaranje prekidača, čime je uspostavljen prijelaz naboja između dva čvora.

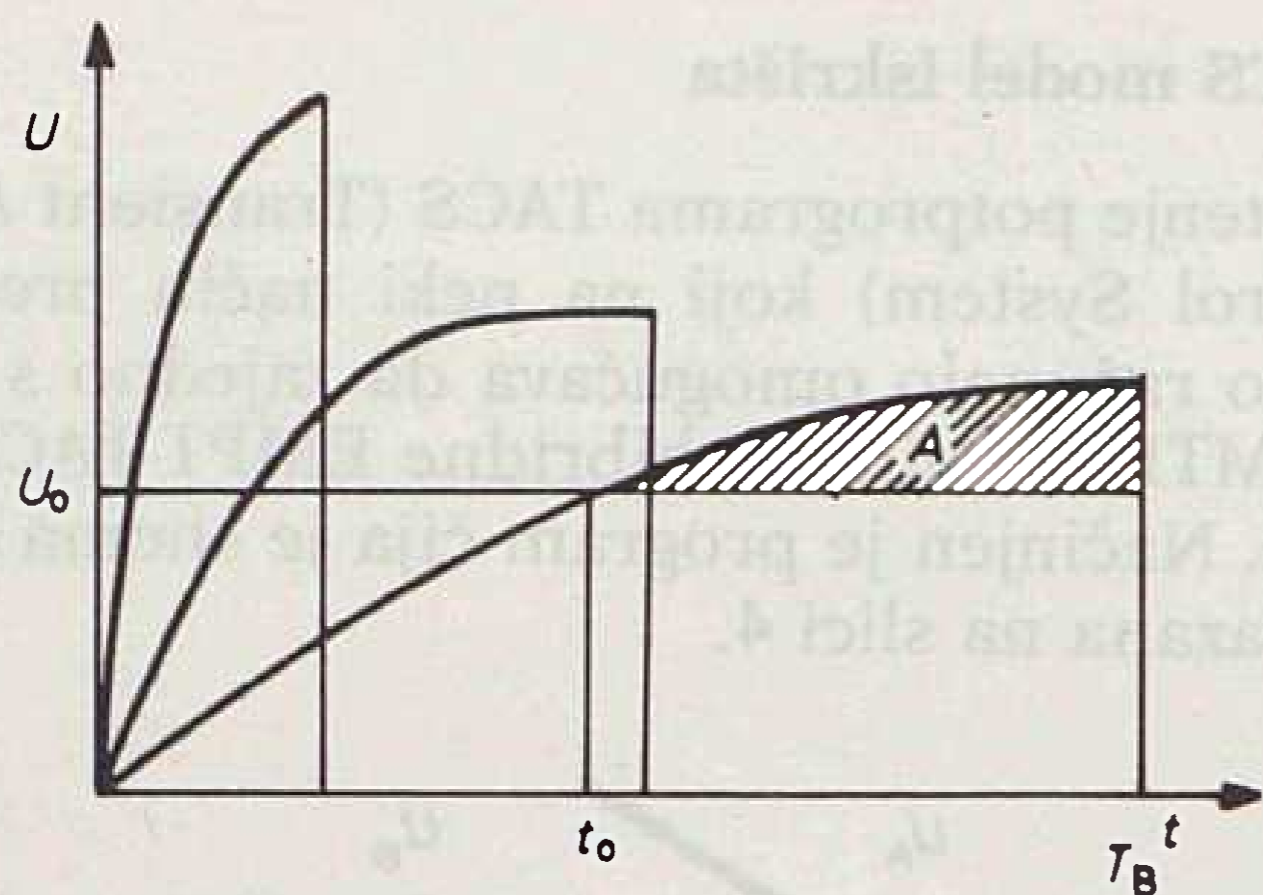
Ovaj model ne daje dobre rezultate kada su narinuti valovi nestandardnog oblika. Drugi problem je vezan na generiranje valova vrlo strma čela (prilikom uklaapanja — SIFOC) kada je korak proračuna ( $\Delta t$ ) manji od 30 ns. Amplitude koje su dobijene također su visoke zbog oscilacija koje se produciraju.

Spomenuti problemi riješeni su metodom naziva »Zakon zraka« koja pretpostavlja postojanje napona  $U_0$  ispod kojeg forma vala nema nikakvog utjecaja. Trenutak proboja je definiran sa:

$$\int_{t_0}^t (U(t) - U_0)^n dt = A \quad (1)$$

gdje  $U(t)$  predstavlja napon narinut u toku vremena  $t$  na krajeve iskrišta. Parametri  $U_0$ ,  $n$  i  $A$  određuju se eksperimentalno rješavanjem nelinearnog sistema triju jednačica sa tri nepoznanice, poznavajući  $U-t$  karakteristiku (barem tri točke na njoj).

Fizikalno značenje jednačice (1) objašnjava se ponašanjem zraka kao izolatora pri naponskom napreznju. Uz parametre kao što su oblik elektroda i klimatske prilike, presudan utjecaj ima oblik vala. Prethodnom formulom pretpostavlja se da proboj ne može nastupiti sve dok napon ne nadmaši vrijednost  $U_0$ , a dogodit će se kada izraz pod integralom bude veći od eksperimentalno određenog parametra  $A$ . Ti-



Slika 5.

me se procesu izbivanja u zraku daje i nova dimenzija vezana na dužinu napreznja, što združeno s visinom napona rezultira u preskoku. Princip ove metode prikazan je na slici 5.

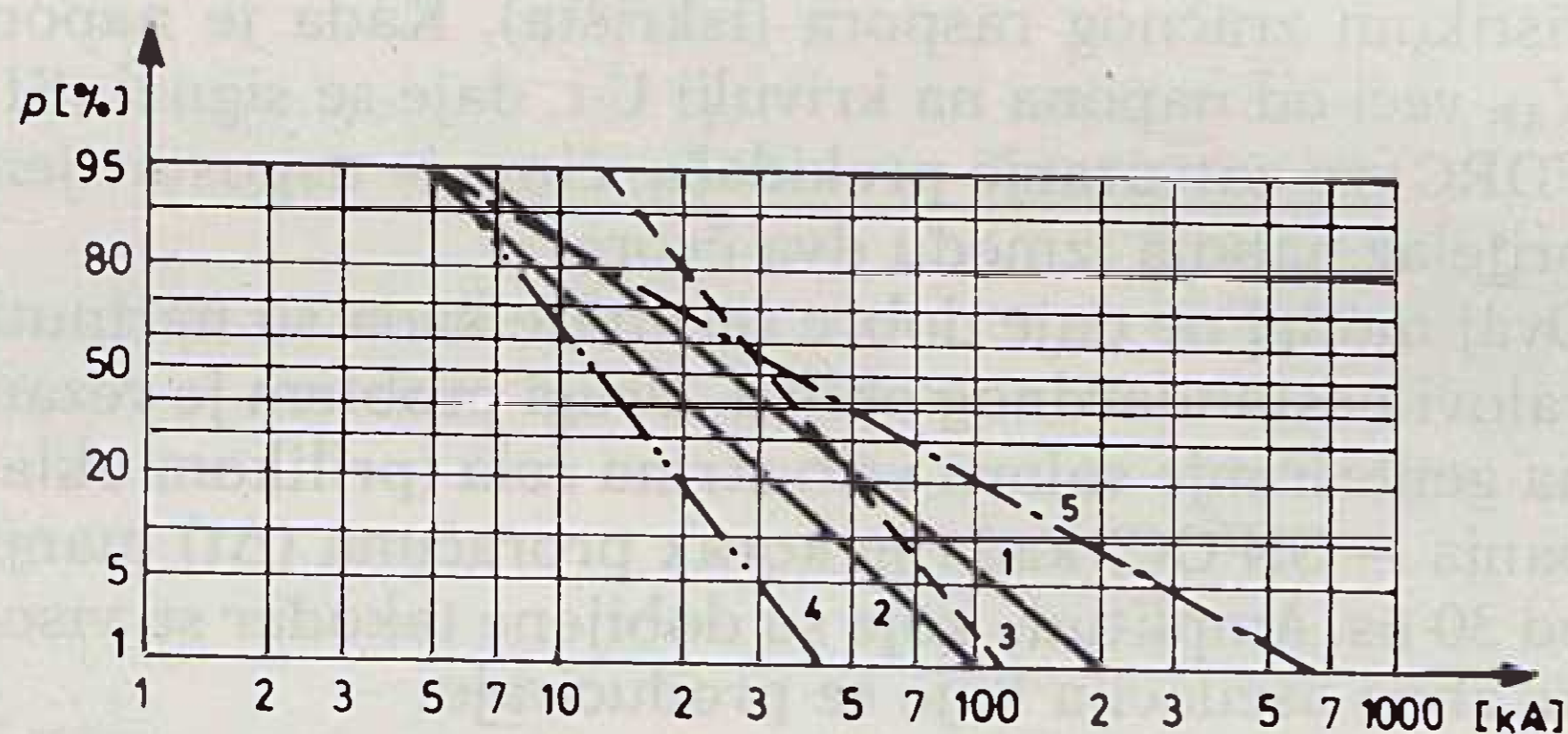
#### 4. ANALIZA PRORAČUNA PRENAPONA

##### 4.1. Parametri groma

Raspodjela struje groma veoma je značajna pri proračunu. Stoga odabiranje određene distribucije ima direktan utjecaj kod računanja rizika (kvara) opreme.

Na slici 6. dana je raspodjela struja groma [3] za:

- globalnu distribuciju;
- prva pražnjenja negativnih gromova;
- sekundarna pražnjenja negativnih gromova;
- gromove pozitivna polariteta.



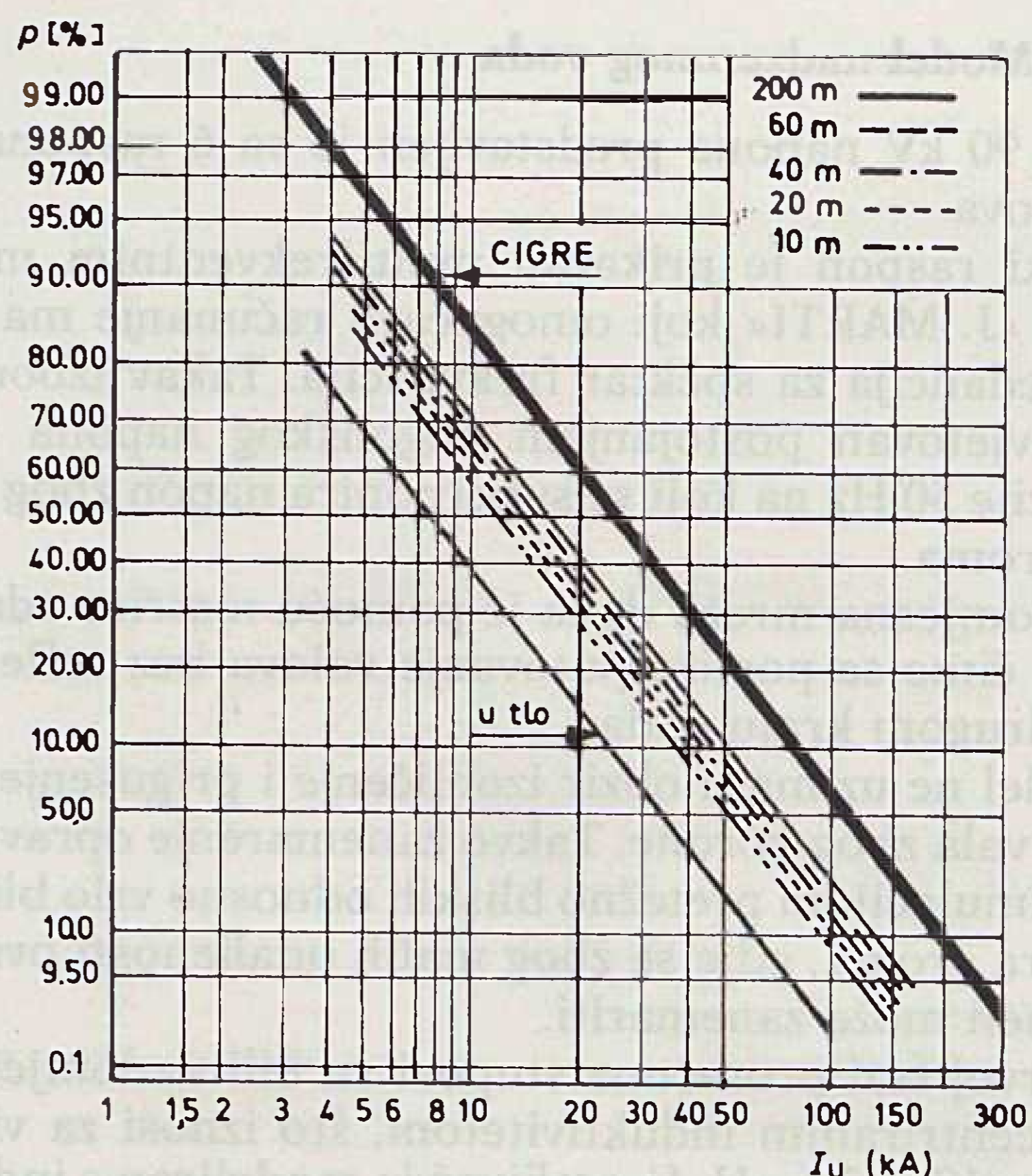
Slika 6.

Potrebno je istaknuti da su te distribucije dobijene hvatanjem gromova na velikim visinama i da vjerojatno ne predstavljaju razdiobu udara groma u tlo. Pomoću elektrometrijskog modela dobijeni su pravci koji daju jakost struja groma u ovisnosti o visini objekta (sl. 7).

Da bi se analitički izrazila distribucija, predložen je pojednostavljen izraz [3] koji daje vjerojatnost da struja groma nadmaši intenzitet  $I$ .

$$\log p = 2 - \frac{I}{60} \quad (2)$$

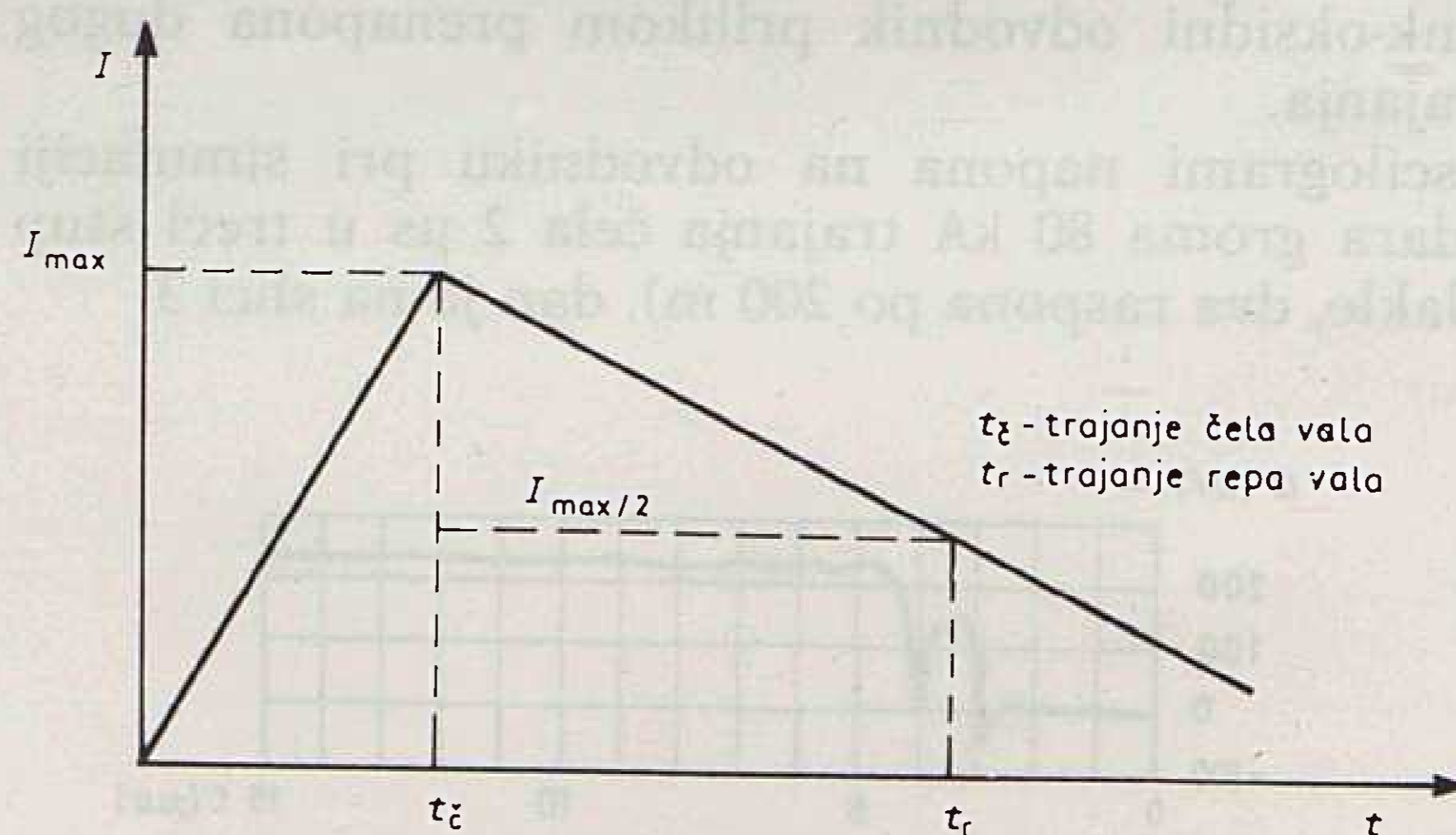
Izraz (2) daje vrijednosti koje se razlikuju od distribucije predložene sa strane IEEE [7], kao i mnogih drugih. Međutim, usvojen je s obzirom na uvažavanje spomenutog elektrometrijskog modela.



Slika 7.

##### 4.2. Rezultati simulacija na modelu

Simulacije koje su rađene razlikuju se u pristupu od dosada izvođenih kada je u pitanju bila zaštita trafostanice odnosno transformatora visokih ili vrlo visokih napona (220 ili 380 kV). Naime, koristio se strujni izvor čija forma je u obliku dva pravca i jedinstvene amplitude 100 kA trajanja čela 2  $\mu$ s. Kao što je već rečeno, vodovi 90 kV napona, zahvaljujući svojoj manjoj izolacionoj čvrstoći (u usporedbi s visokim i vrlo visokim naponima), podložni su povratnim preskocima i za mnogo manje amplitude do 100 kA. To je važno pri računanju rizika pojave opsanih prenapona u stanici jer je vjerojatnost struja groma za niže vrijednosti osjetno veća. Oblik struje groma dan je na slici 8.



Slika 8.

U tablici 1. dane su visine prenapona u stanici prilikom udara groma u drugoj, treći i četvrti stup, odnosno do tri raspona počevši od trafostanice, u ovisnosti o struji groma. Dana je maksimalna vrijednost prenapona za jednu od tri faze. Duljina kabela koji povezuje trafostanicu s zračnim vodom jest 100 m.

Iz tablice 1. vidljivo je da prenaponi koji ugrožavaju opremu dolaze prilikom udaraca groma u prva dva raspona. Udarci u treći raspon rezultiraju prenaponima koji su niži od izolacione čvrstoće opreme na udarni napon, koja uz uvažavanja rezerve od 15 % (ovisno o raznim faktorima) iznosi 282 kV. Isto tako struje groma niže od 40 kA, budući da ne dolazi do povratnog preskoka, ne ugrožavaju trafostanicu. Praktički, svaki udarac koji izaziva povratni preskok ( $\geq 40$  kA) a dogodi se u predjelu prvih dvaju raspona uzrokuje opasne prenapona u stanici.

Tablica 1.

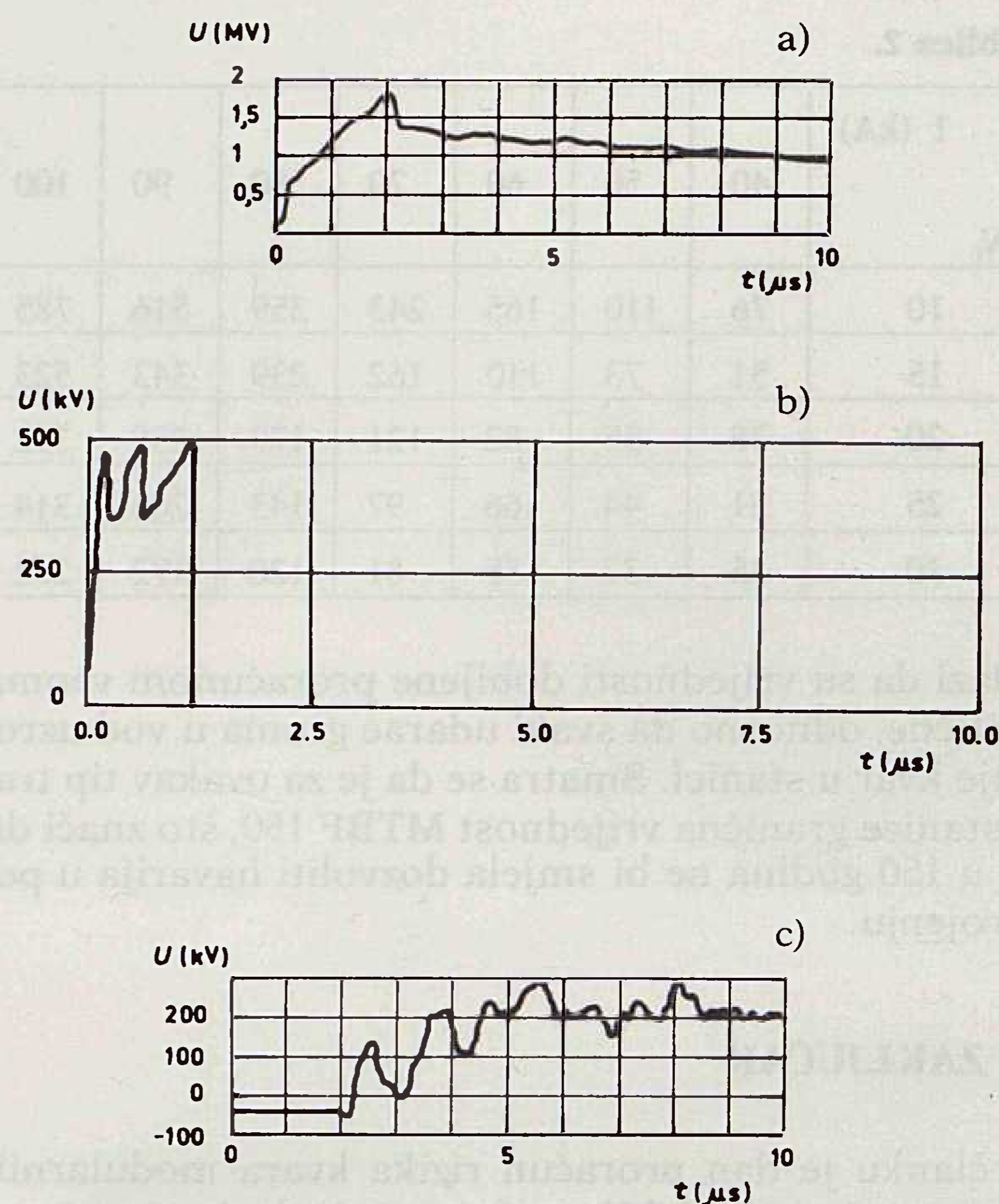
$I_{\max}$ kA	$U_{\max}$ (kV) 1 raspon (200 m)	$U_{\max}$ (kV) 2 raspon (400 m)	$U_{\max}$ (kV) 3 raspon (600 m)
100	460	326	250
90	444	306	238
80	468	320	188
70	447	322	—
60	396	278	—
50	397	283	—
40	343	283	—
30			
20			
10			

Povećavajući duljinu kabela od 100 m do 2 km, izlazi da za udarce u prvi raspon kabel praktički ne pridonosi smanjenju prenapona. Za udare u drugi raspon prigušni utjecaj kabela prisutan je kod dužina 400–500 m naviše, ali ne u smislu da pridonosi bitno smanjenju prenapona. Dužina kabela reducira amplitude valova koje dolaze prilikom dalekih udaraca groma. Međutim, u tom slučaju prenaponi su i inače niži od dozvoljenih zbog mnogostrukih odvođenja u zemlju prilikom proboja na iskrištima.

Također su izvršene simulacije udaraca groma u zaštitno užu, čime su potvrđene poznate pretpostavke da su tako dobijeni prenaponi nešto manji od onih kod direktnih pogodaka u stup.

Oscilogrami napona na sl. 9. dani su redom za fazu na mjestu povratnog preskoka, napon između krajeva iskrišta na sljedećem stupu te prenapon u trafostanici.

Postojanje pogonskog napona 50 Hz na vodičima prije pražnjenja unekoliko povećava visinu prenapona u stanici. Napon suprotnog polariteta bio je narinut ciklički na svaku od faza, dok su ostale dvije bile pomaknute za  $120^\circ\text{C}$ . Simulacijama su često (ne uvijek) bili dobiveni veći naponi na onim fazama koje su imale industrijski napon istog pozitivnog predznaka. Generalno se moglo zaključiti da postoji povećanje prenapona u stanici, a da su maksimumi napona ovisni o mjestu udara, koraku proračuna ( $\Delta t$ ), pro-radnom naponu iskrišta itd.



Slika 9.

## 5. PRORAČUN RIZIKA KVARA U TRAFOSTANICI

Proračun rizika sastoji se u proračunu broja udaraca groma u zračni vod, a za koje će prenaponi koji ulaze u trafostanicu nadmašiti maksimalno podnosivi udarni napon opreme. Pri računanju, kao što je napomenuto u (4.2), polazilo se od vjerojatnosti da struja groma odgovarajuće vjerojatnosti za pogodak u nadzemni vod na određenoj udaljenosti od trafostanice ugrozi izolacionu čvrstoću prekidača, rastavljača itd.

Pretpostavljajući da je životni vijek trafostanice 30 godina, možemo izvršiti pojednostavljeni proračun broja opsanih udaraca groma  $N_g$  kojem će ona biti izložena u toku svoje eksploatacije.

$$N_g = D \cdot N_L \cdot p \quad (3)$$

$D$  — životni vijek trafostanice;

$p$  — vjerojatnost struje groma;

$N_L$  — broj udaraca groma u vod/godišnje — prema [4]

$$N_L = \frac{N_i}{4} \cdot H^{0,53} \cdot \frac{L}{100} \quad (4)$$

$N_i$  — keraunički nivo regije;

$L$  — duljina segmenta voda;

$H$  — visina stupova.

Iz izraza za  $N_g$  (3) možemo izračunati srednje vrijeme do kvara ( $MTBF = \frac{1}{N_g}$ ), uzimajući udaljenost od trafostanice 400 m kao zonu u kojoj svaki udarac groma koji nadmašuje 40 kA izaziva kvar u stanici. U tablici 2. dane su vrijednosti MTBF u ovisnosti o kerauničkom nivou i visini struje groma.

Tablica 2.

I (kA)	40	50	60	70	80	90	100
$N_i$							
10	76	110	165	243	359	516	785
15	51	73	110	162	239	343	523
20	38	55	82	121	179	258	392
25	31	44	66	97	143	206	314
30	25	37	55	81	120	172	262

Izlazi da su vrijednosti dobijene proračunom veoma kritične, odnosno da svaki udarac groma u vod uzrokuje kvar u stanici. Smatra se da je za ovakav tip trafostanice granična vrijednost MTBF 150, što znači da se u 150 godina ne bi smjela dozvoliti havarija u postrojenju.

## 6. ZAKLJUČAK

U članku je dan proračun rizika kvara modularnih trafostanica 90/20 kV, smanjenog izolacionog nivoa. Simulacije vršene na modelu pokazale su da je vjerojatnost havarije trafostanice veoma visoka. Štićenje opreme jednim odvodnikom prenapona na prijelazu zračnog voda u kabel, kao i samim kabelom pokazalo se nedovoljnim, što uvjetuje ugradnju još jednog odvodnika prenapona pred trafostanicu ili u samoj trafostanici. Ovakvo rješenje predstavlja veliki problem, kao što je u članku istaknuto, s obzirom na smanjene dimenzije stanice. Odgovor je djelomično nađen u dogovoru s proizvođačima odvodnika prenapona koji će pokušati konstruirati odvodnik smanjenih gabarita.

Naknadne simulacije pokazale su znatno smanjeni rizik od opasnih prenapona za slučaj ugradnje dvaju odvodnika prenapona.

Velik broj simulacija uz mijenjanje raznih parametara pokazuje da su za trafostanicu opasni samo oni udarci groma u vod koji se završavaju na prva dva raspona, što uvjetuje i računanje faktora rizika za dotičnu zonu. Daleki udarci groma nisu realna opasnost za opremu, a duljina kabela koji povezuje zračni vod sa stanicom ima određenu ulogu s obzirom na poznati efekt smanjene valne impedancije kabela. S druge strane, duljina kabela gotovo uopće ne pridonosi smanjenju prenapona prilikom vrlo bliskih udara groma. Proizlazi da je polaganje kabela većih duljina radi prirodne zaštite trafostanice od prenapona ekonomski neprihvatljivo a tehnički pogrešno. Veća briga oko uzemljivača radi smanjenja pada napona na njima kao i smanjenje duljine dovoda odvodnika prenapona predstavljaju već poznate, ali i značajne zahvate koji mogu pridonijeti boljem štićenju trafostanica.

## LITERATURA

- [1] M. TUDREJ: »Propositions de niveaux d'isolement pour les postes interieurs modulaires« (P.I.M.)
- [2] E. R. WHITEHEAD, M. DARVENIZA, F. POPOLANSKY: »Lighting Protection of U.H.V. Transmission Lines«, CIGRÉ 1973, n° 33–73
- [3] C. GARY: »Les propriétés diélectriques de l'air et des très hantes tensions«
- [4] M. RIOUAL: »Surtensions dues a la foudre sur un poste-source PIM«
- [5] A. J. ERIKSSON, K. H. WECK: »Procédures simplifiées pour déterminer les surtensions atmosphériques a un poste«, CIGRÉ 1988, 28. Août – 3 Septembre
- [6] Coordination de l'isolement, IEC 1976, Pub. 71–2
- [7] R. B. ANDERSON et A. J. ERIKSSON, ELECTRA, 1980, N25869: »Les parametres de la foudre en vue des applications industrielles«
- [8] M. RIOUAL: »Short and long air gaps (Insulator strings and spark gaps) modelling for lightning studies with the EMTP program«, studija izrađena u EDF-u
- [9] C. MORIN, M. PUHARIĆ: »Protection du poste P.I.G.M.E. contre la foudre«, studija izrađena u EDF-u

### PROTECTION OF MODULAR TRANSFORMER STATIONS FROM ATMOSPHERIC OVERVOLTAGES

In the article is described a protection of transformer stations connected to overhead lines by use of underground cables. It is presented a risk calculation in relation to atmospheric overvoltages.

### SCHUTZ DER MODULATIONSTRAFOSTATIONEN VOR ATMOSPHÄRISCHEN ÜBERSPANNUNGEN

Man spricht über den Schutz der Trafostationen die an Luftleitungen durch unterirdische Kabel angeschlossen sind. Es wurde eine Risikoberechnung bezüglich der atmosphärischen Überspannungen durchgeführt.

### ОХРАНА МОДУЛИРОВАННЫХ ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ ОТ АТМОСФЕРНЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Рассмотрена охрана трансформаторных подстанций, присоединенных к надземным ЛЭП. Выполнен расчет риска, учитывая атмосферные перенапряжения.

Naslov pisca:

Mr. Milan Puharić, dipl. inž.  
 Direction des Études et  
 Recherches  
 92141 Clamart Cedex, 1, avenue  
 du Général de Gaulle, France  
 Uredništvo primilo rukopis  
 1990-01-11

# VAKUUMSKI PREKIDAČ

Prof. dr. Rusmir Mahmutćehajić, Osijek

UDK 621.316.52

PREGLEDNI RAD

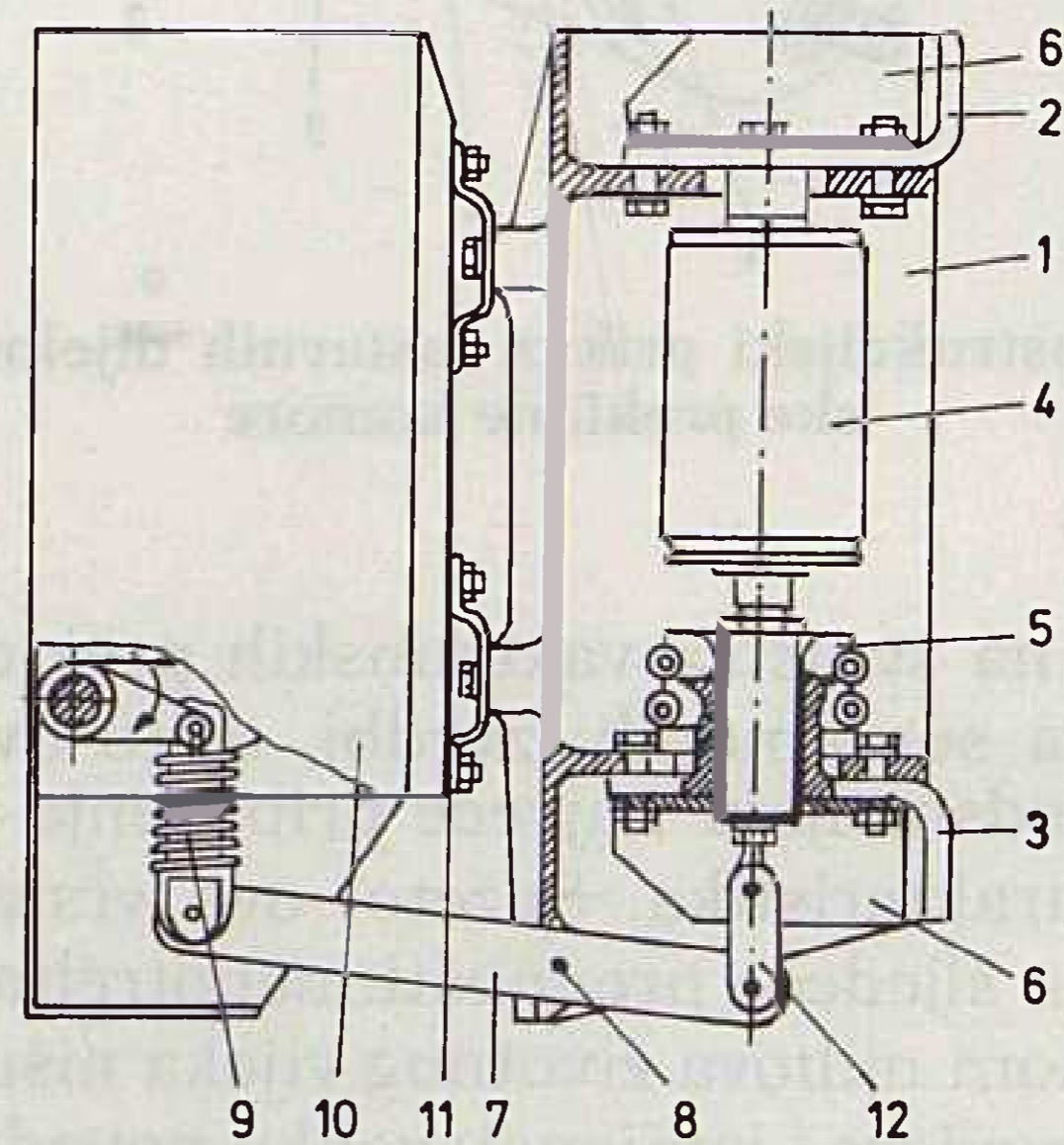
Prikazuju se najznačajnije fizikalne pojave u vakuumskom luku. Objašnjeno je nastajanje difuznog luka, katodnih mrlja i prelaženje difuznog luka u koncentrirani. Nadalje, raspravljana su pitanja u vezi s prekidom moći vakuumskog prekidača i pojavom strujne nule u vakuumu. Dan je i prikaz osnovnih izvedbi vakuumskih prekidača i uzajamnosti između lučnih pojava i konstrukcije kontakata. Ukazano je na osnovna pitanja u vezi s izborom najprikladnijih slitina od kojih se grade kontakti vakuumskih prekidača, kao i na specifičnosti djelovanja vakuumskog prekidača u različitim uvjetima mreže.

**Ključne riječi:** vakuumski prekidač, difuzni luk, koncentrirani luk, konstrukcija prekidnih komora.

## 1. UVOD

U principu, prekidna komora vakuumskog prekidača sastoji se samo od pokretnog i nepokretnog kontakta smještenih u vakuumirani sud. Kada se ti kontakti razdvoje, električni luk biva podražavan ionirizacijom metalnog para izdvojenom s površine kontakata, za razliku od ostalih tehnika prekidanja kod kojih ionizacija plina predstavlja osnovni proces u vezi s električnim lukom. Pri prvoj prirodnoj nuli struje, ionizacija u vakuumskoj prekidnoj komori prestaje i metalna para se vrlo brzo kondenzira; na taj način osigurano je prekidanje struje praktički neovisno o veličini porasta ograničavajućeg napona. Fizikalni procesi koji prate prekidanje struje pomoću vakuumskih prekidača vrlo su loženi. S njihovim istraživanjem, što je predstavljalo osnovu razvoja vakuumske sklopne tehnike, uočavane su i rješavane brojne zadatke s obzirom na prenapone koji se javljaju kao posljedica rezanja struje, taljenja i zavarivanja kontakata pri vrlo velikim strujama, sprečavanja onečišćenja vakuuma od plinova koji se razvijaju iz kontaktnih površina tijekom lučnog procesa, zaštite izolacije od negativnih kondenziranja metalne pare na njenoj površini, itd. Rješenje tih zadataka zahtijevalo je dugogodišnja istraživanja kako bi se odredila najpovoljnija geometrija kontaktnih površina i tako osigurala rotacija korijena luka na velikoj površini i na taj način onemogućilo veće taljenje metala, pronašle prikladne procesne tehnike za oslobađanje površina kontakata i postigla odgovarajuća čistoća komponenata u komori i, uz sve to, pronašli najbolji materijali za kontakte sa što je moguće oskudnijim sadržajem plina, otpornim na zavarivanje i s malim sposobnostima rezanja struje. Istraživanje i rješavanje ovih zadataka doveli su do današnje proširenosti proizvodnje i primjene vakuumskih prekidača za različite uvjete djelovanja. Povijesni slijed ovih istraživanja i primjena izložen je u brojnim radovima, npr. radovima Selzera [1], Štahana i Naumovskog [2] te Flurscheima [3].

Naše bavljenje vakuumskim prekidačima obuhvatit će ponajprije uvod u teoriju električnog luka u vakuumu i osnovna svojstva konstrukcija elemenata i njihovog djelovanja u okviru cjeline. U skladu s tim na sl. 1. i 2. prikazani su vakuumski prekidač i vakuumska prekidna komora, kako bi se prije pristupa postupnom detaljnijem izlaganju o vakuumskoj sklopnoj tehnici ustvrdili nazivi osnovnih elemenata vakuumskog prekidača i vakuumske prekidne komore.



Slika 1. Shematski prikaz vakuumskog prekidača

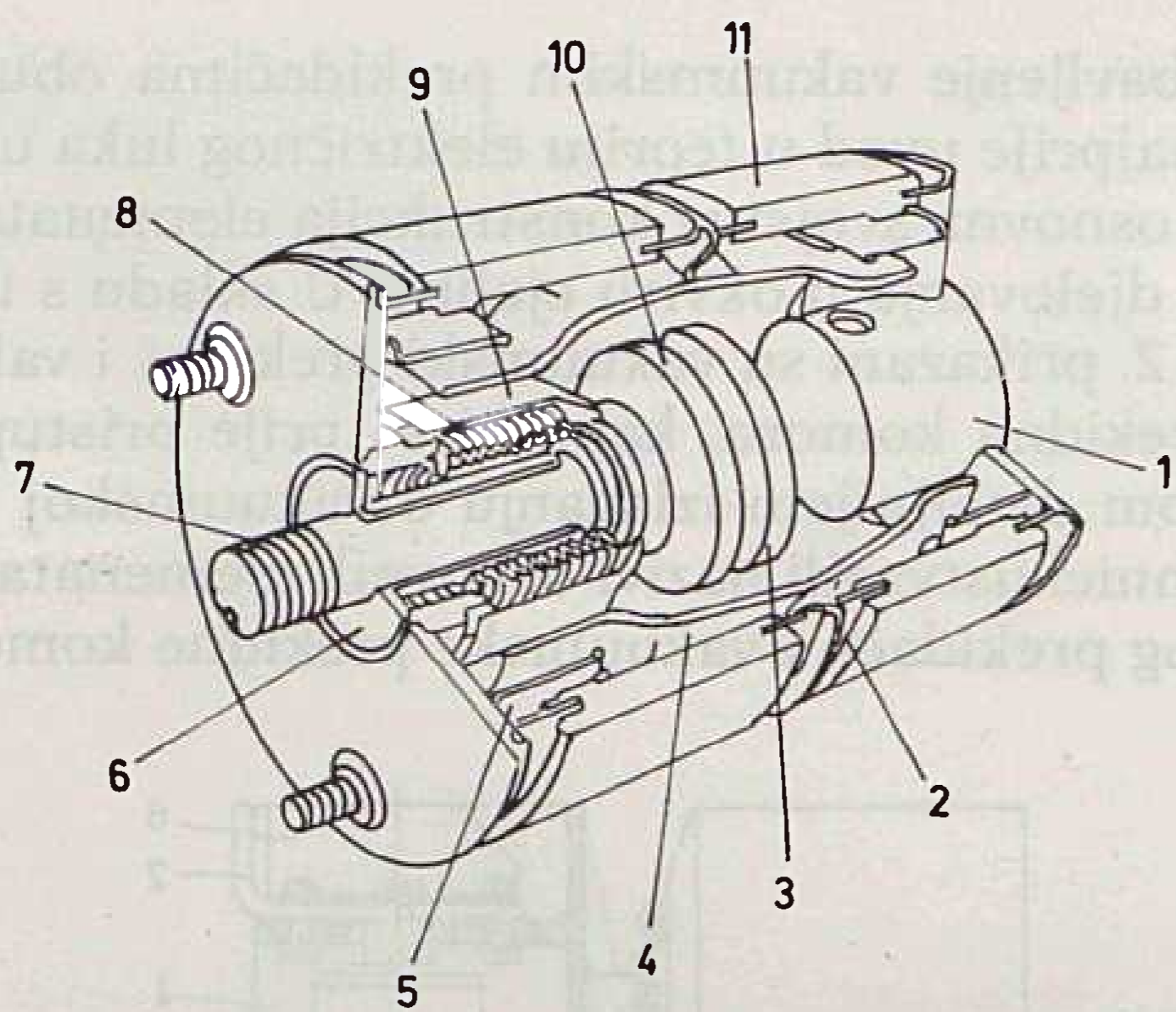
Na stražnju stranu pogonskog mehanizma (10) pomoću kutnika (11) pričvršćena su tri izolacijska tijela. Na njihovu gornju poprečnu plohu pričvršćen je gornji priključak (2) koji ujedno služi i kao nosač prekidne komore (4) na strani nepomičnog kontakta te hladilo (6). Na donju poprečnu plohu izolacijskog tijela (1) pričvršćen je donji priključak (3) koji ujedno služi i kao nosač »spiralnog laticastog kontakta«, u našoj literaturi nazivanog i »tulipanskim kontaktom« (5).

Struja teče preko gornjeg priključka (2) u prekidnu komoru (4), na produžetak pomičnog kontakta, spiralni laticasti kontakt (5) i donji priključak (3). Pri za-

kretanju izlazne osovine mehanizma u smjeru strelice posredstvom kontaktnog pera (9) izolacijske motke (7) — koja je uzglobljena u izolacijskom tijelu (1) u zglobu (8) — i spojnice (12) prenosi se gibanje na pomični kontakt prekidne komore (4). Okosnicu izolacijskog sustava prekidača čini izolacijsko kućište (1); dodatni element je izolacijska motka (7).

Izabrani shematski prikaz odnosi se na vakuumski prekidač domaće proizvodnje »Rade Končar« — V 12–25–12 (Markulin i Milošević [4]).

Na sl. 2. dan je prikaz konstrukcijskih pojedinosti 11 kV prekidne komore (A. Reyrolle & Co. Ltd.), pri čemu primijenjeni brojevi označavaju: (1) tijelo nepomičnog kontakta, (2) potpornik metalnog zaslona za kondenziranje metalnih para, (3) nepomični kontakt, (4) metalni zaslon za kondenziranje metalnih para, (5) suženi dio metalnog zaslona za kondenziranje metalnih para, (6) vodica pokretnog kontakta, (7) tijelo pokretnog kontakta, (8) mijeh, (9) metalni zaslon mijeha, (10) pokretni kontakt, (11) keramičko ili stakleno tijelo.



Slika 2. Konstrukcijski prikaz sastavnih dijelova vakuumske prekidne komore

S obzirom na svojstva vakuumskih prekidača strujnih krugova suvremenih izvedbi, očito ove sklopne naprave predstavljaju najveće približenje postizanju idealnih karakteristika. Sažeto, ova vrsta sklopnih aparata ima sljedeće prednosti: nepotrebnost održavanja (tijekom njihova životnog vijeka nisu potrebne zamjene, provjere i izmjene); veliku pouzdanost (djeluju kada je god potrebno njihovo djelovanje); dug životni vijek (vrijeme djelovanja vakuumskih prekidnih komora u većini primjena dulje je od životnog vijeka ostale opreme prekidača); malu veličinu (izvedbe vakuumskih prekidnih komora su moguće s veličinama dvostruko i više od dvostruko manjim od konvencionalnih); nenarušavanje okoliša (vakuumske prekidne komore djeluju s malom bukom i neznatnim seizmičkim potresom, što — zajedno s nepostojanjem zadaha ulja i produkata gorenja električnog luka — omogućuje njihovo korištenje i u naseljenim područjima); sigurnost (ne postoji nikakva vjerojatnost eksplozije); vrlo brzo prekidanje (vrlo brzo uspostavljanje dielektričke čvrstoće vakuuma osigurava prekidanje u prvoj strujnoj nuli poslije razdvajanja kontakata) i kratko vrijeme trajanja luka

(zbog toga se razaranje kontakata i gubitak materijala svodi na najmanju mjeru).

Rješenja navedenih zadata i postizanje netom spomenutih osobina vakuumskih prekidnih komora bilo je uvjetovano i praćeno unapređenjem znanja o električnom luku u vakuumu i njegovoj uzajamnosti s vrstama primijenjenih materijala od kojih su izgrađeni kontakti i geometrijskim oblicima kontakata, u prvom redu, te produbljenjem uvida u brojne prateće pojave. Opsežna literatura nudi obilje podataka o različitim pojedinostima razvoja ovog područja; ovdje navodimo izabrani popis važnijih radova koje su dali C.W. Klimblin [5], A. Čosić-Dragan i A. Miliša [6] i M.P. Reece [7]. Primjenjujući unekoliko heuristički postupak izlaganja, dat ćemo pregled osnovnih pojava u vezi s električnim lukom u vakuumu, utjecaju tih pojava na vrste materijala i oblikovanje kontakata, konstrukcije vakuumskih prekidnih komora i prekidnu moć vakuumske prekidne komore. Također, bit će objašnjena i osnovna pitanja u vezi s ispitivanjem vakuuma prekidnih komora, tipovi vakuumskih prekidača koji se susreću u praksi, što će biti ilustrirano izabranim primjerima a zatim će se prikazati osnovne tendencije u razvoju vakuumske sklopne tehnike u desetljeću koje traje.

## 2. ELEKTRIČNI LUK U VAKUUMU

S fizikalnog gledišta, električni luk koji se javlja u vakuumske prekidne komori znatno se razlikuje od luka koji gori u ulju ili plinu. Na prvi pogled moglo bi izgledati da je pojam »električni luk u vakuumu« proturječan, jer kao što smo vidjeli luk bi po definiciji trebao sadržavati pozitivne ione. U slučaju vakuumskog luka ne može se govoriti o vođenju struje ionima kao kod plinskog luka. Čestice koje ostvaruju atomarnu građu plazme vakuumskog luka proizvode se iz površinskog materijala elektroda u procesu emitiranja metalnih para tijekom trajanja luka. Tako, kada struja padne do svoje nule, ili izvjesno vrijeme prije, luk se gasi, te gustoća metalne pare između i oko elektroda brzo opada do nule; na taj način ponovno se uspostavlja stanje vakuuma. Kao što je poznato, vakuumom nazivamo svaki tlak koji je niži od atmosferskoga. Tlak mjerimo u jedinicama koju nazivamo paskal, pri čemu je  $1 \text{ Pa} = 10^{-5} \text{ bara}$ . Smanjenjem tlaka raste srednji slobodni put molekule, iona ili elektrona; ovaj srednji slobodni put definiran je sljedećim izrazom:

$$l = \frac{5,64}{Nd^2} \quad (1)$$

gdje su

$l$  — srednji slobodni put

$N$  — gustoća tvari

$d$  — promjer atoma ili molekule.

U niskom vakuumu srednji slobodni put je malen pa se molekule međusobno sudaraju; s povećanjem vakuuma srednji slobodni put molekula postaje veći i, u skladu s tim, sudaranje je rjeđe; na nekom visokom vakuumu molekule se počinju učestalije sudara-



ti sa stijenkama posude nego međusobno. Takvo stanje nazivamo molekularnim gibanjem i ono je svojstveno za vakuumske prekidne komore. Za djelotvorno prekidanje struje i održavanje dielektričkih svojstava u vakuumskoj prekidnoj komori potrebno je postići tlak ispod  $10^{-2}$  Pa.

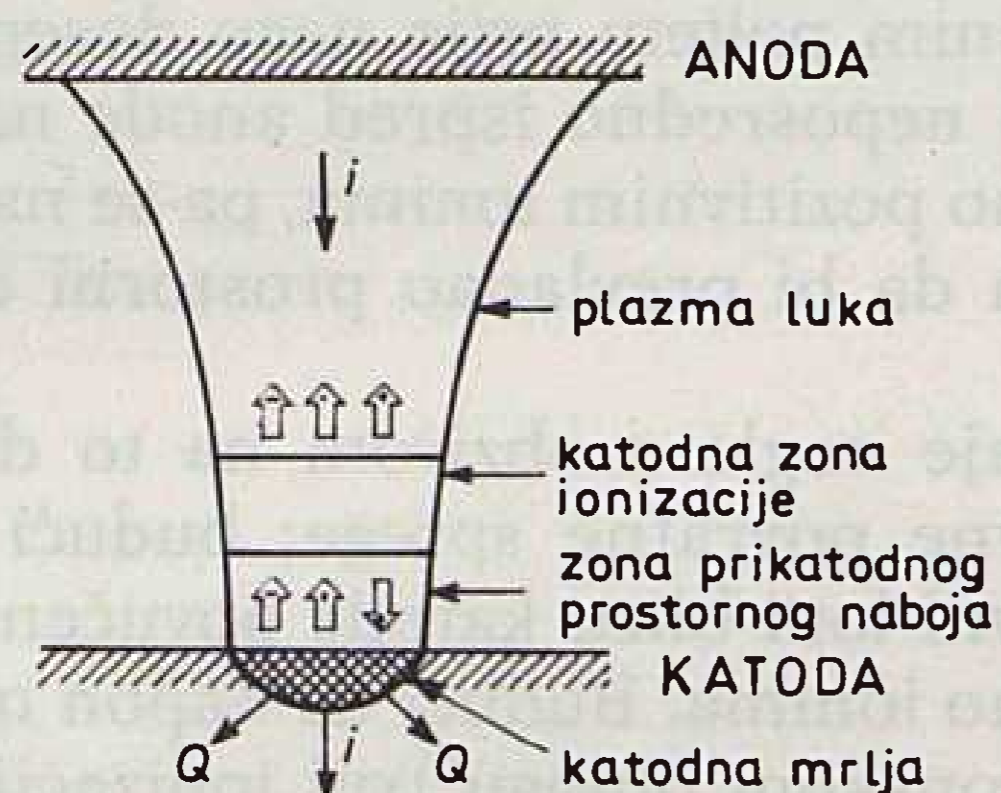
Luk u vakuumu javlja se ili kao *difuzni* ili kao *koncentrirani*. Vakuumski luk malih struja (nekoliko tisuća ampera) obično gori kao difuzni, dok za slučajeve većih struja vakuumski luk gori kao koncentrirani. Međutim, točku prijelaza difuznog luka u koncentrirani nije jednostavno jednoznačno utvrditi. Točka prijelaza ovisi o obliku, veličini, materijalu elektroda i o promjeni struje. Difuzni luk u vakuumu ima veoma veliku prekidnu moć, koju izražavamo umnoškom

$$- \frac{di}{dt} \times \frac{dv}{dt} \quad (2)$$

to jest umnožak pada struje i porasta prijelaznog povratnog napona veći je nego u slučaju drugih tipova prekidača [8]. Koncentrirani vakuumski luk, međutim, ima zanemarljivu prekidnu moć.

### 2.1. Difuzni luk

Luk u vakuumu koji nosi nekoliko stotina do nekoliko tisuća ampera između dvije diskolike elektrode gori kao stanoviti broj sasvim odvojenih paralelnih lukova. Svaki od ovih lukova sastoji se od mrlje na negativnoj elektrodi i stupa plazme koji proistječu iz mrlje na katodi i šire se prema anodi, kako je to prikazano na sl. 3.



Slika 3. Shematski prikaz pojedinačnog luka difuznog gore-nja luka u vakuumu

Svaki od tih pojedinačnih lukova nosi struju od nekoliko desetina do nekoliko stotina ampera [9], što ovisi o materijalu od koga je izgrađena katoda. Pojedinačni lukovi opstojе paralelno s obzirom na to da svaki od njih ima mali, ali ipak konačni pozitivni inkrementalni otpor [10]. Mrlje se kreću po površini katode brzinama koje dosežu i 10 m/s te se tako međusobno sudaraju, pa se vakuumski difuzni luk nastoji raspodijeliti cijelom površinom katode. Magnetske sile između pojedinih stupova plazme su amperske, tako da se oni međusobno privlače, ali pri nižim strujama prevladava efekt retrogradnog kretanja [11] u katodnim mrljama.

### 2.2. Katodna mrlja

Svojstva katodnih mrlja ovise o kakvoći materijala od koga je napravljena katoda i o njezinoj fizikalnoj formi. Njihova svojstva istraživana su opsežno tijekom dugog niza godina ali, unatoč tomu, i dalje postoje razilaženja glede procesa koji ih prate. Katodna mrlja je, naime, mjesto na površini katode s koga se emitiraju elektroni i čestice metalne pare i ulaze u luk. Gustoća struje ovisi o kakvoći katodnog materijala i vrlo je velika u slučaju metala s velikim umnoškom točke ključanja i toplinske vodljivosti; ona je niska u slučaju metala s malim navadanim umnoškom. Vrijednosti za gustoću struje koje možemo naći u literaturi kreću se od  $10^6$  do  $10^8$  A/cm<sup>2</sup>. U odsutnosti magnetskih polja mrlje kreću se nasumično površinom katode, ali pokazuju sklonost prema neravninama ili drugim mjestima na kojima bi njihov gubitak topline odvođenjem u tijelo katode bio minimalan. U magnetskom polju one se kreću »retrogradno« u smjeru suprotnom onom određenim Amperovim zakonom. Trag kretanja mrlje po čistoj površini metala uvijek upućuje na taljenje, a temperatura mrlje doводи do vrlo brzih isparavanja. Upravo je na čelu katodne mrlje mjesto gdje, zbog velike gustoće struje, tlak pare mora biti vrlo velik pa je to područje snažnog emitiranja i ionizacije. Odavde se emitira bujica metalnih para s velikom brzinom (približno  $10^6$  cm/s za bakar, kako navodi Reece [12]). Ukupna količina emitiranih metalnih para mijenja se od metala do metala, kao što se to vidi iz tablice 1 [7].

Tablica 1. Emisija metalnih para za različite metale

Metal katode	Isparena količina μg/C	Isparena količina atoma / elektron
bakar	70	0.1
srebro	35	0.03
magnezij	70	0.28
olovo	1 100	0.5
cink	230	0.33
kadmij	400	0.35
merkurij	250	0.12

Za bakar, prema tome, isparenoj količini metala od 80 μg po jedinici električnog naboja odgovara razdoba od otprilike jednog atoma bakra na deset elektrona.

### 2.3. Područje plazme

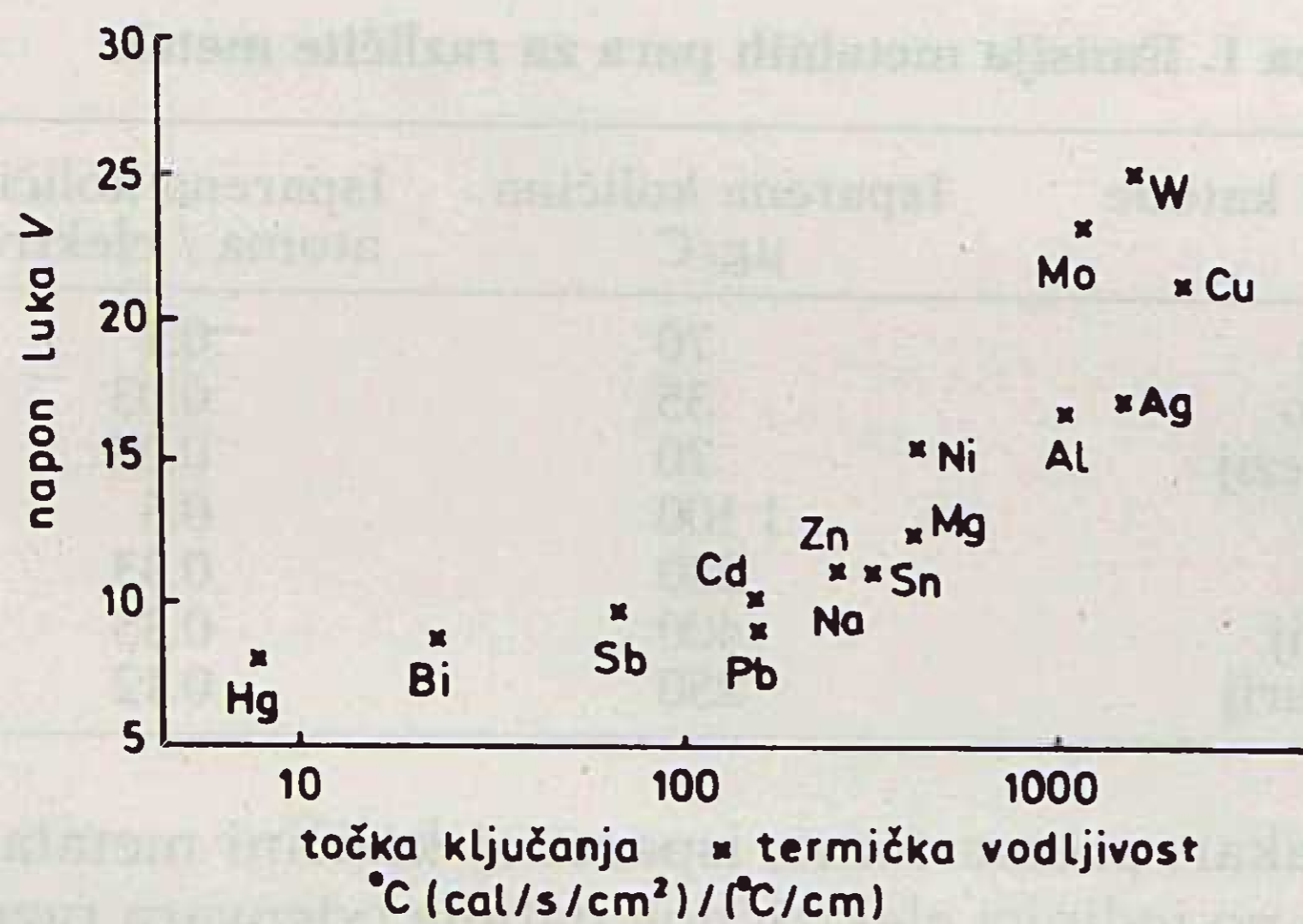
Približno, područje plazme je oblika stošca s vrhom u katodnoj mrlji i osnovom na anodi, kao što se vidi sa sl. 3. Nosioци struje u plazmi su elektroni koji bivaju emitirani iz katodne mrlje i rasprostirani u prikazanom stošcu. Elektroni u stošcu difuznog luka bakra imaju brzinu od  $10^8$  cm/s. I čestice metalnih para emitiranih iz katodne mrlje, također, rasprostiru se u plazmatičnom stošcu, i njihova je brzina za bakar približno  $10^6$  cm/s. U plazmatični stožac ulaze i pozitivni ioni metala formirani u području visokog pritiska na čelu katodne mrlje; ubrzani su protivno električnom polju pomoću momenta prenesenog od čestica u području visokog pritiska. Tako imamo luk

u kome pozitivni ioni, zbog svoje velike početne energije, putuju od katode prema anodi. Posljedica toga je činjenica da je gradijent napona u području plazme difuznog luka male struje u vakuumu jednak nuli.

Tablica 2. Svojstva vakuumskog difuznog luka

Struja na katodnoj mrlji, A	100
Ukupni napon luka, V	21
Katodni pad, V	8
Prividni anodni pad napona, V	13
Količina emitirane metalne pare, $\mu\text{g}/\text{C}$	80
Srednja brzina pare, $\text{cm}/\text{s}$	$10^6$
Srednja kinetička energija čestica pare, eV	33
Srednja brzina pozitivnih iona, $\text{cm}/\text{s}$	10
Srednja kinetička energija pozitivnih iona, eV	33
Količina emitiranih pozitivnih iona, ion/elektron	0.01

Tablica 2. prikazuje izvjesne parametre difuznog luka bakra u vakuumu za slučaj male struje [13]. Gradijent u plazmatičnom području jednak je nuli s obzirom na to da postoje zanemarljivi gubici, a kretanje iona u istom smjeru neutralizira naboj elektrona sve do površine anode, a i na njoj samoj. Zbog istog razloga ne postoji pad napona na anodi, ali »prividni pad napona« ugrijava anodu uslijed kinetičke energije prvobitno prenesene na čestice bliske katodi. Mjeri li se napon luka za lukove male struje u vakuumu za stanovit broj različitih metala, ustvrdit će se uzajamnost između napona luka i umnoška točke ključanja i toplinske vodljivosti, što je prikazano na sl. 4.



Slika 4. Utjecaj toplinskih svojstava materijala katode na napon luka

Cjelovita fizikalna slika ove uzajamnosti vrlo je zamršena. Međutim, pojednostavljeno opće objašnjenje može se dati na sljedeći način: Određena količina metalnih para mora se ispariti da bi se proizvela dovoljna količina pozitivnih iona za pražnjenje. Da bi se osigurala ova para, površina metala mora biti zagrijana i to utoliko više ukoliko je temperatura ključanja veća. Gubitak topline mrlje u okružujućem hladnom metalu, očito, izravna je funkcija temperature na mrlji i toplinske vodljivosti metala, te ta toplina mora biti ostvarena pomoću pada napona na katodi; što su veći toplinski gubici potreban je veći napon luka da bi se raspršila potrebna energija i održala temperatura mrlje.

Stabilnost luka u vakuumu također je povezana s toplinskim svojstvima metala od kojega je izgrađena katoda. Katodna mrlja koja ima veću izgublenu toplinu nestabilnija je od katodne mrlje koja ima manju izgublenu toplinu. Prema tome, stabilnost luka je inverzna funkcija napona luka i — iako ona zahtijeva izričito statističku definiciju — može se reći da će luk izmjenične struje od 1 A na bizmutnoj katodi biti stabilan, a luk izmjenične struje od 100 A na volframskoj katodi imat će približno jednaku stabilnost. Fenomen stabilnosti luka tijesno je povezan s »rezanjem struje« u vakuumskoj prekidnoj komori [10, 12]. »Rezanje struje« uspješno se može ograničiti odgovarajućim izborom materijala za kontakte.

#### 2.4. Prijelaz od difuznog na koncentrirani luk

Ako struja difuznog luka postojano raste, povećava se i broj katodnih mrlja i pripadajućih stupova plazme; na oko 1 000 A (točna vrijednost ovisi o veličini elektrode i materijalu) napon luka, koji je do te vrijednosti struje bio konstantan, počinje rasti [14]. Taj porast uzrokovan je magnetskim poljem struje koja skreće početno pravi put elektrona i iona, tako da sudari koji uzrokuju gubitak aksijalnog momenta, a koji su prije bili rijetki, sada postaju sve učestaliji. Napon nastavlja kontinuirano rasti do oko 40 V pri struji od oko 7 000 A; poslije te vrijednosti struje napon počinje naglo rasti do nekoliko stotina volti, ali s kontinuiranim vrlo velikim prijelaznim poremećajima. To bi se moglo objasniti na sljedeći način. Kada sudari koji rasipaju moment porastu i napon luka luka dosegne oko 40 V, napon luka veći je nego početna kinetička energija pozitivnih iona i oni su zaustavljeni električnim poljem prije nego dosegnu anodu. Na taj način neposredno ispred anode nastaje područje oskudno pozitivnim ionima, pa se naglo razvija visoki napon da bi prevladao prostorni elektronski naboj.

Proces nastaje naglo s obzirom na to da se javlja efekt pozitivne povratne sprege; budući da napon raste, pozitivni ioni blizu katode povučeni su u područje oskudno ionima. Budući da napon na novonastalom elektronskom oblogu trpi ionizaciju zbog sudara, struja se koncentrira u ona područja gdje gustoća metalnih para omogućuje dovoljnu ionizaciju. Ta koncentracija je također samoodržavajući proces, jer velika energija koja je sada narinuta na anodu u ovom malom području zagrijava anodu dok ona ne počne emitirati obilne metalne pare, uvećavajući tako gustoću ionizacije i snižavanje napona. Na tom stupnju luk je koncentriran i ima napon od nekoliko stotina i više volti i vrlo neobičan valni oblik. Fazni pomak potreban da bi se uspostavio oscilatorni sistem koji uzrokuje neobičajeni valni oblik napona ostvaren je vremenom ugrižavanja i hlađenja anodne mrlje.

#### 2.5. Sasvim koncentrirani vakuumski luk

Kada je luk jednom postao koncentriran, njegov daljnji razvoj ovisi o toplinskim uvjetima koji vladaju na elektrodama. Primijeni li se snažno hlađenje elektro-

da, recimo pomoću brzog kretanja luka po površini elektrode uzrokovanim magnetskim poljem, tako da se luk stalno pomiče na hladni metal, veliki i neuobičajeni napon luka će ustrajavati. Međutim, ako luk ostane na jednom mjestu i temperatura elektrode naraste preko vrlo velikih vrijednosti, napon luka morat će pasti jer mjestimična gustoća pare postaje tako velika da luk koji ostaje koncentriran postaje zapravo luk visokog tlaka s termičkom ionizacijom koja se javlja u stupcu luka.

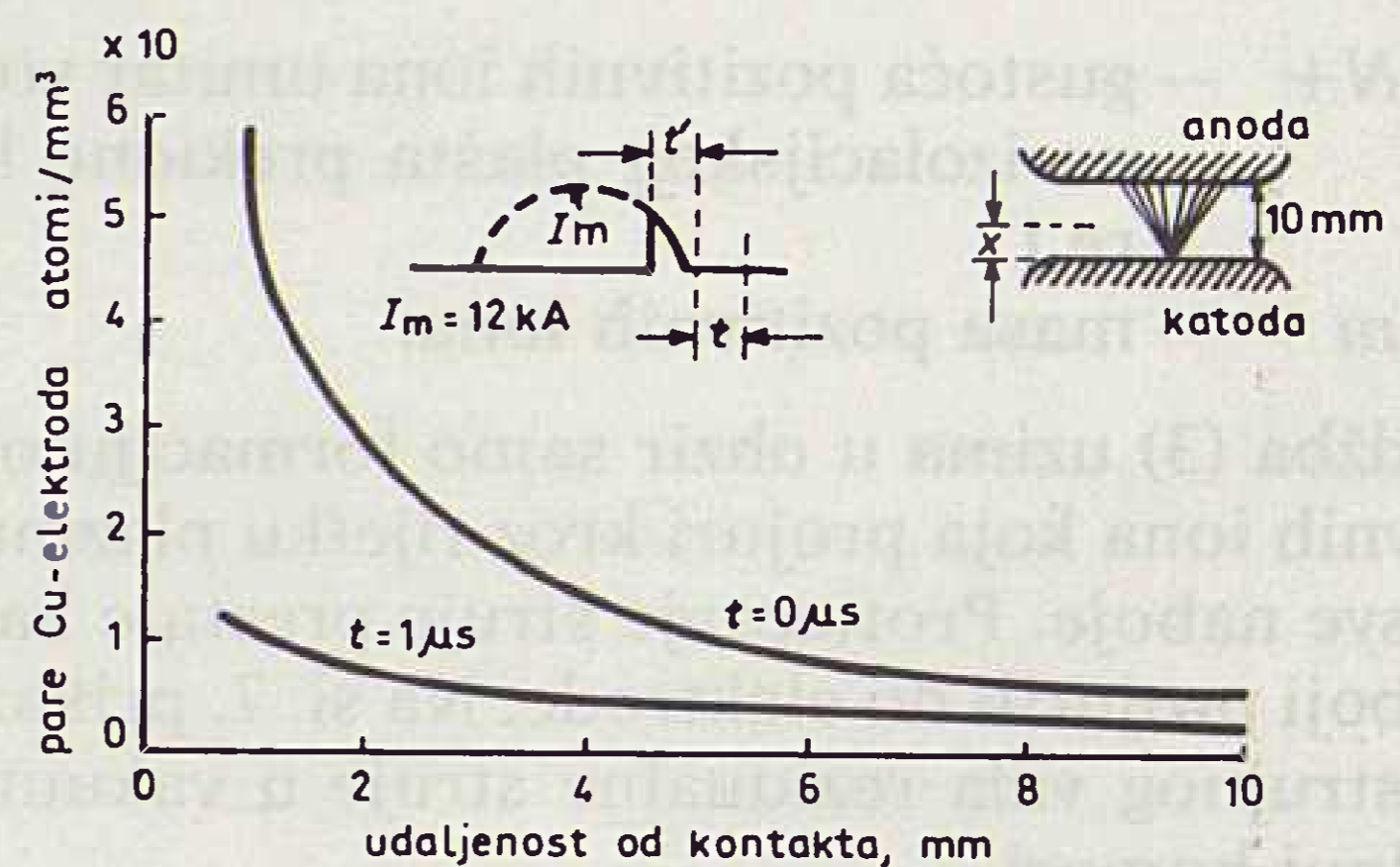
## 2.6. Prekidna moć vakuumskog luka

Prekidna moć vakuumskog luka ovisi o gustoći para između i okolo elektroda koja se praktički mijenja istodobno sa strujom [13]. Budući da su metalne pare emitirane iz ugrianih mrlja na elektrodama, pad gustoće para za strujnu nulu ovisi gotovo u cijelosti o vremenskoj konstanti hlađenja ugriane mrlje. Katodna mrlja s površinom npr. od  $10^{-6}$  cm<sup>2</sup> ima vremensku konstantu znatno ispod 1 ms, dok izuzetno ugriana mrlja na anodi s površinom npr. od 1 cm<sup>2</sup> i dubine 1 mm može imati vremensku konstantu vrijednosti više milisekundi. Iako, u skladu s tim, difuzni luk ima vrlo malu vremensku konstantu i vrlo veliku prekidnu moć, koncentrirani luk ima znatno veću vremensku konstantu koja može varirati od nekoliko stotina mikrosekundi do više milisekundi, što ovisi o veličini ugrianih mrlja, pa je, prema tome, prekidna moć koncentriranog luka praktički zanemarljiva jer kontakti nastavljaju obilno emitirati metalne pare i poslije strujne nule. Stoga, potrebno je kontakte vakuumske prekidne komore konstruirati tako da luk bude u difuznom stanju prije prolaska struje kroz svoju prirodnu nulu. Iz toga proizlazi da je sa stajališta konstruiranja vakuumskih prekidnih komora, potrebno proučavati prekidanje luka u difuznom stanju.

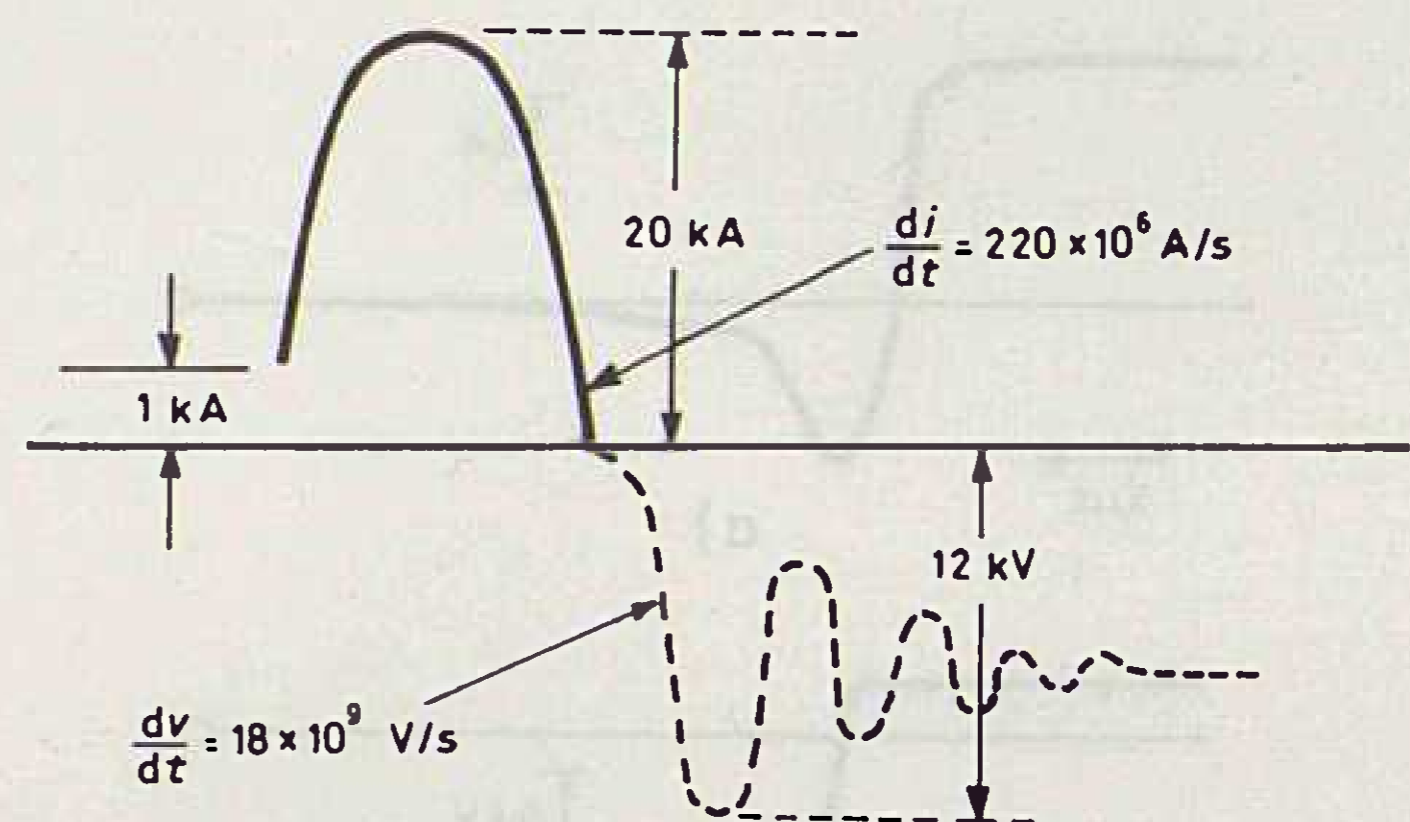
## 2.7. Pojave u vezi sa strujnom nulom u vakuumu

Razmotrimo prekidanje kada se pretpostavi model difuznog luka na bakrenoj elektrodi. Kako opada struja, opada i broj katodnih mrlja; mrlje se gase i pri struji od oko 100 A ostane samo nekoliko mrlja. Pretpostavljajući da se jedna mrlja održi sve do prolaska struje kroz nulu, pretpostavljajući emitiranje pare s iznosom od jednog atoma na deset elektrona i srednju brzinu od  $10^6$  cm/s za metalne pare, te pretpostavljajući da atomi metalnih para imaju maksvelovsku brzinu raspodjele, moguće je gustoću para izvesti kao funkciju položaja u lučnom razmaku i vremena nakon prolaska struje kroz nulu. Rezultati tog izvođenja prikazani su na sl. 5.

S te slike može se vidjeti da je gustoća para, čak i u trenutku prolaska struje kroz nulu, toliko niska u međuelektrodskom razmaku da se on može smatrati izolatorom [15]. Da je prekidna moć vakuumskog difuznog luka tako velika, vidi se s oscilograma danog na sl. 6. Naime, u jednom eksperimentu [16] za prekidanje istosmjerne struje pomoću umjetne komutacije vakuumskog luka, struja koja pada s omjerom od 500 A/ms od vršne vrijednosti 23 kA ugasi se unatoč



Slika 5. Gustoća para u trenutku i poslije strujne nule



Slika 6. Prekidanje u vakuumu

iznosu porasta povratnog napona od 18 kV/ms; obje ove vrijednosti znatno su veće od onih koje se javljaju u stvarnim elektromagnetnim sistemima.

## 2.8. Rezidualna struja

Zaštita od ponovnog paljenja vakuumskog luka poslije strujne nule ostvaruje se osiguranjem da gustoća para između i okolo kontakata bude dovoljno niska, tako da se ne može pojaviti proboj u vrlo rijetkoj pari. Međutim, unatoč tome, iako se proboj s njemu odgovarajućim mrljama ne može pojaviti, i nakon prolaska struje kroz nulu stanovite struje mogu teći vakuumskom prekidnom komorom. Ta struja teče kao posljedica postojanja izvjesnog broja iona i elektrona u međuelektrodskom prostoru i nakon prolaska struje kroz nulu. Pri poznatoj gustoći nabijenih čestica i predstavljajući kontaktnu geometriju pomoću jednostavnog jednodimenzionalnog modela, moguće je izračunati struju kroz vakuumsku prekidnu komoru nakon strujne nule za bilo koji oblik vala povratnog napona koristeći slijedeću jednadžbu izvedenu iz Childova zakona [12]:

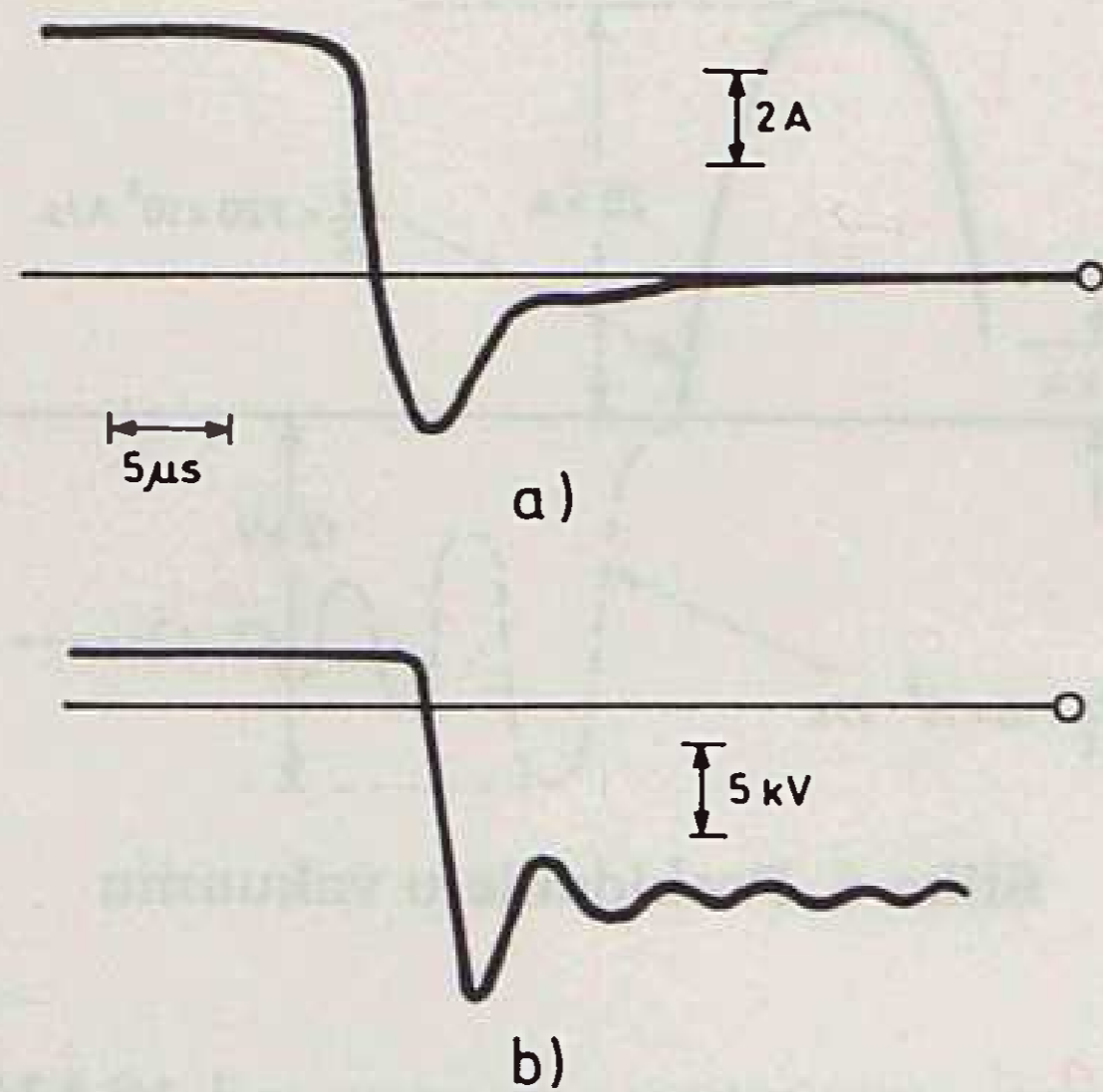
$$i_t = (1 + f(V))eN + \frac{d}{dt} \left( \frac{\int_0^t V^{3/2} dt}{3\pi \sqrt{\frac{em}{2} N}} \right)^{1/3} \quad (3)$$

gdje je

- $i$  — trenutna vrijednost rezidualne struje u trenutku  $t$  nakon strujne nule,
- $V$  — trenutna vrijednost prijelaznog povratnog napona,
- $f(V)$  — koeficijent sekundarne emisije (elektroni po pozitivnom ionu) kao funkcija od  $V$ ,
- $e$  — naboj elektrona,

- $N+$  — gustoća pozitivnih iona unutar volumena izolacijskog plašta prekidne komore i  
 $m$  — masa pozitivnih iona.

Jednadžba (3) uzima u obzir samo formaciju obloga pozitivnih iona koja projuri kroz rijetku plazmu i otkloni sve naboje. Protjecanje struje prestaje kada su svi naboji projurili do elektrode. Na sl. 7. prikazan je oblik strujnog vala rezidualne struje u vakuumskoj prekidnoj komori.



Slika 7. Rezidualna struja u vakuumskoj prekidnoj komori nakon prekinute struje od 18 kA: a) rezidualna struja, b) ograničavajući napon

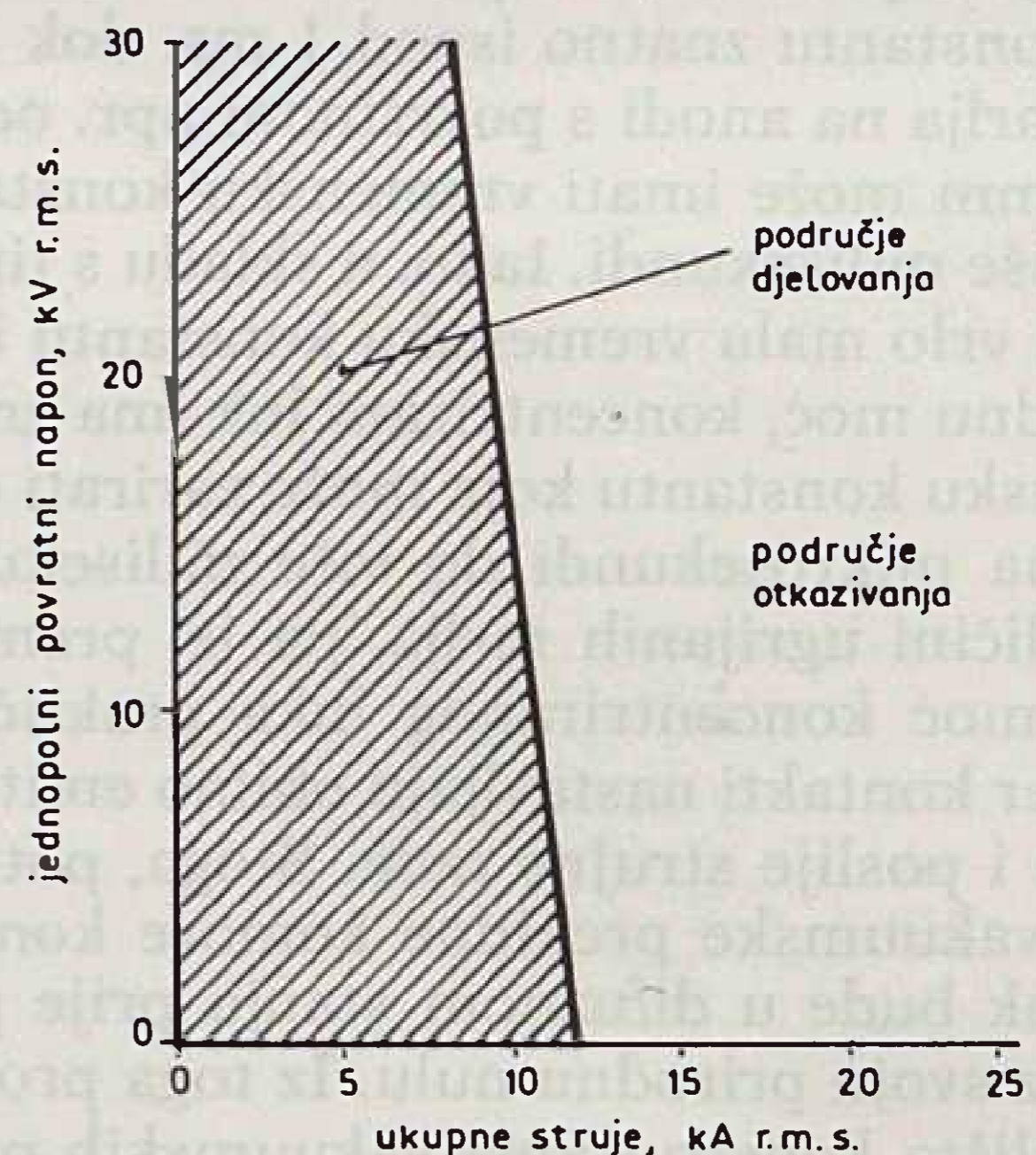
Rezidualna struja teče prema gotovo svim električkim izloženim područjima kontakta, a ne samo prema onim područjima gdje je ranije gorio električni luk. Budući da su površine elektroda obično sasvim velike, koncentracija rezidualne energije je mala, pa tok rezidualne struje obično ne dovodi do ponovnog uspostavljanja luka za koji su potrebne katodne mrlje.

### 3. IZVEDBE I PRIMJENE VAKUUMSKIH PREKIDNIH KOMORA

Vakuumski prekidači tijekom minulih godina oduševljavali su kako konstruktore sklopnih aparata, tako i stručnjake koji se bave gradnjom, održavanjem i razvojem elektroenergetskih sistema. U prvoj etapi razvoja vakuumskih sklopnih aparata, unatoč njihovim izrazitim prednostima, proširenje njihova korištenja priječila je nešto veća cijena u odnosu na ostale sklopne aparate. Danas je ova prepreka otklonjena i postignuto je da primjena vakuumskih prekidnih komora omogućuje stanovite uštede u drugim dijelovima sklopnog aparata, što proistječe iz navedenih svojstava prekidanja luka u vakuumu. Nakon što smo izložili osnovna svojstva lučnih procesa u vakuumu razmotrit ćemo fizikalne i konstrukcijske uzajamnosti pojedinih dijelova vakuumske prekidne komore s tim procesima te metode njihove optimizacije u suvremenim izvedbama vakuumskih prekidača.

### 3.1. Uzajamnost između lučnih procesa i kontakata

Vidjeli smo da difuzni luk u vakuumu ima visoku prekidnu moć, što je posljedica vrlo malog termičkog kašnjenja u emitiranju metalnih para iz katodnih mrlja s obzirom na njihovu vrlo malu fizičku veličinu. Također, vidjeli smo da magnetsko stezanje difuznog luka vodi koncentriranom luku, pri čemu se mogu formirati velika ugrijava područja s vrlo velikim termičkim i parnim konstantama. Visokougrijava lukovi svest će prekidnu moć električnog luka u vakuumu praktički na nulu. Zbog toga ravna sudarna čela kontakata u vakuumskim prekidnim komorama nisu prikladna za prekidače kojima se prekida vršna vrijednost struje od 28 kA naviše. Razumljivo, ova granica umnogome ovisi o površini i materijalu kontakata. Ravna sudarna čela kontakata, u skladu s tim, primjenjuju se za prekidanje struja koje ne premašuju 4–8 kA. Na sl. 8 prikazana su svojstva kontakata s ravnim sudarnim čelima.

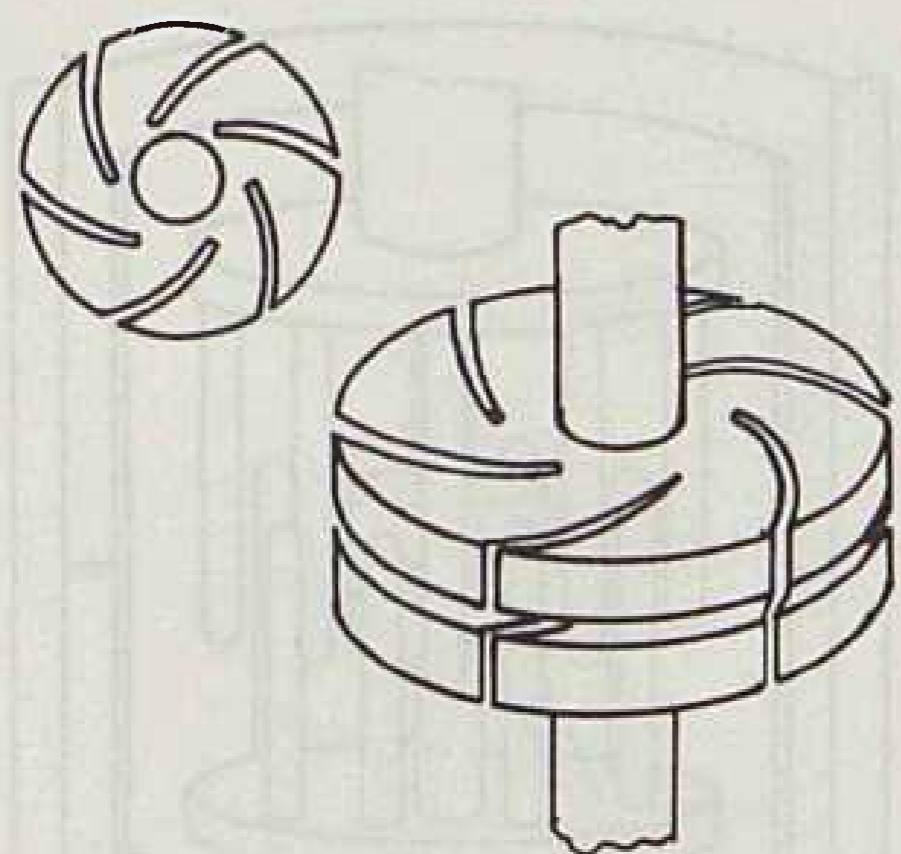


Slika 8. Oštro razgraničenje prekidnih moći zbog magnetnog stezanja luka na bakrenim kontaktima s razvijenim sudarnim čelima

Sa slike je vidljivo da odmah nakon pojave znatnije anodne mrlje s velikom vremenskom konstantom prekida moć naglo opada sve do nule. Da bi se nadvladala ograničenja kontakata s ravnim sudarnim čelima, razvijeno je nekoliko posebnih konstrukcija. Naime, ograničenje se može nadvladati postizanjem međudjelovanja luka i magnetskog polja kako bi se luk održao u vrlo brzom kretanju i tako zaštitila vrlo ugrijava područja s dugim vremenima hlađenja. To je moguće postići na različite načine; u nekim konstrukcijama koriste se kontaktni sistemi s permanentnim magnetima, u nekim se primjenjuju odvojeni svici izvan prekidne komore, ali najčešće se koriste dva tipa kontakata, »latičasto spiralni« [17] i »oprečni« kontakti [18]. Prvi tip kontakata prisiljava koncentrirani luk da rotira, dok drugi tip kontakata onemogućava prijelaz difuznog luka u koncentrirani.

### 3.2. Latičasto spiralni kontakt

Osnovna konstrukcija ovih kontakata prikazana je na sl. 9. Kontakti su u biti diskovi, blago konični ili s prstenom blizu središta.



Slika 9. Primjer laticasto spiralnog kontakta

Vanjski dijelovi diskova ne dodiruju se ni kada je kontakt zatvoren. U diskovima su zasječene spiralno oblikovane latice s nizom spiralnih proreza. Prorezi su postavljeni na svakom kontaktu, kao što se vidi na slici. Ti kontakti djeluju na sljedeći način: Kada je struja koja se prekida mala tako da se formira difuzni luk, razdvajanje kontakata dovodi do uobičajenog koncentriranja struje u metalu na posljednju mrlju, formiranja rastaljenih mostića i prokidanja rastaljenog metala na poznati način. Potom, formirani luk brzo se razvija u difuzni koji ima stanovit broj katodnih mrlja koje se kreću okolo po kontaktu. Neke dopijevaju na rub kontakata i njima odgovarajući pojedinačni luk tako se gasi, dok se druge udvajaju tako da broj mrlja ostaje približno razmjern struji. Katodne mrlje nastoje se rasporediti po cijeloj površini ili po njezinu većem dijelu.

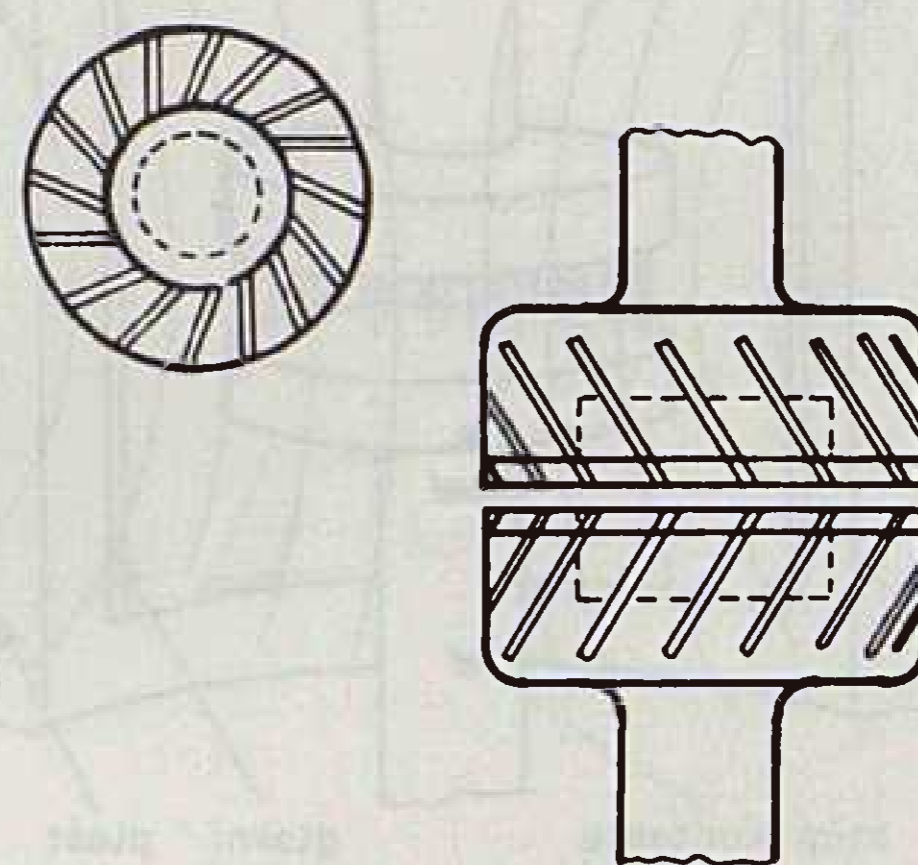
Međutim, ako bi struja koja se prekida bila znatno veća, recimo u području koncentriranog luka, djelovanje kontakata bilo bi različito. Pri raskidu mostića rastaljenog metala formira se koncentrirani luk. Katodne mrlje kontinuirano napuštaju područje luka zbog retrogradnog kretanja, ali bivaju gotovo odmah ugašene zbog magnetskog privlačenja njihovih plazmatičnih područja natrag prema glavnom luku. Koncentrirani luk odmiče se kao jedinstven od središnjeg područja kontakata zbog magnetskih efekata proširenja petlje struje u kontaktu. Valja primijetiti da se koncentrirani luk, u kretanju kojeg dominira plazma, kreće u smjeru struje, a ne u retrogradnom smjeru. Luk se kreće u radijalnom smjeru prema rubu kontakata i ostaje svinut između njih. Budući da je luk svinut između rubova kontakata, struja koja ga podržava ima obodnu komponentu s obzirom na spiralne proreze, pa se tako uspostavlja radijalno magnetsko polje koje okreće luk po periferiji kontakata u smjeru određenom smjerom spirale. Djelotvornost rotacije luka na spiralnim kontaktima ovisi o kutu spiralnih proreza. Prorezi koji su više svinuti djelotvorniji su od onih koji su bliži radijalnima.

Opći efekt koncentriranog luka dovodi do mjestimičnog ugrijavanja kontakata, ali s obzirom na kretanje korijena luka, luk ne ostaje ni na jednom pojedinačnom mjestu vrlo dugo, pa toplina ne prodire duboko u metal. Vremenska konstanta hlađenja takvih površno ugrijanih područja obično je reda tisuću mikrosekundi, pa budući da struja pada na nulu na kraju lučne petlje, koncentrirani luk prelazi u difuzni oblik kada struja ima trenutnu vrijednost od nekoli-

ko kiloampera, što obično može biti 400–500 ms prije strujne nule u ovisnosti o veličini i simetričnosti struje. To daje dovoljno vrijeme da se ugrijani površinski sloj kontakata ohladi do temperature za koju je tlak para na njemu dovoljno nizak, pa se krajnje prekidanje postiže pri difuznom stanju luka preko katodnih mrlja.

### 3.3. Oprečni kontakt

Ovo je druga vrsta konstrukcije kontakata koji se koriste u vakuumskim prekidačima strujnih krugova. Kao što se vidi na slici 10, kontakti su oblikovani poput čaše s debelim stijenkama, pri čemu je tijelo kontakata pričvršćeno za dno čaše. Kontakt se ostvaruje preko rubova stijenki čaše. U stijenkama čaše zasječeni su prorezi koji se približuju odjeljcima spirale, pri čemu je rotacija proreza obrnuta u dvije kontaktne čaše.



Slika 10. Oprečni kontakt

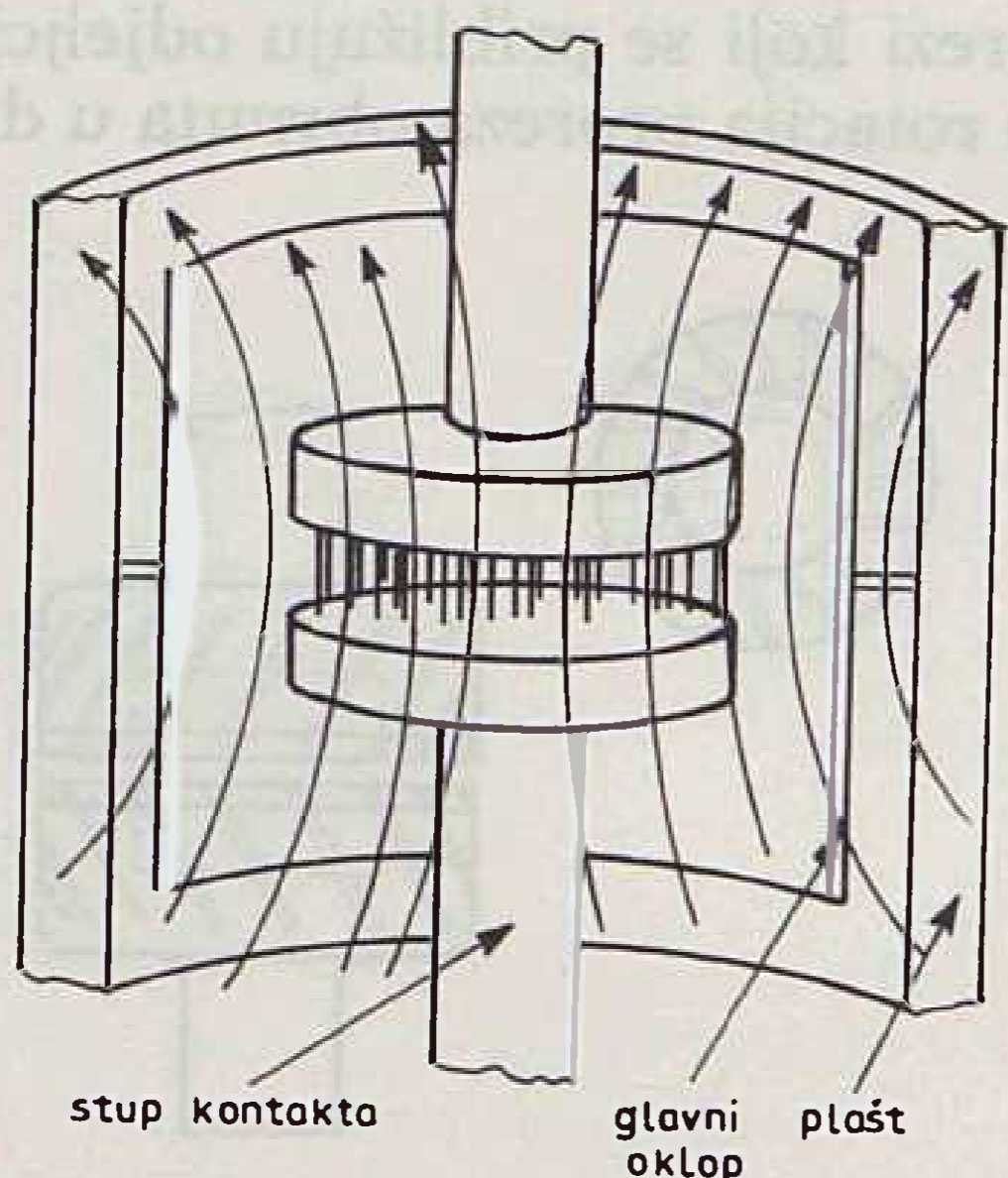
Kada se kontakti razdvoje, formira se broj rastaljenih mostića po rubovima. Broj tih mostića ovisi o veličini struje koja se prekida. Kada se mostići prekinu, formiraju se lukovi, a činjenica da se prijelaz od mostića na lukove može ostvariti na većem broju mjesta objašnjava se malom, ali konačnom induktivnošću pojedinačnih zubaca.

Čim se formiraju lukovi, snažna magnetska polja uspostavljena pomoću obodnih komponenata struja u zakošenim zupcima prisiljavaju plazmu pražnjenja da se kreće kružno okolo kontakata u smjeru struje, dok se katodne mrlje kreću lagano natrag u suprotnom smjeru. Na taj način formira se šuplji prsten luka i spriječena je njegova preinaka od difuznoga u koncentrirani. Luk je u ovoj konstrukciji kontakata tako stegnut da će gorjeti tijekom perioda protjecanja struje na mjestu gdje se početno formirao, to jest između rubova dvije čaše pa se ne zahtijeva nikakvo radijalno kretanje luka.

Navedena dva tipa kontakata predstavljaju najproširenije konstrukcije u suvremenoj proizvodnji vakuumskih prekidača. Neki proizvođači rade na razvoju kontakata sa stabilizacijom luka aksijalnim magnetskim poljem. Koriste se dvije metode proizvodnje aksijalnog magnetskog polja koje prisiljava luk da ostane u difuznom stanju čak i pri vrlo velikim strujama. U najkraćim crtama, proizvode se kontakti s ravnim sudarnim čelima, a jednonamotni ili višenamotni svici ugrađeni su u prekidač oko svake prekidne komore i spojeni su u seriju s njim. Da bi s dobio zado-

voljavajući izolacijski nivo, svici se obično zalijevaju u smolu.

U drugom rasporedu kontakti se formiraju tako da vodljivi putovi struje tvore solenoid, i to od tijela kontakta do ravnog sudarnog čela; magnetomotorne sile svitaka dva kontakta su aditivne pa se uspostavlja aksijalno magnetsko polje između kontakata. Na taj način izbjegava se potreba za vanjskim svicima, ali konstrukcije su složenije. Na slici 11. prikazan je kontakt s ravnim sudarnim čelima, pri čemu se električni luk održava u difuznom stanju pomoću aksijalnog magnetskog polja. Kao što smo već rekli, to aksijalno magnetsko polje može se proizvesti pomoću u seriju povezanih svitaka koji okružuju prekidnu komoru ili pomoću svitaka ugrađenih iza kontakata.

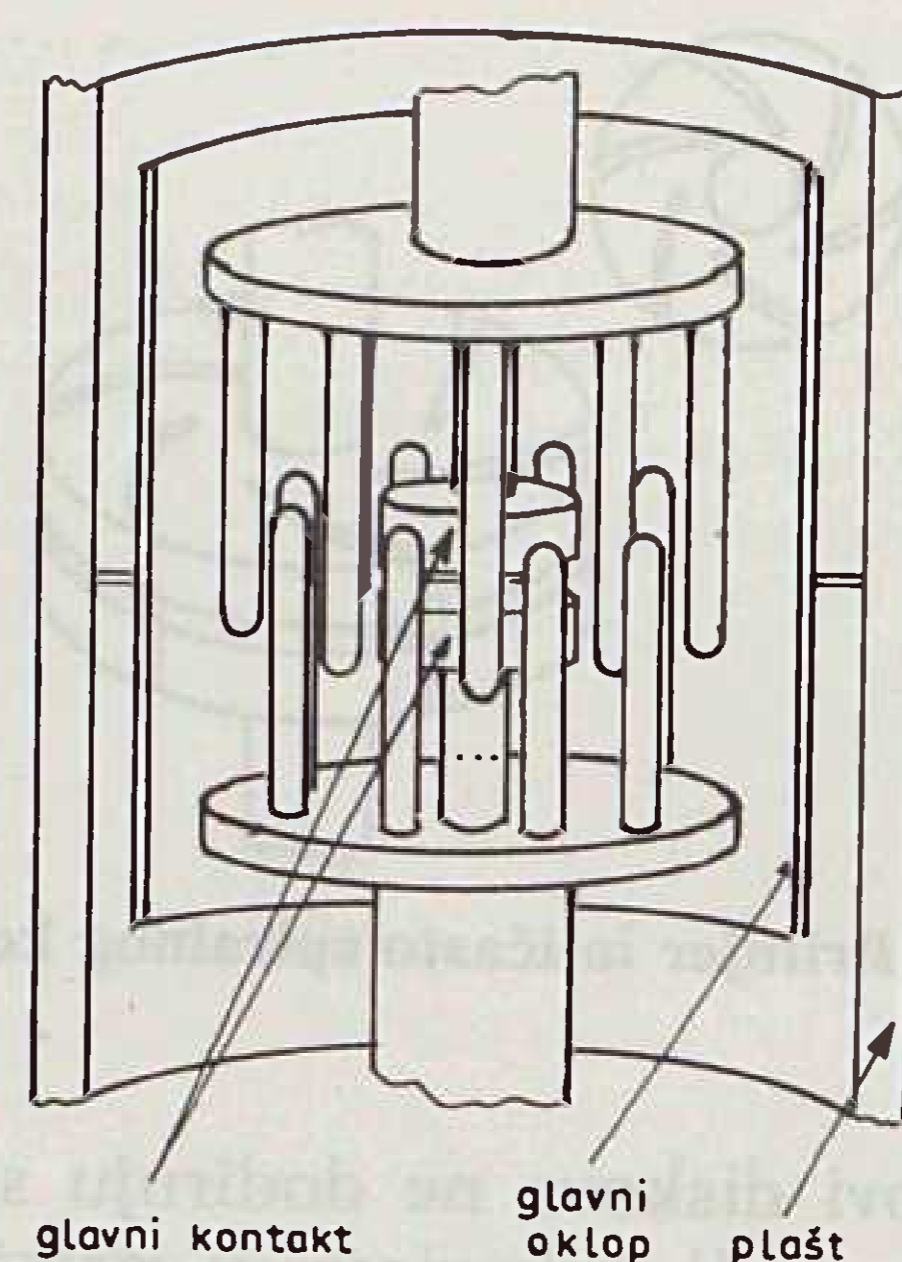


Slika 11. Ravni kontakti s aksijalnim magnetskim poljem

Poznata su i nastojanja da se razviju »višeprstni« kontakti koji bi mogli prekidati vrlo velike struje. Međutim, izgleda da se taj razvoj susreće s problemom erozije kontaktnog materijala pri prekidanju velikih trenutnih struja i visokim cijenama koštanja. U tom tipu kontakata razdvajanje ili sklapanje kontakata vrši se na uobičajeni način. Kada se razdvajaju glavni kontakti, nastaje električni luk. Tako se ovaj luk s glavnih kontakata prenosi na pomoćne koji su u obliku prsta pričvršćeni za glavni kontakt u formi pomoćnih »prstnih« elektroda. Geometrija tih kontakata održava luk u difuznom stanju sve do vrlo velikih struja kratkog spoja. Međutim, u slučaju takve konstrukcije znatno razaranje mogu pretrpjeti glavni kontakti kada se razdvoje pri protjecanju vrlo velike trenutne struje čak i u kratkom vremenu koje je potrebno da bi se luk prenio s glavnih na pomoćne kontakte. Primjer takvih kontakata prikazan je na sl. 12. Općenito govoreći, čini se, geometrije kontakata vakuumskih prekidnih komora ostat će nepromijenjene u bliskoj budućnosti [7].

### 3.4. Kontaktni materijali

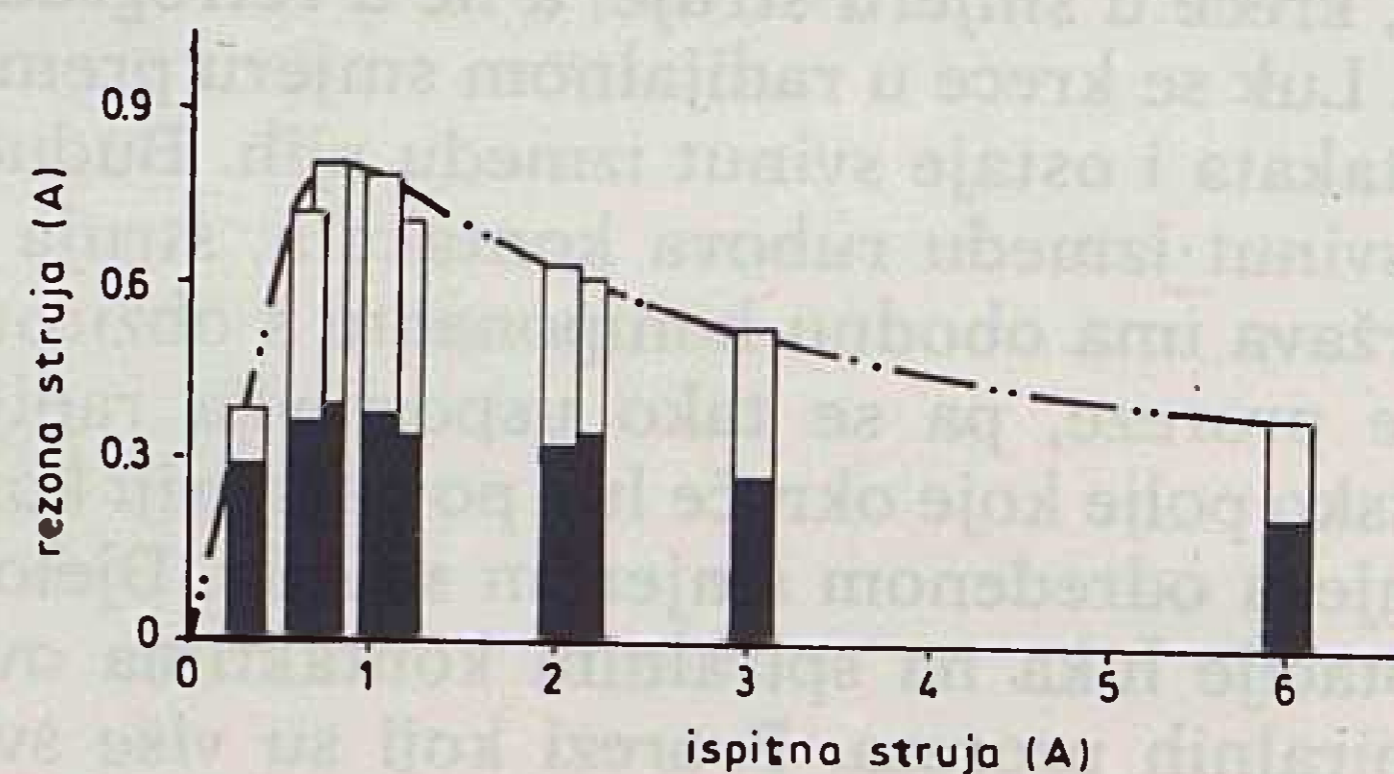
Općenito, o materijalima od kojih se grade kontakti suvremenih vakuumskih prekidnih komora objavljuje se malo konkretnih podataka. Materijali koji se najčešće koriste osnivaju se ili na slitinama bakar-bizmut ili bakar-krom. Izvještava se o korištenju ko-



Slika 12. Višeprstni kontakti

balta umjesto kroma, ali njegova istezljivost i velika cijena priječe širu upotrebu. Vjerojatno, najznačajniji razvoj u ovom području predstavlja mogućnost korištenja manjeg razmjera kroma u slitinama bakar-krom nego što se to prvotno mislilo. To je, međutim, uzrokovalo potrebu većeg kontaktnog pritiska da bi se naknadila povećana sklonost zavarivanja, što, s druge strane, zahtijeva snažniji mehanizam kada se koristi ta vrsta kontaktnog materijala.

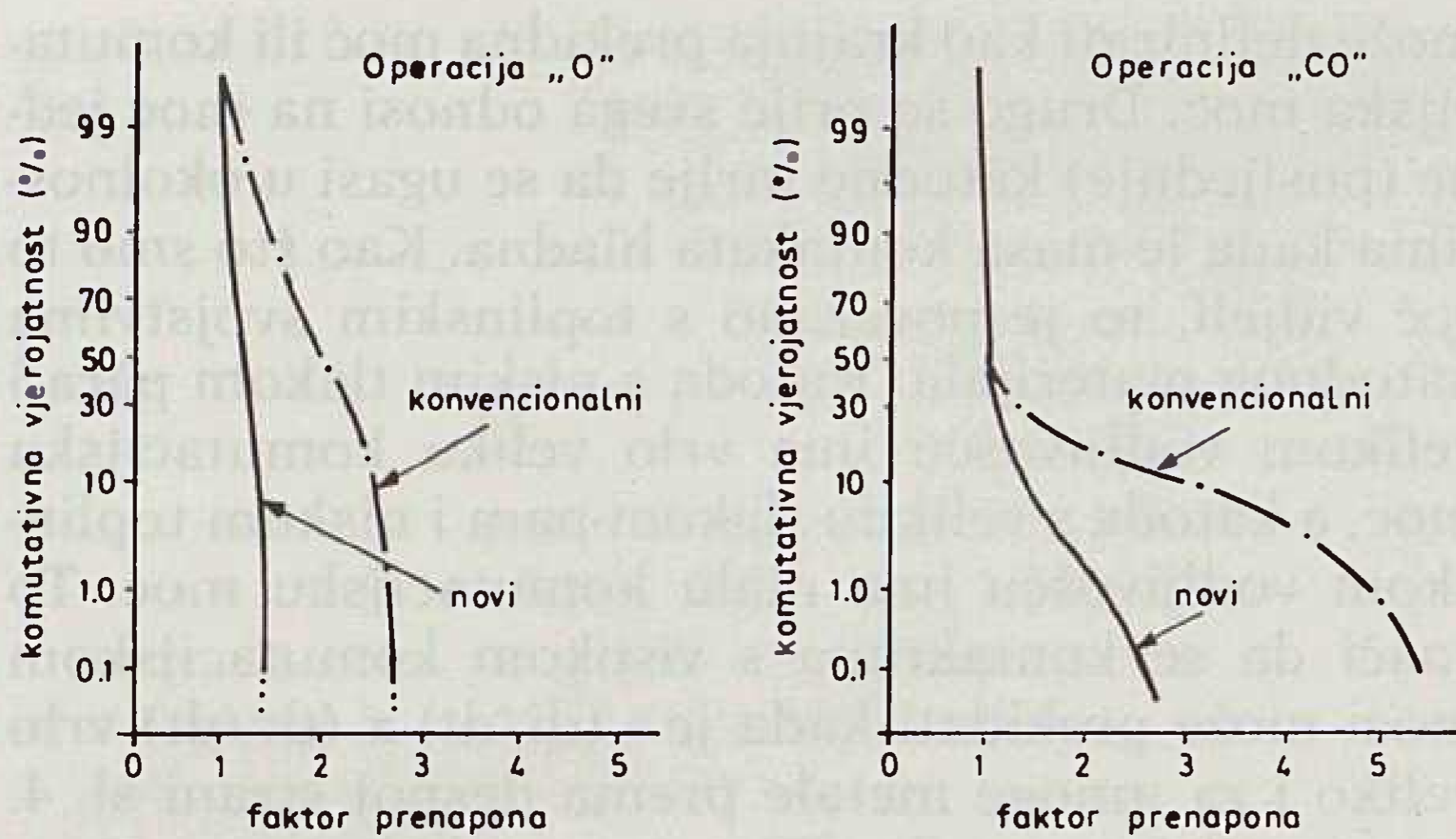
U novije vrijeme razvijeni su posebni kontaktni materijali kojima se što je moguće više snizio nivo rezane struje [19]. Osim te osnovne zadaće, ti materijali omogućuju sprečavanje pojava u vezi s gašenjem visokofrekventnog luka. Taj materijal je trikomponentna slitina na bazi srebra. Na sl. 13. prikazana je uzajamnost između ispitne prekidane struje i rezane struje na ovaj materijal. Rezana struja doseže maksimalan iznos od samo 0,8 A pri ispitnoj struji od oko 1 A. To je oko 10 % od nivoa rezane struje konvencionalnih materijala kao što su bakar-kobalt ili bakar-krom slitine, kako je to prikazano na sl. 14. Dokazano je da nivo rezane struje opada čak i poslije 0,4 A, što predstavlja polovinu maksimalne vrijednosti, kada je ispitna struja 6 A.



Slika 13. Karakteristike rezanja struje novog materijala

Općenito, kontaktni materijali za vakuumske prekidne komore visokonaponskih prekidača moraju ispunjavati sljedeće zahtjeve glede njihovih svojstava:

- Odredenu prekidnu moć, a to zapravo znači da prekidna moć ne smije biti ni previše niska jer prekidač može prekidati bliske ili slične kratke spojeve, ni previše visoka, s ozbirom na to da bi



Slika 14. Distribucija rezane struje

prekidač mogao proizvoditi prevelike prenapone tijekom ponovnog paljenja kada se kontakti rastave malo prije prolaska struje kroz nulu.

- Nisku razinu rezane struje, a to zapravo znači da je potrebno kakvoćom kontaktnog materijala spriječiti pojavu velikih prenapona pri prekidanju malih induktivnih struja.
- Niske sile zavarivanja, s obzirom na to da čistoća kontaktnih materijala u vakuumu potiče zavarivačke sile; stoga, potrebno je upotrijebiti materijale koji će imati što je moguće manje sklonosti ovakve vrste.
- Dobru električku čvrstoću, da bi se električka svojstva kontakata zadržala i nakon njihovih oštećenja bilo mehaničkim ili zavarivačkim uzrocima ili zbog pojava koje prate prekidanja struja kratkih spojeva.
- Visoku električku vodljivost, kako bi kontakti izdržali naprezanja kojima su izloženi tijekom vođenja velikih struja normalnog pogona.
- Jednostavnu i ekonomičnu proizvodnju, s obzirom na to da kontakti predstavljaju vrlo važne elemente vakuumskih prekidnih komora te tako značajno utječu na prikladnost njihove primjene u sklopnim postrojenjima.

Vidimo, neki od tih zahtjeva ponešto su međusobno proturječni. Naprimjer, metal s velikom električkom čvrstoćom, kao što je molibden, ima izražena svojstva rezanja struje i sklonosti zavarivanja.

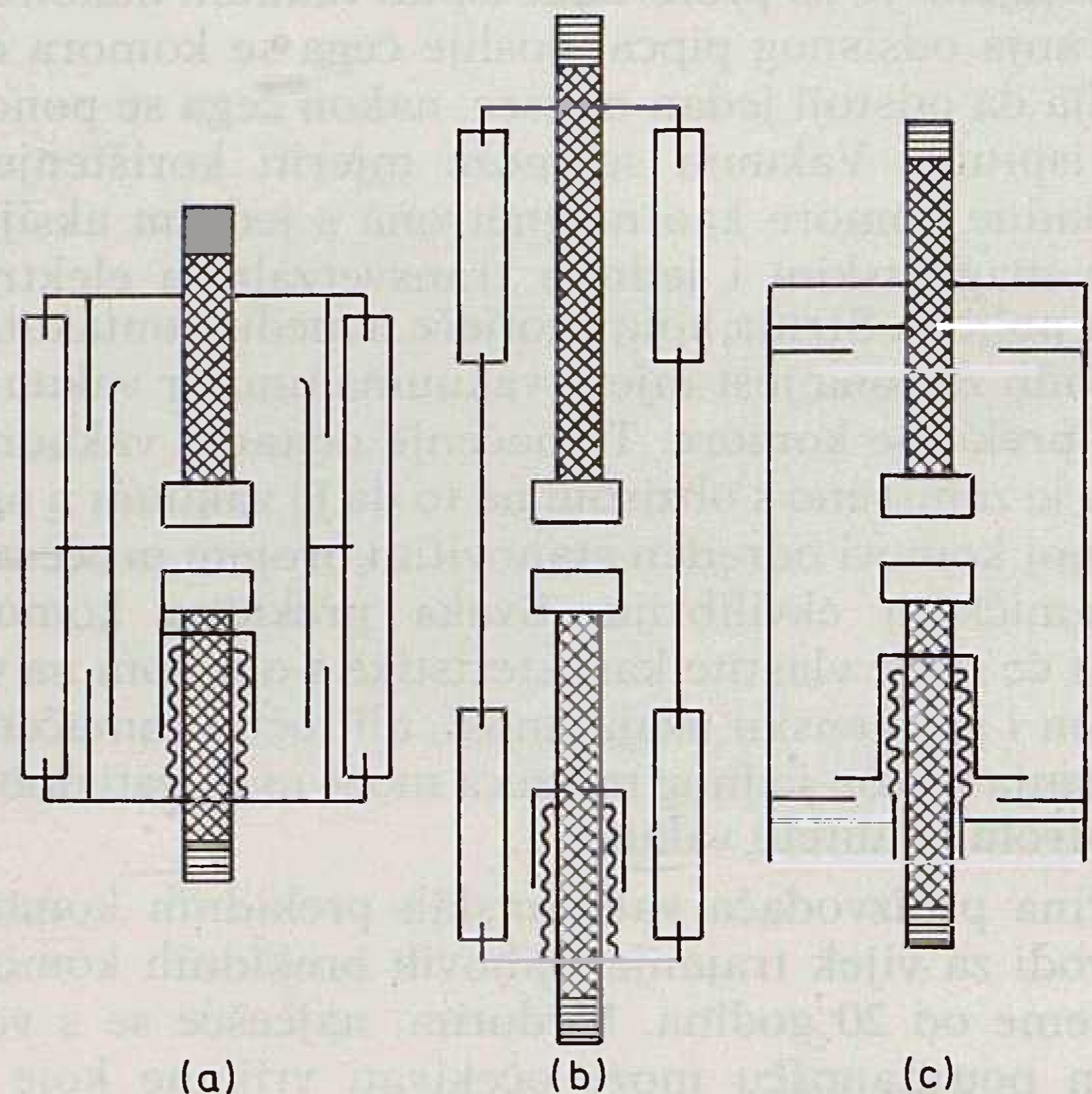
Iako su nazočna brojna izvješća o novim materijalima, korištenje dvaju je najproširenije: slitina bakar-bizmut i slitina bakar-krom. Osim prije navedenog materijala na osnovi srebra, u proizvodnji kontakata u novije vrijeme ulaze i slitine bakat-berilij.

#### 4. KONSTRUKCIJA VAKUUMSKIH PREKIDNIH KOMORA

Stvarni prostor u kome se obavlja prekidanje u vakuumske prekidnoj komori predstavlja razmak između samih kontakata, duljina kontakata te prostor između kontakata i središnjeg zaslona. S obzirom na vrlo veliku dielektričku čvrstoću vakuuma, prekidna komora bi, u pogledu unutrašnjeg volumena, mogla biti sasvim malih dimenzija. Međutim, potrebno je osigurati prikladnu dielektričku čvrstoću izvan same

prekidne komore. I upravo ta dielektrička čvrstoća izvan prekidne komore ponajprije određuje dimenzije. Neke prekidne komore konstruirane su za utapanje u izolacijsku tekućinu, pa su njihove dimenzije znatno manje od onih koje su namijenjene za rad u zraku. Na sl. 15. prikazane su tri nauobičajenije konstrukcije vakuumskih prekidnih komora.

Crtež (a) na toj slici predstavlja prikaz vjerojatno najjednostavnijeg rasporeda; okružuje središnji ili glavni zaslon čija je zadaća osigurati kondenziranje metalnih para. Također, postoje dva krajnja zaslona koji priječe reflektiranje metalnih para od krajnjih ploča na izolacijskom plaštu. Izolacijski plašt, koji može biti izgrađen od bilo kojeg izolacijskog nemagnetskog materijala, okružuje čitav sklop i ojačava glavni plašt. Gipki mijeh je unutar plašta te je tako zaštićen. U nekim se konstrukcijama koristi, a u nekim ne, posebna vodica tijela kontakta. Ta konstrukcija prekidne komore ima duljinu nešto veću od promjera. Crtež (b) iste slike prikazuje alternativnu konstrukciju u kojoj je promjer umanjen na račun duljine. Glavni zaslon postaje dio plašta, a izolacija je sada dvodijelna, sa po jednim dijelom na svakom kraju prekidne komore. Crtež (c) predstavlja često predlaganu konstrukciju čija se primjena nije proširila u suvremenoj komercijalnoj proizvodnji prekidača strujnih krugova visokog napona. Izolacija je u toj konstrukciji, kao što se vidi, radijalna, pa se može primijeniti jedinstveno zaptivanje. No ta konstrukcija ima stanovita ekonomska ograničenja za napone iznad 3 kV. Predlagane su i brojne drukčije konstrukcije vakuumskih prekidnih komora, ali, unatoč tomu, danas u praksi susrećemo uglavnom konstrukcije koje su prikazane na crtežima (a) i (b) slika 15.



Slika 15. Tri vrste konstrukcija vakuumskih prekidnih komora

Geometrija i veličina elektroda ovise i o struji kratkog spoja i o struji koju provode tijekom normalnog pogona. Površina kontakata koja je izložena djelovanju luka mora biti dovoljno velika da bi mogla apsorbirati

birati energiju a da se pritom ne ugrije iznad određene vrijednosti; također, kontakti moraju na svojim sudarnim čelima ostvariti dovoljno kontaktnih točaka odgovarajuće površine da bi se imalo prihvatljivo rasipanje energije tijekom vodenja pune struje normalnog pogona.

Pri konstruiranju i proizvodnji vakuumskih prekidnih komora nužno je imati na umu preciznost izrade metalnih komponenata koje bivaju pogođene ugrijavanjem, bilo tijekom proizvodnje, bilo poslije-pri vakuumiranju i djelovanju; također se mora u čitavom tom slijedu stanja osigurati vrlo velika čistoća cijelog sklopa.

Nakon različitih procesa očišćenja primjenjuju se visokotemperaturne vakuumske deplinizacije a zatim visokotemperaturno lemljenje. Konačno spajanje prekidne komore ostvaruje se lemljenjem spojeva stakla i metala ili lučnim zavarivanjem metalnih spojeva u argonu. Potom, vakuumske prekidne komore se vakuumiraju. U novijim tehnologijama sav se tehnološki proces odvija u vrlo visokom vakuumu, pa nema potreba za vakuumiranjem.

Mijehovi se gotovo redovito proizvode od nerđajućeg čelika i susreću se uglavnom dva tipa, s profilima smotanim u spiralu, koji su ili svijani ili hidraulički formirani i oni s V-oblikovanom spiralnom napravljenom pomoću zavarenih slogova brtvenih prstenova.

Mjerenje gubitka vakuuma može se napraviti na pojedinim dijelovima koji čine sklopnu cjelinu još u procesu njihove proizvodnje korištenjem plina helija i odgovarajućih senzora (helij-leak detektor), ili - cijela se vakuumska prekidna komora može provjeriti s obzirom na gubitak vakuuma poslije vakuumiranja. Uobičajeno je da proizvođač ispita vakuum nakon zatvaranja odsisnog pipca, poslije čega se komora ostavlja da odstoji jedan mjesec, nakon čega se ponovno ispituje. Vakuum se može mjeriti korištenjem prekidne komore kao magnetrona s jednim aksijalnim magnetskim i jednim transverzalnim električnim poljem. Struja koja protječe između kontakata i glavnih zaslona jest mjera vakuuma unutar vakuumske prekidne komore. Tumačenje očitavanja vakuuma vrlo je zamršeno s obzirom na to da je vakuum u prekidnoj komori određen stanovitim brojem procesa u dinamičkom ekvilibriju. Svaka prekidna komora imaće svoje vlastite karakteristike s obzirom na vakuum i vremensku uzajamnost, ali točno tumačenje očitavanja nakon jednog mjeseca može osigurati dobru kontrolu kvalitete vakuuma.

Većina proizvođača vakuumskih prekidnih komora navodi za vijek trajanja njihovih prekidnih komora vrijeme od 20 godina. Međutim, najčešće se s velikom pouzdanošću može očekivati vrijeme koje je znatno dulje od toga.

## 5. PREKIDNA MOĆ VAKUUMSKIH PREKIDNIH KOMORA

Vakuumska prekidna komora ima dva sasvim različita ograničenja s obzirom na prekidne moći. Prvo se

može definirati kao krajnja prekidna moć ili komutacijska moć. Drugo se prije svega odnosi na moć jedne (posljednje) katodne mrlje da se ugasi u okolnostima kada je masa kontakata hladna. Kao što smo to već vidjeli, to je povezano s toplinskim svojstvima katodnog materijala. Katoda s niskim tlakom para i velikom vodljivošću ima vrlo veliku komutacijsku moć, a katoda s velikim tlakom para i niskom toplinskom vodljivošću ima malu komutacijsku moć. To znači da se kontaktima s visokom komutacijskom moći može prekidati kada je  $-(di/dt) \times (dv/dt)$  vrlo veliko i za mnoge metale prema desnoj strani sl. 4. komutacijska moć ili svojstvena prekidna moć mnogo je veća od one koja se zahtijeva za normalne elektroenergetske sisteme.

Drugo ograničenje nije u vezi sa smanjenjem struje ili povećanjem napona ponovnog paljenja, nego s veličinom mrežne frekvencije struje koja se može prekidati. To ovisi o geometriji kontakata, koja mora biti takva da onemogući koncentrirani luk da ostaje na jednom mjestu; također, ovo ograničenje ovisi o veličini i materijalu kontakata. Recimo, uzmemo li i oprečni kontakt koji prisiljava luk da ostane u difuznom obliku kroz strujnu petlju, kontakt mora biti dovoljno velik i/ili toplinska svojstva kontaktnog materijala takva da ni uniformni ulaz energije iz luka ne ugrijava cijelu površinu kontaktnog lica tako da njezin tlak para naraste preko  $10^{-3}$  bara za nultu vrijednost struje. Tako, kontakt bilo laticastog bilo oprečnog oblika ima maksimalnu mrežnu frekvenciju prekidajuće struje koja ovisi o njegovoj veličini i toplinskim svojstvima materijala od koga je taj kontakt napravljen.

Kontakt s ravnim sudarnim čelima, svakako, ima apsolutno veću gornju granicu prekidne moći koja se mijenja od oko 10 do 17kA (vršno), što ovisi o materijalu i mrežnoj frekvenciji, pa je ova struja u biti neovisna o veličini kontakta čim je veći od otprilike 3 cm u promjeru.

Osiguravajući da vakuumska prekidna komora djeluje u okviru granica njenog komutacijskog faktora, struje i povratnog napona s frekvencijom elektroenergetskog sistema, prekidanje se može očekivati u prvoj strujnoj nuli u kojoj je postignut prikladan razmak između kontakata (recimo, 3 do 4 mm za 11 kV i 5 do 6 mm za 15 kV); te karakteristike održavaju se u cijelom strujnom području, od struja manjih od onih kada sistem prenosi punu snagu do onih koje se pojavljuju pri kratkom spoju.

### 5.1. Ponovno paljenje u vakuumskoj prekidnoj komori

Kada u vakuumskoj prekidnoj komori dođe do ponovnog paljenja luka pri ranoj nultoj vrijednosti struje, jer je razmak između kontakata premalen da bi podnio puni povratni napon, luk se ne može preinačiti u trenutku ponovnog paljenja, kao što se to naprimjer javlja kod zračnih prekidača. Zbog velike komutacijske moći vakuumskog luka prijelazna visokofrekventna oscilatorna struja, koja teče iz lokalnih LC krugova kroz prekidnu komoru u trenutku ponovnog paljenja, može se prekinuti pri nultoj vrijed-



nosti visokofrekventne struje. Prekidna komora ponovno uspostavlja električnu čvrstoću samo da bi se luk ponovno upalio kada povratni napon sistema dosegne još jednom probojnu razinu pri malom razmaku. To se može ponoviti izvjestan broj puta, dok trenutni nivo struje mrežne frekvencije ne postane viši od vršne vrijednosti prijelazne oscilatorne struje, kada se više ne javljaju nulte vrijednosti visokofrekventne struje i kada se ponovno uspostavi puni luk. Taj proces može proizvesti nepoželjne prijelazne udare; intenzitet tog procesa ovisi o visokofrekventnim svojstvima kruga koji se prekida i, u mnogo većoj mjeri, o komutacijskoj moći vakuumske prekidne komore [20]. Komutacijska moć kontaktnog materijala ne bi trebala biti prevelika. Izborom prikladnog kontaktnog materijala uspješno se rješava problem u vezi s navedenom pojavom.

## 5.2. Isklapanje kapacitivne struje

Vrlo brzo uspostavljanje električke čvrstoće vakuumskih prekidnih komora osigurava dobra svojstva u pogledu isklapanja kapacitivnih struja, ali brzine kontakata ne bi trebale biti preniske jer će u tom slučaju, ako dođe do ponovnog preskoka, vjerojatno nastupiti klasični proces naponskog umnožavanja.

## 5.3. Prekidanje malih induktivnih struja

Sve prekidne komore prekidaju struju nešto prije strujne nule s obzirom na nestabilnost luka malih struja. U vakuumskim prekidnim komorama nivo nestabilnosti struje ili nivo rezane struje povezan je s komutacijskom moći kontaktnog materijala, te zbog toga komutacijska moć ne bi trebala biti prevelika. Rezana struja ovisi, kao i napon luka, o toplinskim svojstvima kontaktnih materijala.

Prenaponi proizvedeni u krugovima rezanjem struje ovise o rezanoj struji, valnoj impedanciji i prigušenju kruga. Karakteristike se mijenjaju vrlo mnogo od tipa do tipa prekidne komore, ali prikladnim izborom svojstava kontaktnih materijala rezanje struje ne predstavlja nikakvu poteškoću. Suvremeni kontaktni materijali svode na vrlo malu mjeru nivo rezane struje, kao što smo to vidjeli u odjeljku o kontaktnim materijalima.

## 6. KONSTRUKCIJA VAKUUMSKIH PREKIDAČA

Svojstva vakuumskih prekidača omogućuju njihovu primjenu na različite načine. Stoga je vrlo teško dati uopćen pregled njihovih mogućih oblika primjene. Također, ovo područje vakuumske sklopne tehnike još uvijek je u razvoju. Stoga razmotrimo posebna svojstva sklopnih postrojenja s obzirom na korištenje vakuumskih prekidnih komora. O mehanizmu se ne raspravlja jer je potrebno znati hod, brzine i sile da bi se mogao primijeniti prekidni element, tj. vakuumska prekidna komora. Nije potrebno posebno naglašavati da i mehanizam treba biti konstruiran tako nije potrebno nikakvo njegovo održavanje, kao što je to slučaj i s vakuumskom prekidnom komorom. Me-

hanizam bi također trebao biti sposoban da djeluje vrlo brzo kako bi se na najbolji način iskoristilo kratko i konstantno vrijeme prekidanja u vakuumskoj prekidnoj komori. Međutim, ne bi trebalo misliti da korištenje vakuumske prekidne komore svodi potrebnu energiju mehanizma na zanemarljivu vrijednost. Iako je hod vakuumske prekidne komore malen, uključene sile su unekoliko slične silama u drugim tipovima prekidnih komora; energija mehanizma može biti približno jedna petina one koja je potrebna za druge tipove prekidača, a to je svakako znatna vrijednost.

Većina prekidnih komora može se montirati u bilo kojem položaju. Ako je prekidna komora pričvršćena na strani nepokretnog kontakta, udar pri otvaranju kontakta prenosi se izravno na strukturu prekidača; pritom izolacijski plašt biva potresen samo silama drugog reda zbog njegova vibriranja uzrokovanog nesavršenim učvršćenjem prekidača kao cjeline. Međutim, ako je prekidna komora montirana sa strane pokretnog kontakta, sile se prenose na strukturu prekidača preko izolacijskog plašta koji mora biti dovoljno izdržljiv da bi podnio ta naprezanja. Može se uzeti da će izolacijski plašt podnijeti ta naprezanja ako je proizvođač predvidio učvršćivanje prekidne komore na strani pokretnog kontakta.

Prekidna komora ne bi trebala biti čvrsto spojena na obje strane s obzirom na to da bi svaka pogreška u montiranju ili promjene na stalku prekidača mogla prouzrokovati vrlo snažan potres izolacijskog plašta. Tamo gdje je prekidna komora pričvršćena na strani nepokretnog kontaktnog tijela, a proizvođač je dao sredstva za učvršćivanje na strani pokretnog kontakta, može biti prikladno primijeniti izvjesno postranično učvršćivanje na kraju pokretnog kontakta prekidne komore kako bi se povećala izdržljivost.

Za svaku prekidnu komoru proizvođač razumljivo, mogućem korisniku, osigurava i potrebne obavijesti o rasporedu pokretnih dijelova mehanizma u prekidaču kao cjelini, vodičima pokretnog kontakta, načinima pričvršćivanja na pokretni kontakt, strujnim priključcima na prekidnu komoru itd.

Kontaktni tlak u vakuumskoj prekidnoj komori mora biti dovoljan: a) da bi dao odgovarajuće mali kontaktni otpor, b) da se zatvori pri struji kratkog spoja i c) da ostane zatvoren tijekom dijela trajanja struje kratkog spoja. Kontaktni tlak potreban za provođenje normalne struje obično je istog reda ili nešto manji od tlaka zahtijevanog pri zatvaranju struje kratkog spoja i održavanja kontakata zatvorenih tijekom prolaska struje kratkog spoja, pa je to obično faktor koji određuje tlak kontakata. Odbojne elektromagnetske sile između kontakata s ravnim čelima u vakuumu ne razlikuju se bitno od onih između jednakih kontakata u zraku jer su oni zbog magnetskog tlaka u prihvaćenom području (pinch - efekt) strujnog toka između kontakata. Tijekom trajanja luka znatno zamršenija struktura izvjesnih kontakata vakuumskih prekidnih komora dovodi do nešto izrazitijih elektromagnetskih sila nego za ekvivalentne kontakte s ravnim sudarnim čelima. Međutim, umnoženost kontaktnih točaka u tom tipu prekidne ko-

more ima za posljedicu smanjenje elektromagnetskih sila. Sile zbog tlaka u plazmi između kontakata općenito su zanemarljive u usporedbi s elektromagnetskim silama.

Tijekom operacije zatvaranja ne javljaju se elektromagnetske sile sve do početka lučnog procesa (predluka), što je tipično samo za oko jedan dio milimetra. Stoga je dodatna aktivnost u zatvaranju sasvim mala. I pošto se pojavi početak preskoka, razvijena sila je normalna elektromagnetska sila iskre i ne postoji razvoj ništa slično hidrauličkim silama uzrokovanim početkom preskoka u prekidaču.

S obzirom na veliku električku čvrstoću vakuumskog prostora, hod kontakata u vakuumskoj prekidnoj komori je malen. Tipični hodovi su između 8 i 12 mm za vakuumske prekidne komore za 11 kV odnosno 15 kV. Mnoge prekidne komore mogle bi djelovati pri prekidanju struja kratkih spojeva s manjim hodovima od ovih, ali brojke su uzete za impulsnu čvrstoću i kapacitivno isklapanje, a to su pojave koje prvenstveno određuju veličinu hoda kontakata u prekidnoj komori.

Brzina kontakata pri zatvaranju mora zadovoljiti dva proturječna zahtjeva: Brzine bi trebale biti malene da bi se umanjio mehanički potres jer su komponente vakuumske prekidne komore slemljene i oslobođene plinova pri vrlo velikim temperaturama te uglavnom nisu tvrde i otporne kao većina komponenta u konvencionalnim sklopnim aparatima. Mala brzina također umanjuje mehanička naprezanja mijehova, što povećava njihov životni vijek. Konačno, mala sudarna brzina smanjuje poteškoće u vezi s odbijanjem spojnih mjesta. S druge strane, velika brzina spojnih dijelova umanjuje trajanje predluka pa time i trošenje kontakata, sklonost zavarivanju i moguću proizvodnju udarnog napona zbog nestabilnog iskrenja tijekom predlučnog razdoblja. Brzine koje se obično koriste su reda 0,6 do 2 m/s u trenutku spoja [21].

Brzina kontakata pri otvaranju ovisi ponajprije o sljedećim faktorima:

- Vrijeme trajanja luka trebalo bi biti odgovarajuće kratko; maksimalno vrijeme trajanja luka ne bi trebalo biti dulje od 1,5 periode.
- Kapacitivno isklapanje mora biti bez ponovnog preskoka tako da je, kada se pojavi nulta vrijednost struje blizu trenutka rastavljanja kontakata, električna čvrstoća prekidne komore u otvorenom položaju dovoljno velika poslije poluperiode vala mrežne frekvencije.

Većina kontakata vakuumskih prekidnih komora može se zavariti do stanovitog malog stupnja, pa se konstrukcijom predviđa kontaktni materijal sa čvrstoćom varova koja je dovoljno mala, tako da se oni mogu prekinuti. Sila potrebna za to prekidanje u većini praktičnih slučajeva predstavlja samo mali dio sile koja je potrebna za ubrzavanje na potrebnu brzinu razdvajanja. Uobičajeno je za otvaranje vakuumskih prekidnih komora primijeniti mehanizam koji će ubrzati masu (koja bi mogla biti jednaka približno masi pokretnog kontakata, ali može biti i znat-

no veća) do brzine nešto veće od brzine zahtijevane za otvaranje.

Kontakti vakuumske prekidne komore troše se uglavnom zbog erozije uzrokovane trajanjem luka, a samo do neznatnog iznosa operacijama u stanjima bez tokova snage. U većini prekidnih komora veličine erozije u gramima po Coulombu nije konstantna, nego raste s porastom struje. Najbolje prekidne komore u mogućnosti su prekinuti struju kratkog spoja nekoliko stotina puta, a dat će mnogo tisuća operacija u vezi sa strujom punog opterećenja.

Materijal kontakata gubi se na tri načina:

- rastaljene čestice koje nastaju kao posljedica destrukcije metalnih tečnih mostića između kontakata u trenutku njihova razdvajanja,
- metalne pare isparene iz katodnih mrlja čiji se izvjestan dio rekombinira na suprotnim elektrodama i
- tečne kapljice izvučene iz rastaljenog filma na površini elektroda pri velikim strujama, pri čemu se ove kapljice isisavaju zbog djelovanja magnetno-hidrauličkih sila uspostavljenih međudjelovanjem lučne struje i njezina vlastitoga magnetskog polja.

Metal izgubljen na kontaktnim površinama raspoređuje se po drugim dijelovima kontakata i na metalnom zaslonu. Granica do koje je dopustivo trošenje kontakata određena je ili stupnjem promjene oblika kontakata kada se gube potrebna svojstva magnetskog kontroliranja luka ili oštrim razaranjem kontaktnih površina nakon čega dolazi do dubljih dijelova kontaktnog materijala koji nema svojstva potrebne otpornosti na zavarivanje. Drugo ograničenje može biti postavljeno uvećavanjem hoda kontakata pri čemu mijehovi bivaju izloženi silama za koje nisu predviđeni. Stoga, pri konstruiranju vakuumske prekidne komore valja imati na umu moguće trošenje kontaktnih površina i osigurati da prekidna komora zadrži potrebna svojstva i poslije trošenja koje nije moguće izbjeći.

S obzirom na toplinsku izolaciju između kontakata i izolacijskog plašta osiguranu vakuumom između kontakata, praktički sva toplina raspršena u kontaktima i kontaktnim tijelima mora se otkoniti provođenju uzduž tijela. Oko 50% ustvrdljivog kontaktnog rasipanja mora se otkloniti sa svakog kraja prekidne komore da bi krajevi bili ispod određene temperature. Svakako, sami kontakti bit će za koji stupanj na većoj temperaturi od tijela kontakata što ovisi o termičkom otporu tijela. Međutim, budući da su kontakti zaštićeni od prevelikog ugrijavanja, to neće predstavljati nikakvu poteškoću.

Električna čvrstoća za bilo koji oblik vala u slučaju vakuumske prekidne komore može se mijenjati s vremenom i uvjetima prekidne komore više nego je to slučaj u drugih tipova prekidnih komora. Moguće je prilagođavanjem određenim uvjetima prekidne komore s nizom kontroliranih primjena visokog napona doseći probojnu razinu znatno iznad nazivne električne čvrstoće vakuumske prekidne komore. To nema nikakvo ili ima vrlo malo značenje u vakuumskim prekidačima s jednostrukim prekidanjem, ali

kada se prekidne komore koriste u nizu, kao što je to slučaj u svim prekidačima s višestrukim prekidanjem, određena pažnja mora se pokloniti koordinaciji izolacije između unutrašnjeg kontaktnog razmaka, kao i svakoga drugoga unutrašnjeg puta jednako kao i vanjskog probojnog puta, tako da se pri zatvaranju, ili u slučaju impulsnog udara koji se javlja tijekom otvaranja ili zatvaranja, ne pojavljuju nikakvi vanjski proboji izvan bilo koje pojedinačne prekidne komore u povezanom rasporedu.

## 7. NAZIVNE KARAKTERISTIKE SADAŠNJIH PREKIDNIH KOMORA

Nije jednostavno dati točan i jasan odgovor na pitanje o nazivnim karakteristikama vakuumskih prekidnih komora koje se danas mogu nabaviti. Naime, vidljivo je da, iako proizvođači u odgovarajućim listama, katalogima i stručnom tisku navode mogućnosti svoje vakuumske sklopne opreme za vrlo velike nazivne karakteristike. Stoga, vrijednosti koje se daju u ovom tekstu vežu se za vrijeme razvoja vakuumske sklopne tehnike do otprilike godinu prije nastanka ovog rada.

Nedavno su primijenjene vakuumske prekidne komore s jediničnim naponima sve do 84 kV (linijski napon trofaznog sistema) s pripadnom sposobnošću prekidanja struje kratkog spoja od 40 kA. Međutim, čini se da ove prekidne komore više nije moguće nabaviti. Prekidne komore s tim nazivnim naponima vrlo su velike i zahtijevaju dugi hod (oko 60 mm). Izvještava se da su te prekidne komore sklone ponovnom paljenju luka kada se isklapaju kapacitivne struje te da su osjetljive na proboje uzrokovane mehaničkim potresima.

Po svemu sudeći, gornja granica jediničnog nazivnog napona većine današnjih vakuumskih prekidnih komora može se postaviti između 24 i 36 kV. Za te napone prekidne komore još uvijek mogu zadržati uobičajeno kratak hod (reda 10–15 mm), mogu dati karakteristike isklapanja kondenzatora bez ponovnog paljenja i ostati relativno neosjetljive na potresom uzrokovane proboje. (Zadnja pojava, naime, predstavlja oblik proboja u kome su nabijene mikročestice izvedene iz elektrode mehaničkim potresima i potom ubrzane kroz međuelektrodski prostor električnim poljem, tako da se ispare i uzrokuju proboj kada pogode drugu elektrodu.)

Također, prednost ograničavanja nazivnog napona vakuumskih prekidnih komora na područje od 24 do 36 kV jest i u tome da za ovo područje ne dolazi do nastajanja primjetnih zračenja X-zraka. Tim nazivnim naponima odgovara područje struje kratkog spoja od 25 do 40 kA. Većina današnjih vakuumskih prekidnih komora ima nazivne napone iz sljedećeg niza : 7,2; 12; 15 ili 24 kV.

Gornja granica za stalnu struju je 3150 A, ali ova vrijednost je eksperimentalna. Najčešće, proizvođačka gornja granica je 2000 ili 2500 A. Međutim, nazivna vrijednost struje ovisi o sredstvu hlađenja koje konstruktor prekidača primjenjuje u svakom konkret-

nom slučaju. Primjenom utapanje i/ili ventiliranja da bi se odvela toplina od tijela kontakata u prekidnoj komori, moguće je povećati nazivnu vrijednost trajnje struje u navedenom području za 30%.

Sada dostupne vakuumske prekidne komore odgovaraju praktički za sve nazivne karakteristike distributivnih sklopnih postrojenja. Najčešće gornja granica struje kratkog spoja jest 40 kA, ali dostupne su i komore s nazivnim naponom od 15 kV za vrijednosti struje kratkog spoja od 50 kA.

## 8. ZAKLJUČAK

Danas su vakuumski prekidači izašli iz razvojnog razdoblja i postali uobičajeni i često nezamjenivi u brojnim područjima primjene. U mnogim dijelovima svijeta malouljni prekidači se koriste kao vodeći tipovi prekidača u distributivnim sistemima. Međutim, u nekoliko mjesta vakuumski prekidač je gotovo u cijelosti zamijenio malouljne prekidače. Gledajući sumarno, može se ustvrditi da vakuumski prekidači nisu zasada primjenljivi za prijenosne sisteme vrlo visokih napona. Čini se, granica promjene između vakuumskih, SF<sub>6</sub>, malouljnih i pneumatskih prekidača mogla bi se postaviti u području između 36 i 100 kV. Područje viših napona za sada pripada SF<sub>6</sub>, pneumatskim i malouljnim prekidačima. A za vakuumski prekidač sa sigurnošću možemo reći da predstavlja prekidač prvorazrednih svojstava za primjene u distributivnim elektroenergetskim sistemima.

Teorijski pogledi na pitanja prenapona s obzirom na primjenu vakuumskih prekidača nisu se promijenili.

Korisnici vakuumskih prekidnih komora s kontaktima na bazi slitina s visokim sadržajem kroma usvrđuju da nastajanje prenapona nije nikakva značajnija poteškoća. Korisnici vakuumskih prekidnih komora s kontaktima na osnovi bakra i bizmuta problem prenapona rješavaju prikladnom ugradnjom nelinearnih otpornika. Noviji metarijali od kojih se izgrađuju kontakti još djelotvornije uklanjaju poteškoće u vezi s prenaponima uzrokovanim posebnim svojstvima sklopnih pojava u vakuumskim prekidnim komorama.

## LITERATURA

- [1] SELZER, A., »Switching in vacuum: a review«, IEEE Spectrum, s. 26-37, 1971.
- [2] ŠTAHAN, I. i NAUMOVSKI, I., »Razvoj električnih sklopnih aparata s gašenjem luka u vakuumu«, Končar – stručne informacije, No. 2–3, s. 34–41, 1981.
- [3] FLURSCHEIM, C. H., »Power circuit breaker – theory and design«, Peter Peregrinus Ltd., London, 1985.
- [4] MARKULIN, M. i MILOŠEVIĆ, R., »Razvoj vakuumskih prekidača srednjeg napona«, Končar – stručne informacije, No. 3, s. 14–21, 1984.
- [5] KIMBLIN, C. W., »Arcing and interruption phenomena in ac vacuum switchgear and in dc switches subjected to magnetic field«, Proc. Loth International symposium on discharges and electrical insulation in vacuum, IEEE, s. 213–223, 1982.

- [6] ČOSIĆ-DRAGAN, A. i MILIŠA, A., »Vakuumski sklopni aparati«, Končar – stručne informacije, No. 4, s. 23–29, 1984.
- [7] REECE, M. P., u djelu navedenom pod Flurschein, C.H., 1985.
- [8] RICH, J. A. i FARRAIL, G. A., »Vacuum arc recovery phenomena«, Proc. IEE, 52, s. 1293–1301, 1964.
- [9] RONDEEL, W. G. J., »Electrode erosion and energy balance in a metal vapour arc«, Doktorska disertacija, Norveški institut za tehnologiju, 1971.
- [10] REECE, M. P., »Vacuum switching I-Rewiew of literature and scope of ERA research«, ERA report, G/XT 166, 1959.
- [11] KESAEV, I. G., »Katodni procesi u električnom luku«, Hayka, Moskva, 1968.
- [12] REECE, M. P., »Vacuum switching II – Extinction of an a. c. vacuum arc at current zero«, ERA report, G/XT 167, 1959.
- [13] REECE, M. P., »Vacuum switch and its application to power switching«, JIEE 5, s. 275–179, 1959.
- [14] MICHELL, G. R., »High-current vacuum arcs«, Proc. IEE, 117 (12), s. 2315–2332, 1970.
- [15] REECE, M. P., »The vacuum switch« Pts. 1 and 11, Proc IEE, 110, s. 793–811, 1963.
- [16] GOODWIN, A., REECE, M. P. i SMITHERS, B. W., »A preliminary study of direct current interruption by vacuum switches, using the artificial current zero injection method«, Report UR: CON, HAR, EMR/1085, 1960.
- [17] LEE, T. H., GREENWOOD, A., CROUCH, D. W. i TIUS, C. H., »Development of power vacuum interrupters« AIEE Winter General Meeting, paper 62–151, 1962.
- [18] REECE, M. P. »A review of the development of the vacuum interrupter«, Phil. Trans. R. Soc., 275, s. 121–129, 1973.
- [19] WATANABE, H. et al., »New technology for vacuum circuit breakers«, Hitachi Review, No. 3, s. 147-150, 1984.
- [20] ITOH, MURAI, OKHURA i TAKAMI, »Voltage escalation in the switching of the motor control circuit by the vacuum contactor«, IEEE Winter Meeting, New York, paper T 72 053–2, 1972.
- [21] BOEHME, E. W. i LOW, S. S., »Shunt capacitor energization with vacuum interrupters-A possible source of overvoltage«, IEEE Trans., PAS-90, s. 1424., 1969.

#### VACUUM BREAKER

In the article are presented physical phenomena in the vacuum arc. It is explained a generation of diffused arc, the cathode spots and changing of diffuse arc to concentric one. Discussed are also some questions about breaking power of vacuum breaker and about zero current phenomena in vacuum. It is also presented a review of base vacuum breaker characteristics as well as relation between arc phenomena and contact construction. It is stressed a choice of suitable alloys for contact construction as well as specific characteristics of vacuum breakers in various operating conditions.

#### VAKUUMAUSCHALTER

Im Artikel gibt man eine Übersicht der wichtigsten physikalischen Erscheinungen im Vakuumbogen. Man erklärt die Entstehung des diffusen Boges der Kathodenflecke und den Übergang des diffusen Bogens in den konzentrierten. Weiter spricht man über Fragen in Verbindung mit dem Kraftverlust des Vakuumausschalters und der Entstehung der Stromnull im Vakuum. Hier gibt man die Grundaufführungen der Vakuumausschalter und der Verbindung zwischen Bogenerscheinungen und Kontaktkonstruktionen. Man spricht über die Grundfragen bezüglich der Auswahl der günstigsten Leguren aus denen die Kontakte der Vakuumschalter gebaut werden wie auch über die Besonderheiten der Wirkung der Vakuumausschalter unter verschiedenen Bedingungen des Netzes.

#### ВАКУУМНЫЙ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬ

В статье приводятся самые важные физические явления в вакуумной дуге. Объясняется возникновение диффузной дуги, катодных пятен и переход диффузной дуги в концентрированную. Далее обсуждаются вопросы, связанные со способностью замыкания вакуумного выключателя и возникновением нуля тока в вакууме. Представлен обзор основных выполнений вакуумных выключателей и взаимности дуговых явлений и конструкции контактов. Обращается внимание на основные вопросы в связи с выбором наиболее пригодных сплавов для сооружения контактов вакуумных выключателей, а также и на специфику действия вакуумного выключателя под разными условиями сети.

Naslov pisca:

**Prof. dr. Rusmir  
Mahmutćehajić, dipl. inž.  
Studij elektrotehnike  
54000 Osijek, Istarska 3  
Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis  
1989-12-19

# VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

## PLAN IZGRADNJE ELEKTROENERGETSKIH OBJEKATA ZA 1990. GODINU

Zejednička skupština RSIZ-a i ZEOH-a usvojila je »Plan izgradnje elektroenergetskih objekata za 1990. godinu u Hrvatskoj«. Sredstva za financiranje razvoja i izgradnje objekata proizvodnje i prijenosa u 1990. godini planirana su na razini ostvarenog programa 1989. godine, tj. u iznosu otprilike 100 milijuna USA dolara. Tim sredstvima pokriva se tek trećina potrebnih ulaganja u 1990. godini za objekte koji su u izgradnji i nekoliko najnužnijih novih objekata proizvodnje i prijenosa. Sredstva za financiranje razvoja i izgradnje u djelatnosti proizvodnje i prijenosa sastoji se od udruženih sredstava potrošača električne energije i sredstava ino-kredita.

Ovim planom iz sredstava amortizacije financirat će se samo zamjene u iznosu otprilike 30 milijuna dinara, kao i nabava sitnog inventara.

### Radovi u 1990. godini

Planom izgradnje za 1990. godinu izkazana su ulaganja za:

- studijsko istražne i projektne radove,
- objekte proizvodnje,
- objekte prijenosa,
- objekte tehničkog sistema upravljanja i
- objekte distributivne mreže.

### Studijsko istražni i projektni radovi

Za studijsko-istražne radove proizvodnje i prijenosa te zajedničke SIP radove distribucije u 1990. godini predviđena su ulaganja u iznosu 21,6 milijuna dinara, odnosno izraženo u dolarskoj protuvrijednosti 2,0 milijuna USA dolara.

Iz tih sredstava financirat će se uglavnom radovi u kontinuitetu. To su nastavak tema započeti u 1989. godini u sklopu četiri usvojena makroprojekta, zatim na pripremi izgradnje novih objekata — samo radovi u sklopu studija utjecaja na okolinu i podloge za utvrđivanje uvjeta uređenja prostora i formiranje banke hidroloških podataka po radnim organizacijama. Od novih radova pokrenut će se tri nova makroprojekta, koji imaju vitalno značenje za funkcioniranje elektroenergetskog sistema i nije moguće njihovo daljnje odlaganje, to su: problemi razvoja i eksploatacije telekomunikacijskog sistema ZEOH-a, ostatna životna dob i revitalizacija termoenergetskih postrojenja i tehnički sistem upravljanja.

### Objekti proizvodnje

Za objekte proizvodnje u 1990. godini planirana su ukupna ulaganja u iznosu 812,455 milijuna dinara, i to za:

- ulaganja za koje je investitor ZEOH  
54,114 milijuna dinara
- ulaganja u objekte koji se grade u  
sklopu radnih organizacija 758,341 milijuna dinara

Glavnina financijskih sredstava iz Plana izgradnje za 1990. godinu namijenjena su izgradnji TE Plomin 2. Predviđenim ulaganjima omogućio bi se kontinuitet radova prema usvojenom dinamičnom planu izgradnje, tako da bi objekt bio završen potkraj 1991. godine.

Tim sredstvima financirat će se nadalje nužno potrebne rekonstrukcije i modernizacija postojećih proizvodnih objekata u funkciji pogonske spremnosti.

Sufinancirat će se prethodni radovi za odlagalište radioaktivnog otpada NE Krško, i zaokružiti financijska kontrakcija za modifikaciju sistema demineralizirane i dekarbonizirane vode.

Predviđena ulaganja za objekte HE Đale, HE Dubrava i HE Orlovac-akumulacija B. Blato, HE Kraljevac — biološki minimum i TE Sisak — pomoćna kotlovnica, namijenjena su za financiranje dijela već obavljenih radova i drugih preostalih obaveza.

### Objekti prijenosne mreže

U objekte prijenosne mreže u 1990. godini predviđena su ukupna ulaganja u iznosu 153,516 milijuna dinara.

Tim sredstvima financirat će se:

- rekonstrukcije i modernizacije objekata prijenosne mreže
- studijsko-istražni i projektni radovi objekata prijenosne mreže
- završni obračuni i radovi na objektima koji su u završnoj fazi izgradnje i
- početak izgradnje DV 400 kV Melina-Tumbri.

Zbog nedostatka sredstva u 1990. godini ne predviđa se izgradnja nijednog novog objekta 110 kV prijenosne mreže, a financiraju se samo završni objekti za koje nisu izvršena sva plaćanja, koji su u odmakloj fazi izgradnje i trebaju biti u funkciji do početka turističke sezone 1990. godine.

### Ulaganja za objekte tehničkog sistema upravljanja

Predviđenim ulaganjem za tehnički sistem (TSU) nastavlja se radovi na izgradnji objekta TSU u Hrvatskoj i sufinanciranju izgradnje saveznog dispečerskog centra (SDC).

### Ulaganja u djelatnosti distribucije — globalni plan izgradnje

Ukupna ulaganja u razvoj i izgradnju distributivne mreže u globalnom planu izgradnje za 1990. godinu planiraju se u iznosu od približno 320 milijuna dinara. Izvori financiranja za potrebnu izgradnju osiguravaju se iz vlastite amortizacije, i od kredita i ostalih sredstava. Pritom treba imati na umu da distributivne organizacije uglavnom ne uzimaju kredite, nego ostala sredstva prikupljaju iz samodoprinosa građana i iz drugih oblika doprinosa.

Ulaganja za djelatnost distribucije iz udruženih sredstava svedena su u iznesenom planu samo na sredstva za ulaganja u objekte distributivne mreže na privredno nedovoljno razvijenim područjima. Zbog ograničenih sredstava planirana su ulaganja samo za one objekte koji su u izgradnji a koja zbog velike inflacije nije bilo moguće dovršiti s predviđenim sredstvima. U te objekte uložiti će se 9,3 milijuna dinara.

Za realizaciju Zajedničkog plana izgradnje za 1990. godinu sa planiranim sredstvima prihvaćena su ova ulaganja:

- |   |                     |
|---|---------------------|
| — proizvodnja, prijenos i TSU                           | 1 270,7 mil. dinara |
| — globalna distribucija                                 | 310,0 mil. dinara   |
| — objekti na privredno nedovoljno razvijenim područjima | 9,3 mil. dinara     |

---

Ukupno	1 590,0 milij. dinara
--------	-----------------------

I. R.

## REKONSTRUKCIJA HE FALA

Investitor »Mariborske elektrane« u Mariboru programirao je izvesti temeljitu rekonstrukciju hidroelektrane »Fala« koja se ubraja među starije elektrane na Dravi. HE-»Fala« sa sedam malih agregata, na lijevoj obali Drave, ukupne snage 34 MW, s protokom 350 m<sup>3</sup>/s skromne je snage. Još 1977. godine proširena je dodatnim agregatom 18 MW.

Planirano je da se dotrajali mali agregati zamijene s dva suvremena agregata, instalirane snage 2 x 20 MW na desnoj obali Drave, u novoj strojarnici. Istovremeno se zamjenjuje i rekonstruira hidromehanička oprema postojećeg zagata. Obnova ove dravske hidroelektrane u posljednje vrijeme vrlo dobro napreduje.

Glavni dio građevinskih radova je u završnoj fazi, a istovremeno se obavljaju montažni poslovi. Investitor je izradu opreme povjerio domaćim proizvođačima strojogradnje i elektroindustrije.

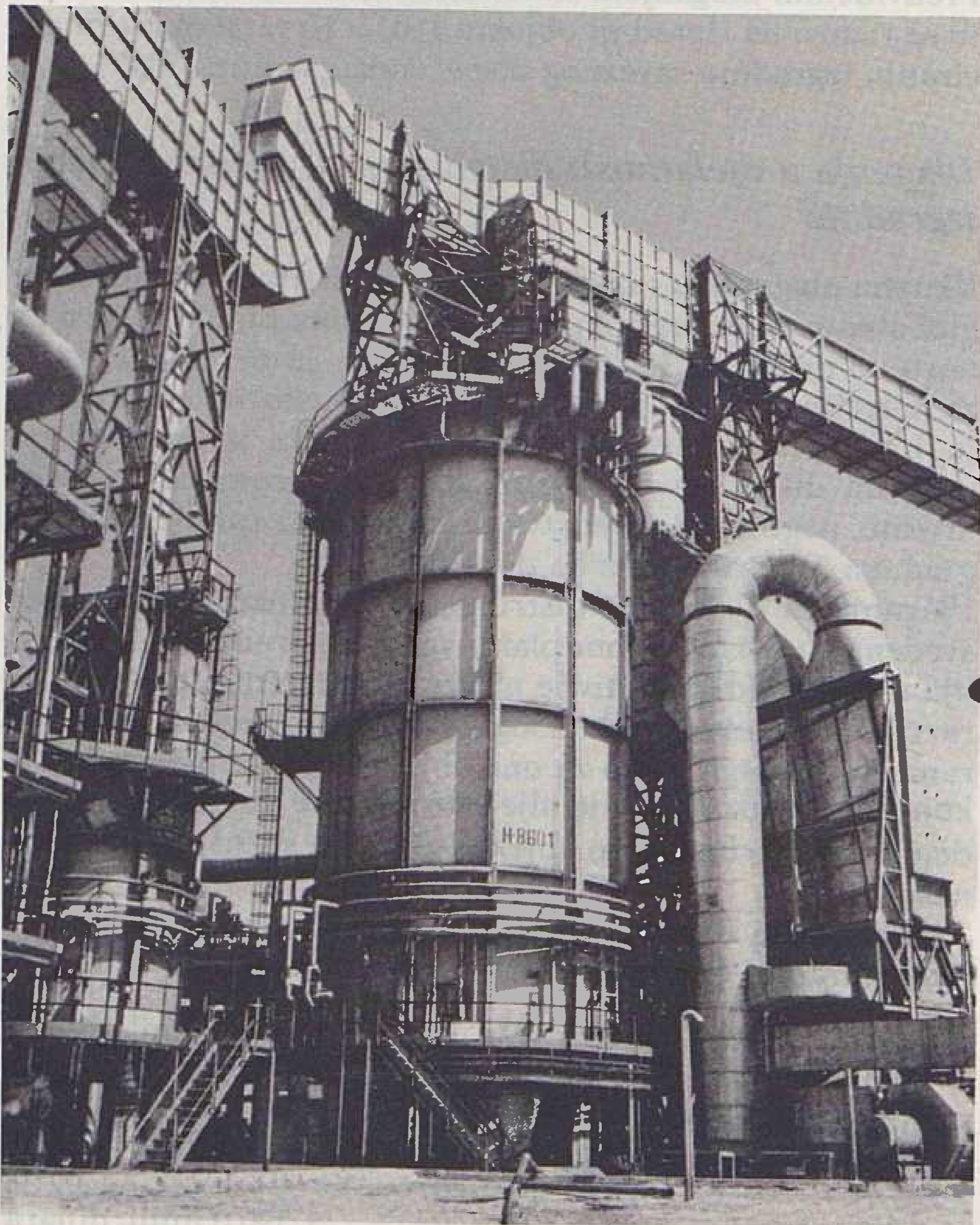
Generatore isporučuje tvornica »Rade Končar«, Zagreb, turbine »Litostroj« a hidromehaničku opremu »Metalna«, Maribor. Projektnu dokumentaciju izradili su stručnjaci IB »Elektroprojekt« iz Ljubljane (grupa Maribor), a građevne radove izvodi poduzeće »Gradis«.

U uvjetima redovnog financiranja dva nova agregata 2 x 25 MVA bit će u radu potkraj 1990. godine.

I. R.

## PROIZVODNJA I POTROŠNJA NAFTE I PLINA U 1990. GODINI

Energetskom bilancom Jugoslavije za 1990. godinu utvrđene su količine proizvodnje i potrošnje nafte i prirodnog plina. Proizvodnja nafte u 1990. godini ocijenjena je na osnovi mogućnosti proizvodnje u zemlji i proizvodnje u kooperaci-



Pogled na Rafineriju nafte — Sisak

ji s inozemnim partnerima. Na osnovi toga planirana je proizvodnja 4 250 tisuća tona nafte, i to: 3 850 tisuća tona u Jugoslaviji i 400 tisuća u Angoli.

Za podmirenje ukupne potrošnje tekućih goriva u 1990. planira se uvoz 10 545 tisuća tona nafte, što je za 2,4 posto manje od uvoza nafte ostvarene 1989. godine.

Trend potrošnje nafte kontinuirano opada tako u 1989. godini pad potrošnje nafte iznosi oko 4 posto u odnosu na predviđene količine za 1990. godinu. Budući da se u 1990. godinu ulazi s negativnim pokazateljima rasta društvenog proizvoda i industrijske proizvodnje, ocjenjuje se da će ove restriktivne mjere u privredi najviše utjecati na potrošnju uvozne energije.

Uz domaću proizvodnju i uvoz nafte predviđa se i uvoz 1,0 milijuna tona naftnih derivata, kojim će se poravnati rokovi potrošnje i proizvodnje u dijelu energetske i neenergetske potrošnje. Prioritet u korištenju ovih derivata imat će korisnici s većom valorizacijom krajnjih proizvoda.

Od predviđenog uvoza derivata nafte najveće količine odnose se na motorni i primarni benzin (310 tisuća tona), te mazut i mlazno gorivo (600 tisuća tona).

Preradom 14,79 milijuna domaće i uvozne nafte i s uvozom 1,0 milijuna derivata osigurat će se 14,5 milijuna naftnih derivata za podmirenje brutopotrošnje ili 14,3 milijuna tona za netopotrošnju na domaćem tržištu. Ocjenjuje se da se ovom količinom i strukturom naftnih derivata u cijelosti osiguravaju potrebe domaćeg tržišta u dijelu energetske i neenergetske potrošnje.

Struktura potrošnje derivata nafte prilagođena je zahtjevima domaćeg tržišta i industrije koja koristi tekuća goriva kao osnovnu sirovinu.

## Prirodni plin

Više godina potrošnja prirodnog plina ne ostvaruje se u skladu sa zahtjevima i potrebama potrošača predividenima na početku planskog razdoblja. Ovakvo stanje bilo je posljedica nedovoljno izgrađene distributivne mreže plinovoda čija je izgradnja u posljednje vrijeme intenzivirana. S obzirom na naše dugoročno opredjeljenje da intenzivnije uvodimo plin u energetske sistem Jugoslavije, donosen je Zakon o odobravanju kredita za izgradnju kapaciteta plinovodne mreže kroz Jugoslaviju kojim će se ovi nedostaci praktično riješiti. Na povećanje potrošnje i povlačenje plina trenutno utječe i propusna moć magistralnog plinovoda, kao i ograničene mogućnosti skladištenja prirodnog plina u zemlji. Za 1990. godinu planirana se proizvodnja prirodnog plina od 2,9 milijarde m<sup>3</sup> (što je za 1,5 posto više od proizvodnje u 1989. godini).

Za domaće potrebe treba osigurati oko 4,9 milijardi m<sup>3</sup> iz uvoza. Ukupna potrošnja prirodnog plina za energetske potrošnje iznosit će 6,6 milijarde m<sup>3</sup>, a potrošnja prirodnog plina kao industrijske sirovine oko 1,2 milijarde m<sup>3</sup>. Ukupna potrošnja prirodnog plina za energetske i neenergetske namjene u 1990. godini iznosit će 7,8 milijardi m<sup>3</sup>. Udio domaćeg plina u ukupnoj potrošnji prirodnog plina iznosi 37,2 posto, a uvoznog 62,8 posto ukupne potrošnje.

I. R.

## GORIVO ZA TERMOELEKTRANE

Za realizaciju elektroenergetske bilance jugoslavenske elektroprivrede za 1990. godinu utvrđene su sljedeće potrebe goriva i deviznih sredstava:

- 66,9 milijuna tona uglja, od čega se 3 posto odnosi na potrebe toplifikacije, proizvodnje industrijske pare i sl.
- 806,6 tisuća tona tekućega goriva, od čega 616,6 tisuća tona za proizvodnju električne energije i 190 tisuća tona za

potpalu i podršku vatre u kotlovima termoelektrana na ugljen

- 735 milijuna Nm<sup>3</sup> prirodnog plina
- 80 milijuna Nm<sup>3</sup> koksnog plina za potrebe TE Rijeka
- 16 tona obogaćenog urana UD za izmjenu dijela goriva elemenata u NE Krško.

Za potrebe jugoslavenske elektroprivrede u 1990. godini treba osigurati ova devizna sredstva:

- 149,9 milijuna US dolara za nabavu rezervnih dijelova i repromaterijala
- 10,2 milijuna US dolara za nabavu i oplemenjivanje nuklearnog goriva za rad NE Krško;
- oko 30 milijuna US dolara za uvoz električne energije u razdoblju kada u jugoslavenskom elektroenergetskom sistemu budu postojale potrebe i interes za uvozom električne energije.

I. R.

## REZULTATI OSTVARENJA ELEKTROENERGETSKE BILANCE HRVATSKE U 1989. GODINI

Plan potrošnje, proizvodnje i nabave električne energije za 1989. godinu (elektroenergetske bilance) utvrdile su Skupštine RSIZ-a potrošača električne energije i Skupština ZE-OH-a na sjednici održanoj u prosincu 1988. godine.

Ostvarenje plana osnovnih veličina elektroenergetske bilance na mreži prijenosa u 1989. godini:

	-GWh-		
Potrebe električne energije	Plan	Ostvar.	%
potrošači distribucije	11 862	11 516	97,1
direktni potrošači	1 156	1 098,9	95,0
specijalni potrošači	1 975	1 806,9	91,5
gubici prijenosa	532	527,2	99,1
Ukupna potrošnja	15 525	14 949,6	96,3
vraćanje duga	80	135,6	169,3
Sveukupne potrebe	15 605	15 085,2	96,7
<i>Raspoloživa električna energija</i>			
proizvodnja HE	5 621	4 053,3	72,1
proizvodnja TE (ugljen)	533	172,7	32,4
proizvodnja toplana	626	534,2	85,3
TE na tekuće gorivo i koksnii plin	2 175	2 238,1	102,0
NE Krško za ZEOH	1 985	2 227,7	112,2
TE plinske	0	218,7	—
TE u drugim republikama	3 455	3 342,6	96,7
dodatna nabava u zemlji	0	1 034,1	—
dodatna nabava u inozemstvu	0	1 263,8	—
Ukupno raspoloživo	14 415	15 085,2	104,7
Nepodmirene potrebe	- 1 190	0,0	0,0

### Osvrt na elektroenergetske prilike u 1989. godini

Prema ostvarenju osnovnih veličina elektroenergetske bilance vidljivo je da su u 1989. godini podmirene sve potrebe za električnom energijom na prijenosnoj mreži.

Ukupna potrošnja električne energije ostvarena je sa 96,3 posto od planiranih potreba. Potrošači distribucije ostvarili su plan potreba na mreži prijenosa sa 97,1 posto, direktni potrošači sa 95,0 posto a specijalni sa 91,5 posto.

Ostvarenje gubitka na prenosnoj mreži bilo je za 0,9 posto manje od plana. U usporedbi sa 1988. godinom ukupne potrošnje električne energije u 1989. godini bilo je samo za 0,3 posto više.

Primijenjena su ograničenja u isporuci električne energije specijalnim potrošačima.

Specijalni potrošači ostvarili su zadana ograničenja smanjenom potrošnjom i većim dijelom kupnjom električne energije putem ZEOH-a, na temelju posebnih ugovora sklopljenih između ZEOH-a i specijalnih potrošača. Ukupna potrošnja električne energije na mreži prijenosa ostvarena je za 575,4 GWh niže od plana, većim dijelom zahvaljujući toplijim zimskim mjesecima u kojima su odstupanja od plana potreba bila izraženija.

Manja proizvodnja hidroelektrana u odnosu na plan za 1 567,7 GWh i manje isporuke iz termoelektrana izgrađenim u drugim republikama za 112,4 GWh kompenzirani su dodatnom nabavom električne energije u zemlji i iz inozemstva.

U 1989. godini ušlo se s podbačajem plana akumulacije od 113,4 GWh. Izričito nepovoljne hidrološke prilike u prvih pet mjeseci rezultirale su da je u toku cijele godine sadržaj u akumulacijama bio ispod planiranog. Povoljnija hidrološka situacija u ljetnim mjesecima dijelom je poboljšala elektroenergetske prilike i omogućila da je uoči zimskog razdoblja ostvarena energetska vrijednost akumulacije na nivou 80 posto plana.

Kupnja električne energije u 1989. godini iznosila je 1965,3 GWh, i to u zemlji 972,7 GWh i iz inozemstva 992,6 GWh.

U prvom tromjesečju vraćen je ukupan dug električne energije Austriji i Švicarskoj iz 1987. i Italiji iz 1988. godine.

U kolovozu, rujnu i dijelu listopada obavljeno je preuzimanje električne energije iz Italije po naturalnoj razmjeni ljeta 1989. zima 1990. godine. Ukupno je preuzeto 176,4 GWh.

Električna energija iz Italije preuzimana je zbog potreba osiguranja pogonske stabilnosti sistema nakon izlaska NE Krško radi remonta, kvara u TE Plomin i potrebe očuvanja akumulacije za zimsko razdoblje. Ostvarenim većim količinama raspoloživog zemnog plina za 236,7 milijuna m<sup>3</sup> nadomještene su potrebe za tekućim gorivom u iznosu od približno 198 000 tona.

Potkraj godine ostvarene su zalihe ugljena na deponiju TE Plomin od 242 879 tona, odnosno one su bile za 189 179 tona iznad planiranih. To je rezultat havarije generatora 19. II. 1989. Od 21. X. 1989. učinjeni su pokušaji rada TE Plomin, no značajnija proizvodnja ostvarena je tek u studenom i prosincu. Treba reći da su politikom čuvanja akumulacije i dodatnom nabavom električne energije u zemlji i iz inozemstva podmirene ukupne potrebe za električnom energijom na mreži prijenosa. U godini 1989. nije bilo primjene mjera ograničenja u isporuci električne energije potrošačima.

I. R.

### REMONT NA ELEKTRANAMA

Plan remonta na elektranama obavljen je u sklopu planiranih radova utvrđenih »Elektroenergetskom bilancom Hrvatske za 1989. godinu«. Od većih remontskih zahvata treba spomenuti remont u NE Krško (izmjena goriva) koji je obavljen od 1. rujna do 17. listopada 1989. Remont i rekonstrukcija kotla u TE Gacko obavljeni su od 25. srpnja do 17. studenog. U TE Gacko se nakon završene rekonstrukcije kotla započelo s normativnim ispitivanjem i podešavanjem kotla i opreme vezane za rad kotla, koje će, kako je predviđeno, trajati do kraja travnja 1990.

Zbog čestih kvarova i rekonstrukcije kotla potrošačima u Hrvatskoj isporučeno je samo 296 GWh umjesto planiranih 409,0 GWh, što je 72 posto od plana.

Od većih kvarova na elektranama u 1989. godini najznačajniji su:

- kvar u TE Plomin (93 MW) 19. veljače 1989.
- kvar u RHE Obrovac na agregatu 1. do 6. listopada 1989.
- kvar u HE Senj na agregatu 1 (72 MW) od 1. lipnja 1989.

TE Plomin imala je veći kvar u razdoblju od 19. veljače do 5. rujna, kad je zbog proboja namotaja oštećen generator, pa se morao zamijeniti novim. Drugi veći zastoj bio je od 9. rujna do 20. listopada, kada je došlo do višestrukog pucanja nosećih cijevi predisparivača i dodatnih oštećenja u kotlu. Od 29. listopada prošle godine TE Plomin je ponovno u pogonu, a značajnija proizvodnja ostvarena je u studenom i prosincu.

Zbog kvara na spojevima namota polova rotora na agregatu 1 RHE Obrovac on nije bio u pogonu od 6. listopada 1989.

Zbog kvara na statoru i ugradnje rezervnog statora na agregatu 1 HE Senj zastoj je trajao od 1. lipnja do 15. prosinca 1989.

U vremenu do 10. do 21. listopada izvršena je revizija agregata 2, HE Senj a od 13. do 23. studenog revizija agregata 3. Zbog remonta Inine Rafinerije u Rijeci, tj. zbog nemogućnosti prekrcaja goriva, TE Rijeka je bila izvan pogona od 27. listopada iako je pogonski bila spremna. Zbog nemogućnosti rada TE Rijeka u studenom i prosincu zantno je smanjena sigurnost pogona elektroenergetskog sustava.

I. R.

## SAVJETOVANJA I KONFERENCIJE

### SASTANAK MEĐUNARODNOG STUDIJSKOG KOMITETA SC 22 ZA NADZEMNE VODOVE CIGRE PARIS U SARAJEVU 8. – 13. listopada 1989

Sastanak međunarodnog studijskog komiteta SC 22 za nadzemne vodove (CIGRE Paris: SC 22 Overhead Lines), uz veliko međunarodno učešće vrhunskih stručnjaka s područja dalekovodne tehnike, prvi put je organiziran u Jugoslaviji, i to u Sarajevu, od 8. do 13. listopada 1989. nakon oprežnih i brižljivih priprema.

Toj međunarodnoj konferenciji prisustvovao je osim stručnjaka iz 26 zemalja (ukupno 97 sudionika) sa svih kontinenta i veći broj jugoslavenskih stručnjaka koji se bave dalekovodnom problematikom. Susret je protekao u vrlo ugodnoj atmosferi i ambijentu, uz veliko gostoprimstvo sarajevskog »Energoinvesta« i Elektroprivrede BiH te organizatora jugoslavenskog komiteta 22 za nadzemne vodove JUKO CIGRE.

U sklopu tog međunarodnog komiteta bio je organiziran i susret brojnih radnih grupa (Working group) za uža stručna područja:

- WG 22.03: Izolacija
- WG 22.06: Mehanička pouzdanost dalekovoda
- WG 22.07: Temelji
- WG 22.08: Stupovi
- WG 22.09: Projektiranje dalekovoda
- WG 22.11: Mehaničko ponašanje provodnika
- WG 22.12: Električno ponašanje provodnika.

U radu navedenih radnih grupa sudjelovali su svjetski eksperti za pojedina područja, a brojni naši stručnjaci aktivno su sudjelovali u radu grupa. S izuzetno velikim interesom primljena je stručna rasprava na posebno organiziranoj otvorenoj konferenciji o aktivnostima jugoslavenskog studijskog komiteta 22 JUKO CIGRE (Transmission Lines Open Conference) s područja nadzemnih vodova. Otvorenu konferenciju pratilo je osim 97 inozemskih stručnjaka i više od 50 jugoslavenskih stručnjaka koji se bave problematikom dalekovoda.

Za otvorenu konferenciju jugoslavenski komitet 22 CIGRE pripremio je posebnu ediciju stručnih referata na engles-

kom jeziku, koji su bili raspoređeni u 6 grupa. Ti stručni referati naših stručnjaka (ukupno 20 referata) bili su razrađeni na XIX. savjetovanju elektroenergetičara JUKO CIGRE na Bledu u svibnju 1989. godine.

Program rada međunarodnog studijskog komiteta bio je dosta opsežan i obuhvaćao je:

- rad radnih grupa
- sastanak međunarodnog komiteta CIGRE — SC 22, nadzemni vodovi
- Otvorena konferencija o aktivnostima SK 22 JUKO CIGRE
- administrativni sastanak SC 22 CIGRE Paris.

Sastanak je formalno otvoren pozdravnima govorom predsjednika organizacionog odbora Dragutina Kosovca u prostorijama Elektroprivrede BiH. Slijedio je pozdravni govor dr. Jove Mandića, predsjednika jugoslavenskog komiteta JUKO CIGRE, g. Schjetne, predsjednika međunarodnog komiteta 22 CIGRE Paris, zatim govor dr. Lazara Ljubiše o razvoju i funkcioniranju elektroenergetskog sistema Jugoslavije i govor Čedomira Guzine, direktora Energoinvest — Inženjeringa za dalekovode, na temu razvoja elektroindustrije za potrebe prijenosa električne energije u Jugoslaviji. Prisutnima je prikazan i najnoviji film o izgradnji 400 kV mreže »Nikola Tesla« Jugoslavije.

### Grupa za proučavanje galopiranja na dalekovodima

U sklopu ovog međunarodnog studijskog komiteta bio je organiziran poseban sastanak međunarodne radne grupe za galopiranje na dalekovodima, i to u organizaciji poduzeća DALEKOVOD iz Zagreba i Elektroprenosa iz Opatije. Razlog što je taj sastanak (CIGRE SC 22: WG 11 TF on Galloping) bio organiziran u Opatiji jest taj što je na dnevnom redu osim redovitog sastanka međunarodne radne grupe (koji se obavlja obično jedanput godišnje) bilo i razgledavanje eksperimentalnog poligona na dalekovodu 400 kV Melina — Obrovac na Velebitu. Zbog niza interesantnih detalja i izvanredne prilike da brojni naši stručnjaci prisustvuju tom međunarodnom simpoziju najjemenitnijih svjetskih stručnjaka za problematiku galopiranja na visokonapon-



skim dalekovodima dat ćemo još nekoliko podataka o toj temi.

Problematika mehaničkih oscilacija na dalekovodima i galopiranje provodnika primjetno je prisutna i na našim dalekovodima, naročito u primorskom području. Na inicijativu Dalekovoda iz Zagreba i Elektroprenosa iz Opatije na Velebitu je na nadmorski visini 1000 m, u sklopu dalekovoda 400 kV Melina — Obrovac, izgrađen poseban pokusni poligon za proučavanje pojave galopiranja s nizom primjenjivanih sistema za zaštitu dalekovoda od posljedica galopiranja provodnika odnosno za eliminaciju te pojave. Na sastanku u Opatiji svoja zapažanja i iskustva, analize, rezultate obavljenih mjerenja i preporuke za daljnji rad studije, istraživanja, promatranje i mjerenja dali su najistaknutiji svjetski eksperti (21 stručnjak) iz 13 zemalja svijeta. Za taj sastanak međunarodne grupe za galopiranje provodnika WG — 11 bio je pripremljen poseban zbornik radova na ovu temu (ukupno 10 stručnih referata), čiji su autori najistaknutiji svjetski stručnjaci za ovo područje.

Posebno treba istaći i značajan doprinos naših domaćih stručnjaka iz Dalekovoda, koji su tom prilikom prezentirali svoj stručni referat o dosadašnjim iskustvima o pojavi galopiranja na dalekovodima visokog napona u Jugoslaviji i o dosadašnjim rezultatima brojnih obavljenih mjerenja i istraživanja tog fenomena na spomenutom pokusnom terenskom poligonu na Velebitu. Nakon prezentacije slijedila je izuzetno bogata stručna diskusija ovoj problematici. Strani stručnjaci odali su posebno priznanje našim stručnjacima za stručne izvedbe i dostignute rezultate na tom području. Iz brojnih analiza, predloženih referata i prikaza izuzetno zanimljivih filmova o pojavi galopiranja s katastrofalnim posljedicama može se ocijeniti da najviše informacija pa i konkretnih problema o tome imaju Kanadani i Amerikanci. Inače je ova pojava vrlo česta na svim kontinentima. Nažalost, još uvijek nema pouzdanog rješenja za uspješnu borbu protiv izuzetno neugodnih posljedica ove pojave na visokonaponskim dalekovodima.

Za sve sudionike tog simpozij 7. listopada 1989. bio je predviđen za terenski obilazak pokusnog poligona na Velebitu iznad Senja, gdje vladaju vrlo ekstremni klimatski uvjeti s jakim vjetrom (bura) i zimskim dodatnim opterećenjem (snijeg, poledica, led). U rasponu broj 67 — 68 — 69 dalekovoda 400 kV Melina — Obrovac montirano je na snopastim vodičima dalekovoda šest različitih zaštitnih sistema protiv pojave galopiranja. Sva zbivanja na svim sistemima automatski se registriraju putem posebnih senzora i naprava pomoću mikroracunara. Stručnjaci Dalekovoda raspolažu rezultatima dvogodišnjih mjerenja i istraživanja, koji su bili prezentirani i analizirani u već spomenutom referatu.

Za uspješno obavljeni rad i prezentaciju svih rezultata, kao i velik doprinos u rješavanju kompleksne problematike pojave galopiranja u svijetu, prisutni svjetski stručnjaci udijelili su mnogo pohvala našim stručnjacima — istraživačima sa željama za daljnji uspješan rad i istraživanja na tom području. Evidentno je da taj problem u svijetu još uvijek nije dokraja ispitan, pa je ocijenjeno da istraživanja naših stručnjaka predstavljaju značajan doprinos za razjašnjenje te pojave u svjetskim razmjerima.

Sastanku i prezentaciji dobivenih rezultata s terenskog pokusnog poligona na Velebitu prisustvovali su s odgovarajućom opremom i svi poznati svjetski proizvođači opreme za suzbijanje galopiranja.

Jednoglasan zaključak bio je da je nastup naših stručnjaka na međunarodnoj sceni bio vrlo uspješan i da će se ova suradnja produbiti, jer znanje nema granica.

## **Radna grupa WG 22.09 za projektiranje dalekovoda**

U radnoj grupi WG 22.09 za projektiranje moglo se u svim obrađenim temama i diskusijama svjetskih eksperata uočiti da je optimizacija u planiranju, projektiranju i izgradnji dalekovoda, jedan od temeljnih zahtjeva suvremenog prijenosa električne energije na velike udaljenosti, itekako aktualna. Osnova za diskusiju ovoj je radnoj grupi poslužio materijal pod naslovom »Troškovi visokonaponskih vodova u zavisnosti od njihovih parametara«. U materijalima su, između ostalog, tabelarno dani rezultati ankete iz 35 zemalja širom svijeta i prikazani prosječni troškovi izgradnje dalekovoda koji su izraženi u postocima. Tako su dalekovodi razvrstani prema naponskom nivou (do 150 kV, od 150 — 300 kV i iznad 300 kV), prema broju sistema, tipu i broju vodiča i po dužini dalekovoda (kratki, dugi). Troškovi su prikazivani prema pojedinim komponentama dalekovoda, dan je razmjer između upotrijebljenog materijala i ostalih troškova gradnje, i to sa točnošću na stotinku. Veći dio materijala obuhvaća optimizaciju pojedinih komponenata dalekovoda. Na taj način prikazan je izbor provodnika u odnosu na materijal i presjek u zavisnosti od životnih troškova vodiča, utjecaj broja vodiča u snopu na troškove dalekovoda (odvojeno i utjecaj na masu stupova i cijenu temelja), kao i utjecaj naprezanja vodiča na cjelokupne troškove dalekovoda. U materijalu je obrađen i utjecaj udaljenosti glave stupova na njihovu masu i troškove dalekovoda.

Kao zanimljivost dodajemo da je ova tema bila obrađena i prezentirana još 1988. godine na sastanku CIGRE u Parizu. Konkretni rezultat tih razmatranja je izgradnja prvog dalekovoda 400 kV u Jugoslaviji sa smanjenim dimenzijama između Tuzle i Višegrada.

Posebno poglavlje bilo je posvećeno optimizaciji stupova s obzirom na razne tipove odnosno familije stupova u skladu s uvjetima opterećenja, koja se preporučuje prema publikacijama IEC »Opterećenja i naponi visokonaponskih prijenosnih vodova«. Pritome je bio istraživani utjecaj razmjera broja nosnih i zateznih stupova na trasama dalekovoda u odnosu na ukupne troškove dalekovoda. Sva ta istraživanja bila su svestrana, precizna i kompleksna. U prilog tome govori i istraživanje utjecaja gromobranskih zaštitnih užeta (broj užeta i zaštitni ugao) na cjelokupne troškove izgradnje dalekovoda.

## **Radna grupa WG 22-12 električno ponašanje vodiča**

U radnoj grupi WG 22-12 — električni problemi provodnika — razmatrani su brojni aspekti s obzirom na starenje vodiča. Naročito je problematična korozija čelične jezgre u kombiniranim aluminijskim provodnicima, odnosno užeta u daljnjem pogonskom razdoblju i u različitoj zagađenosti atmosfere.

Posebno mjesto ima termičko opterećenje provodnika. Istraživanja s tog područja vrlo su kompleksna i skupa. Pritome se radi brojnih drugih problema provode i istraživanja, koja su povezana s mehaničkim popuštanjem dalekovodnih vodiča i promjenom modula elastičnosti vodiča u zavisnosti od termičkog stanja vodiča uključujući i problem rastezanja vodiča i promjene modula elastičnosti vodiča u zavisnosti od termičkog stanja vodiča uključujući i problem rastezanja vodiča u tim uvjetima (creep rate). Trenutno je u razvojnoj i studijskoj fazi najaktualnija problematika razrade dopustive termičke opteretivosti provodnika za nadzemne vodove u stacionarnom i dinamičkom stanju (conductor temperature, conductor annealing, dynamic ampacity) i studij stanja provodnika u uvjetima kratkih spojeva (short circuit effects). Pritome se teži postavljanju graničnih uvjeta opterećenja provodnika, utvrđivanju definicija i odgovarajućih metoda (statistične, probabilistične i sl.). S

punom sigurnošću možemo tvrditi da u problematici termičkog opterećivanja provodnika ima niz još neriješenih pitanja, koja nisu još sva razjašnjena ni raščišćena. To će ubuduće biti jedna od glavnih studijskih i istraživačkih tema i predmet opsežnih rasprava na međunarodnim stručnim konferencijama i simpozijima (npr. CIGRE Paris, IEC preko svojih tehničkih odbora i stručnih grupa, koja se bave isključivo problematikom golih vodiča za nadzemne električne vodove itd). Možemo spomenuti i to da se i u nas intenzivno proučavaju ti problemi u skladu s materijalnim i financijskim mogućnostima.

### **Plenarno zasjedanje međunarodnog komiteta SC-22**

Na plenarnom zasjedanju međunarodnog studijskog komiteta SC-22, koji je uslijedio dan nakon rada radnih grupa (10. listopada 1989), uvodno predavanje dao je svjetski priznati vodeći ekspert za dalekovodnu tehniku prof. Paris. Svakako su vrlo interesantne današnje spoznaje u svijetu o daljnjem razvoju suvremene dalekovodne tehnike. Ekološka problematika jedna je od vrlo osjetljivih i vrlo aktualnih. U vezi s njom treba reći da već pri projektiranju valja predvidjeti odgovarajuće troškove. Prostorna problematika sve je veća jer je raspoloživog prostora sve manje, a korisnika tog prostora sve više. U posljednje vrijeme zbog toga se prelazi na kompaktiranu izvedbu dalekovoda, gdje se ide na što koncentriraniju gostoću prenosa električne snage na veličinu prostora odnosno sve veću opteretivost energetskih koridora. U današnjoj eri sve veće upotrebe informacijskog sistema treba da dalekovodi obavezno služe i za prijenos raznih informacija. U svijetu raste potreba za iskorištavanjem velikih proizvodnih resursa na velikim udaljenostima — 3 000 km pa i više. Generalni cilj suvremene dalekovodne tehnike svakako je optimizacija, gdje vrlo značajnu ulogu imaju novi materijali, naročito za izolaciju (polimerni izolatori), nova tehnologija proizvodnje čeličnih profila za konstrukcije, nove termootporne legure za vodiče, nove tehnološke izvedbe provodnika («crni» vodiči u kombinaciji s novim legurama), upotreba optičkih kabela, upotreba najsuvremenije mehanizacije pri montaži dalekovoda (uključujući i upotrebu helikoptera) i nužna upotreba računske tehnike pri projektiranju i razradi različitih analiza te robotizacija za radove na dalekovodima koja se sve više primjenjuje. Progres dalekovodne tehnike izvanredno se održava na optimalizaciji svih troškova (kapitalnih i pogonskih). Ali još uvijek postoje fenomeni koji su dovoljno izraženi usprkos tome što su tehničke i tehnološke spoznaje, naročito posljednjih godina veoma usavršene (meteorologija, vibracije, utjecaji električnog i magnetnog polja na čovjeka i njegovu okolinu, novi materijali itd.).

### **Neka strana iskustva iz Kanade i SAD**

Stručnjaci za nadzemne vodove iz Kanade i SAD dali su niz vrlo zanimljivih i korisnih informacija i tehnička rješenja s područja održavanja i revitalizacije starijih dalekovoda. Problematika izmjene pojedinih dijelova opreme, naročito vodiča i zaštitne užadi, koje je nagrizla korozija, vrlo je aktualno naročito u privredno vrlo razvijenim zemljama, gdje je prijenosna mreža već decenijama snažno razvijena. Zanimljiva je informacija kanadskih stručnjaka da u Kanadi firma Ontario Hydro posljednjih godina uvelike razmišlja o promjeni vodiča na 11 000 km dalekovoda starijih od 50 godina. Smatra se da vodiče nije potrebno prije zamijeniti, osim u posebnim slučajevima. Jasno je da stanje provodnika zavisi od mnogih faktora, naročito od stupnja zagađenosti atmosfere. Vrlo je važno voditi točnu evidenciju o stanju vodiča i zaštitnih užadi. U Kanadi posjeduju čitavu banku podataka za svaki dalekovod posebno, pa se svakih pet

godina obavlja kontrola posebnim spravama koje samostalno (bez posade) kontroliraju vodiče, a stanje vodiča se automatski registrira. Na taj način prikupljene informacije stalno dopunjuju banku podataka o stanju vodiča i zaštine užadi, što je bitno za pravovremene intervencije. Vodiči se mogu oštetiti i zbog drugih uzroka, naročito zbog ekstremnih zimskih dodatnih tereta. Za otkrivanje manjih grešaka na užadi upotrebljavaju se razni instrumenti kao što su TV-kamere, senzori, termovizija i sl. U SAD se pojavljuje niz problema na dalekovodima koji prolaze preko poljoprivrednih površina i to zbog zaprašivanja umjetnim gnojivom (zaprašivanje sa zemlje i aeroxprašivanje).

### **Zaključak**

U višednevnom druženju s najistaknutijim svjetskim stručnjacima za dalekovodnu tehniku saznali smo mnogo novosti i iznenadajućih. Međunarodna konferencija pariškog studijskog komiteta SC-22 za nadzemne vodove (Group 22 Overhead Lines — Transmission Lines Open Conference) od 8. do 13. listopada 1989. u Sarajevu nije bila samo iznimna prilika za druženje s vrhunskim stručnjacima s područja dalekovodne tehnike, nego i prilika da se neposredno upozna široka paleta najaktualnijih tema i problema koji se pojavljuju na dalekovodima i oko njih. Svakako će rezultati i iskustva prezentirana na toj konferenciji biti korisna i za našu praksu. Ujedno će nam dobro poslužiti kao dragocjen vodič u našem daljnjem radu i ujedno nam dati poticaj za daljnji stručni rad i usavršavanje na tom području. Naša je želja da se konačno i u nas dade struci ono mjesto koju zaslužuje.

Organizatorima konferencije i domaćinu treba za uloženi trud i besprijekorno odvijanje manifestacije, izreći iskrene čestitke.

Mr. Franc Jakl, Maribor  
Janez Kern, i  
Janez Jakše, Ljubljana

## **XII. SAVJETOVANJE O PRIJENOSU ELEKTRIČNE ENERGIJE**

Od 28 do 30. ožujka u Dubrovniku je održano XII. savjetovanje o prijenosu električne energije.

Razmatrano je 14 grupa referata iz prijenosne problematike koji su mahom izazvali živu diskusiju. Osnovni zaključci mogu se svesti na sljedeće:

1. Energetski i mjerni transformatori
  - odrediti tehničke i ekonomske kriterije za revitalizaciju starih transformatora
  - izraditi kriterije za utvrđivanje stanja izolacije energetskih transformatora
  - zauzeti stav o tehničkoj opravdanosti i ekonomičnosti kemijske regeneracije transformatorskog ulja.
2. Dalekovodi
  - izraditi program revitalizacije
  - razmotriti najnovije tehnologije i materijale za anti-korozivnu zaštitu
  - realizirati program rada pod naponom
  - pokušati realizaciju eksperimentalnog kompaktnog voda
  - izraditi popularnu brošuru o utjecaju dalekovoda na okolinu.
3. Rasklopni aparati
  - u fazi projektiranja uzeti u obzir uvjete rada prekidača pri bliskom kratkom spoju
  - razjasniti propise o kontroli posuda pod pritiskom.

4. Koordinacija izolacije i prenaponi
  - preispitati karakteristike postojeće prenaponske zaštite 400 kV mreže i mogućnosti poboljšanja korištenjem ZnO odvodnika prenapona
  - nastaviti rad na studiji »Funkcija uzemljivača u uvjetima atmosferskog pražnjenja«
5. Stanje kratkog spoja, uzemljenje i utjecaj EEP na susjedna postrojenja
  - hitno donijeti novi jugoslovenski standarde o uzemljenjima
  - usuglasiti standarde JUS N, CO 105/86 (zaštita podzemnih metalnih cjevovoda) i JUS. N CO 101/86 (zaštita telekomunikacionih postrojenja) sa standardima razvijenih evropskih zemalja
  - ubrzano promijeniti propise o uzemljenju dalekovodnih stupova
  - razmotriti mjere za ograničenje stanja kratkih spojeva uključujući i sekcioniranje mreže.
6. Relejna zaštita i pripadajuća lokalna automatika
  - predložiti rješenje zaštite gradskih kableskih i zračnih mreža
  - razmotriti razvoj i metode ispitnih uređaja za ispitivanje uzdužne diferencijalne zaštite.
7. Mjerenja i pripadajuća automatika
  - završiti Tehničku proporku za električne registratore
  - završiti Tehničku preporuku za tipsko ispitivanje elektroničkih registratora.
8. Daljinsko upravljanje transformatorskih stanica i lokalna automatika
  - ponovo nastojati da se postigne koordinirana akcija investitora projekta TSU i radnih grupa prijenosnih organizacija
  - riješiti nadležnost upravljanja između dispečera i korisnika postrojenja
  - zajedno s distribucijom riješiti odnose upravljanja objektima 110/ x kV
  - centri daljinskog upravljanja trebaju biti i centri interventnih ekipa za održavanje postrojenja.
9. Transformatorska i rasklopna postrojenja
  - inzistirati na što kvalitetnijoj izradi projektnih zadataka i tehničke dokumentacije
    - osigurati kontrolu kvalitete i definirati način preuzimanja opreme i materijala koji se ugrađuje u postrojenja
    - nastaviti razmjenu iskustava na revitalizaciji starijih postrojenja.
10. Prikupljanje i obrada podataka pri pogonskim događajima u EES-u
  - usvojiti metodologiju UNIPEDE za statističku obradu pogonskih događaja
11. Održavanje
  - izvršiti reviziju projektnog zadatka za izradu paketa programa za nadzor održavanja putem računala
  - nastaviti aktivnostima na izradi normativa radne snage za održavanje koristeći se vlastitim i stranim iskustvima.
12. Baza podataka
  - inicirati jedinstveni sistem označavanja elemenata postrojenja u skladu s budućom bazom podataka
  - prikupiti informacije o izgrađenosti računskih centara i korištenje programskih paketa u prijenosnim organizacijama
  - izvršiti izbor jedinstvene programske podrške baze podataka za potrebe prijenosne djelatnosti.
13. Opća pitanja prijenosa
  - za rješavanje neophodne systemske kompenzacije treba bez odlaganja izabrati veličinu i razmještaj jedinica, njihovu fiksnu ili regulacionu izvedbu te napon i mjesto priključka
  - nužno je pojačanje 400 kV mreže systemskim međuvezama.
14. Ostalo
  - procijeniti tehno-ekonomsku opravdanost korištenja zaštitnih užadi s optičkim nitima pri revitalizaciji radova 110 kV.

Navedeni zaključci predstavljaju osnovni zadatak rada pojedinih radnih grupa u razdoblju do sljedećeg XIII. savjetovanja.

Z. Cvetković

Godina	Ukupna snaga (MW)	Ukupna kapacitet (MW)	Ukupna proizvodnja (MWh)
1988	11750	3110	100000
1989	11750	3110	100000
1990	11750	3110	100000
1991	11750	3110	100000
1992	11750	3110	100000
1993	11750	3110	100000
1994	11750	3110	100000
1995	11750	3110	100000
1996	11750	3110	100000
1997	11750	3110	100000
1998	11750	3110	100000
1999	11750	3110	100000
2000	11750	3110	100000
2001	11750	3110	100000
2002	11750	3110	100000
2003	11750	3110	100000
2004	11750	3110	100000
2005	11750	3110	100000
2006	11750	3110	100000
2007	11750	3110	100000
2008	11750	3110	100000
2009	11750	3110	100000
2010	11750	3110	100000
2011	11750	3110	100000
2012	11750	3110	100000
2013	11750	3110	100000
2014	11750	3110	100000
2015	11750	3110	100000
2016	11750	3110	100000
2017	11750	3110	100000
2018	11750	3110	100000
2019	11750	3110	100000
2020	11750	3110	100000

# IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

## AUSTRALSKI PLIN ZA JAPAN

U sklopu 20-godišnjeg ugovora započeo je transport tekućeg zemnog plina iz sjeverozapadne Australije u Japan. U iskorištavanje zemnog plina uloženo je 12 milijardi AUD, što je najveća investicija na petom kontinentu. Predviđa se da će se u razdoblju 1989 – 2009. godišnje izvoziti 5,84 milijuna tona tekućeg plina. Plin će preuzimati 8 japanskih elektropoduzeća i plinarskih poduzeća. Isporučena količina činit će 15 % japanskih potreba. Vrijednost isporuke bit će 1,8 milijardi AUD i bit će značajan udio u australskoj vanjskotrgovačkoj bilanci.

*Energie*, god. 41 (1989), br. 12.

Mrk.

## UGLJEN IZ INDONEZIJE ZA SR NJEMAČKU

U luku Nordenham stigao je u listopadu 1989. prvi brod s tovarom ugljena iz Indonezije za NJemačke termoelektrane. Kao pokusna pošiljka dobavljeno je 40 000 t ugljena s malo pepela i malo sumpora. Neoprani ugljen ima 3 % pepela i 0,3 % sumpora. Navedene vrijednosti leže negdje u trećini prosječnih vrijednosti domaćih ugljena koje sada troše termoelektrane.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 88 (1989), br. 24.

Mrk.

## OBNOVIVA ENERGIJA U SR NJEMAČKOJ

Elektroprivreda SR NJemačke nastoji što više iskoristiti obnovljive izvore energije, bilo u vlastitim postrojenjima bilo kupnjom. Proizvodnja električne energije iz takvih izvora i otpada porasla je u 1988. prema 1986. za 7 %. U 761 elektrani bila je ukupna proizvodnja 17,7 TWh. Raščlanjeni izvori navedeni su u tablici 1.

Tablica 1.

Energetski izvor	Broj elektrana	Instalirana snaga MW	Proizvodnja 1988. GWh
voda	605	3733	15 726
smeće	29	518	1 877
kanalni plin	8	6,1	28,6
plin iz deponija	23	13,4	41,9
vjetar	81	4,9	5,9
sunce	15	0,4	0,0
Ukupno	761	4275,8	17 679,4

Od privatnih elektrana, takvih izvora, elektroprivreda je u 1988. kupila 1 485,3 GWh, od čega 66 % iz hidroelektrana i 29 % termoelektrana spalionice smeća. Da se takvi regenerativni izvori forsiraju, vidi se iz broja novih elektrana koje su u gradnji ili planu (tablica 2) bile početkom 1989.

U razmjerno velikom broju hidroelektrana u NJemačkoj većina je malih, ispod 1 MW, ali je njihova proizvodnja tek nekih 2,5 %. Mogućnost ekonomične gradnje novih hidroelektrana u zemlji vrlo je malena pa se smatra da će se njihova

Tablica 2.

Energetski izvor	Broj elektrana	Instalirana snaga MW
voda	17	175
smeće	3	33
kanalni plin	4	0,4
plin iz deponija	28	19,6
vjetar	28	9,9
sunce	9	0,9
Ukupno	90	238,8

proizvodnja u sljedećih 10 godina povećati od sadašnjih 18 TWh na 20 TWh godišnje. Instalirana snaga tih novih hidroelektrana kretala bi se oko 450 MW. Većina ih je već u gradnji ili barem u planu.

Osim elektroprivrednih vjetroelektrana navedenih u tablici 1, na javnoj mreži priključeno je još 107 uređaja ukupne snage 5,8 MW drugih vlasnika. U gradnji ili planu nalazi se još 78 uređaja snage 14,6 MW, što bi s elektroprivrednim elektranama iznosilo 24,5 MW. Velika se važnost poklanja vjetroelektranama pa se u NJemačkoj nastoji ostvariti »100 MW-program energije vjetra«, u čemu će sudjelovati i mnogi izvan elektroprivrede.

Optimistički se predviđa da bi se dugoročno moglo energijom vjetra proizvoditi 4 TWh godišnje, a to iznosi 1 % današnje potrošnje.

Danas se na temelju energije iz smeća (biomase), kanalnog plina i plina iz deponija pokriva samo 0,7 % potrebne električne energije, a postoje mogućnosti do 2 %. Gradnja novih spalionica nailazi na stanovite poteškoće u pogledu dozvole za rad, a konkurencija im je reciklaža npr. starog papira. Može se reći da se danas trećina smeća upotrebljava za loženje elektrana i toplana. Dobivanje električne energije iz fotovoltaičkih ćelija za NJemačku zasada nije zanimljivo, no čine se daljnja opsežna istraživanja. Novi fotovoltaički uređaj u Oberpfalzu, od 430 kW, dat će nova iskustva, a jednako tako i uređaj Grevenbroich od 350 kW. U toj tehnici SR NJemačka je iza sunčane Kalifornije vodeća.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 88 (1989), br. 24.

Mrk.

## AUSTRIJA GRADI NOVU HIDROELEKTRANU NA MURI

Austrijska elektroprivreda uskoro će početi s gradnjom hidroelektrane na rijeci Muri. To će biti hidroelektrana Fischening instalirane snage 14 MW, sa srednjom godišnjom proizvodnjom 73 milijuna kWh. Predviđaju se investicije od 550 milijuna ATS.

*ETZ*, god. 110 (1989), br. 23/24.

Mrk.

## U ŠVICARSKOJ RASTE POTROŠNJA, A PADA PROIZVODNJA

Prema izvještaju Saveza švicarskih elektrana (VSE) potrošnja električne energije porasla je u vremenu od 1. listopada

1988. do 30. rujna 1989. za 3,2 %. No proizvodnja, zbog sušnog ljeta, u tom je razdoblju pala za 5,3 %. U usporedbi s prošlom godinom iz hidroelektrana je dobiveno 8 % manje energije. Zbog takvog stanja bitno je porastao uvoz električne energije. Treba još spomenuti da 40 % proizvodnje električne energije dolazi iz nuklearnih elektrana.

ÖZE, god. 42 (1989), br. 12.

Mrk.

## ENERGETSKE PRILIKE U ŠVEDSKOJ

Potkraj 1989. Švedski savez za daljinsko grijanje proslavio je 40-godišnjicu postojanja. Tom su prilikom u prigodnim predavanjima izneseni zanimljivi podaci i problemi švedske energetike. Kao osnovno naglašen je vrlo aktualni problem supstitucije nakon napuštanja nuklearnih elektrana, jer radnje u tom pravcu trebaju započeti već sredinom devedesetih godina. Velike teškoće u izgradnji vodnih snaga, redukcija već danas velikih količina ugljičnog dioksida i daljnji pozitivan razvoj privrede vrlo su teško spojivi. Predviđa se stoga da će se cijena grijanja morati povećati barem 100 %, a cijena električne energije i do 200 %, što će teško opteretiti privredu.

Iznesen je nadalje podatak da je ukupna potreba Švedske za niskotemperaturnom toplinom 87 TWh godišnje, od čega 40 % otpada na daljinsko grijanje, a 26 % na elektrogrijanje. Ukupno 41 TWh ulaznog goriva za postrojenja daljinskog grijanja specificirano izgleda ovako:

ugljen	25 %
nafta	15 %
toplinske pumpe	15 %
električni bojleri	11 %
otpad	10 %
drveni otpad	8 %
indus. toplinski višak	6 %
treset	5 %
plin	4 %
ostalo	1 %

U kombiniranim toplinama — elektranama 1988. godine proizvedeno je 2,3 TWh električne energije i 6,7 TWh topline.

Ukupnu proizvodnju električne energije 1988. godine, od 141 TWh, dale su:

hidroelektrane	49,0 %
nuklearne elektrane	47,0 %
termoelektrane konvenc.	0,3 %
protutlačni uređaji industr.	1,7 %
protutlačni uređaji toplana	2,0 %

ÖZE, god. 42 (1989), br. 12.

Mrk.

## VODNE SNAGE LATINSKE AMERIKE

Latinska je Amerika kontinent vrlo bogat vodnim snagama, ali još prilično slabo iskorištenima. Računa se da je komercijalno moguće izgraditi hidroelektrane koje bi godišnje proizvele 3 174 400 GWh električne energije. Proizvodnja 1988. godine iznosila je ukupno 352 921 GWh, što je tek 11,1 % komercijalno raspoloživih izvora. U proizvodnji kontinenta na Brazil otpada 60,4 %, a po rasprostranjenosti država 48 % površine. Druga zemlja po veličini proizvodnje hidroenergije sa 34 203 GWh jest Venezuela (9,7 %), a treća Kolumbija sa 24 220 GWh (6,7 %).

U mnogim državama Latinske Amerike u toku je gradnja novih velikih kapaciteta hidroelektrana, a planiraju se i nove. Ukupno je u gradnji 40 000 MW, a u planu je još 57 000 MW.

Geografski raspored hidroizvora i konzumnih centara traži u nekim zemljama dalekovode velike prijenosne snage. Naročito to vrijedi za Brazil, gdje su već danas u pogonu trofazni vodovi 765 kV i istosmjerni ± 600 kV. U priloženoj tablici navodi se za svaku državu kontinenta mogući komercijalno iskoristiv potencijal hidroizvora, proizvodnja električne energije u hidroelektranama u 1988. godini, zatim dosadašnje iskorištenje raspoloživosti hidroizvora, izgrađena instalirana snaga hidroelektrana te instalirana snaga u gradnji i planu.

### Hidroelektrane Latinske Amerike

Zemlja	Moguće iskoristiti GWh/god.	Proizvodnja 1988. GWh	Iskorištenje %	Instalirana snaga MW	U gradnji MW	U planu MW
Argentina	390 000	15 692	4,0	6 600	4 300	3 200
Bolivija	90 000	1 142	1,3	310	0	350
Brazil	1 194 900	213 378	17,9	47 347	21 002	15 436
Čile	132 233	11 458	8,7	2 300	766	8 852
Kolumbija	418 200	24 220	5,8	6 700	1 400	2 900
Kostarika	37 000	3 039	8,2	724	3	631
Ekvador	115 000	4 532	3,9	1 088	656	1 715
Salvador	3 319	1 030	31,0	233	0	0
Gvatemala	43 370	1 849	4,3	438	0	252
Gvajana	63 100	0	0	0	0	50
Honduras	24 000	1 914	7,9	431	0	319
Meksiko	159 624	20 800	13,0	7 734	1 590	3 515
Nikaragva	17 277	268	1,6	103	0	2 091
Panama	16 233	2 848	17,5	551	0	731
Paragvaj	78 000	676	0,8	198	2 250	3 100
Peru	41 200	11 000	26,7	3 800	210	4 500
Surinam	12 840	935	7,3	189	0	300
Urugvaj	7 900	3 937	49,8	1 510	0	0
Venezuela	330 000	34 203	10,4	11 000	8 000	9 000

Water Power, God. 4 (1989), br. 12.

Mrk.

## ČIŠĆENJE DIMNIH PLINOVA BEZ STVARANJA GIPSA

Zbog zaštite okoliša nužno je dimne plinove termoelektrana očistiti od sumpornog i dušičnog oksida. Dosadašnje katalitičke metode čišćenja su skupe, a nakon vezanja sumpornog dioksida ostaju velike količine gipsa, koje pak čine posebne probleme. Mladi stručni tim tvornice ELIN (Austrija) ostvario je ideje prof. Vytlacila i izgradio uređaj koji radi na temelju oksidativne metode za odsumporavanje štetnih sastojaka iz dimnih plinova. Pilot-uređaj koji je u pogonu u Beču upravo je internacionalno patentiran. Novom se metodom provodi kružni proces koji završava stvaranjem sumporne i dušične kiseline, a nešto i solne, u normalnoj industrijskoj kvaliteti. Kako nema ostataka za deponij, a kiseline se mogu unovčiti, pokrivaju se pogonski troškovi.

ÖZE, god. 42 (1989), br. 12

Mrk.

## SMANJENA POTROŠNJA ENERGIJE U ŠVEDSKOJ

U Švedskoj se u prvom kvartalu 1989. smanjila potrošnja energije za 7 % u usporedbi s istim razdobljem prethodne godine. Potrošnja u industriji pala je za 4 %, a u domaćinstvima u uslužnoj djelatnosti za 13 %. U oblasti transporta potrošnja energije stagnira. Utrošeno je manje energije na bazi ugljena 14 %, loživog ulja 7 % i domaćih goriva 1 %. Energija dobivena iz hidroizvora smanjena je za 15 %, a iz nuklearnih elektrana povećana za 3 %.

ÖZE, god. 42 (1989), br. 12.

Mrk.

## STROJEVI NE ZWENTENDORF SE RASPRODAJU

Austrijska nuklearna elektrana Zwentendorf, čija je gradnja morala biti obustavljena zbog pritiska zelenih, rasprodaje opremu. Niskotlačni dio turbine austrijske nuklearke prodan je termoelektrani Irsching u Bavarskoj. Ta turbina potpuno odgovara tipu uništenoga dijela (prosinca 1987) bloka od 330 MW u Irschingu pa je zamjena bez daljnega moguća.

Elektrizitätswirtschaft, god. 88 (1989), br. 25

Mrk.

## SOVJETSKI SAVEZ SMANJUJE IZVOZ NAFTE

Sovjetska vlada namjerava smanjiti izvoz nafte u 1990. godini za 3,8 milijuna tona zbog pokrivanja vlastitih potreba. Time bi se izvoz u zemlje SEV-a i ostale zemlje smanjio za 2,8 %.

ETZ, god. 110 (1989), br. 23/24.

Mrk.

## ELEKTRIČNA ENERGIJA IZ PRIVATNIH IZVORA

SR Njemačka i Francuska su vodeće zemlje u preuzimanju električne energije iz industrijskih postrojenja u javnu mrežu. Ova ekonomična i korisna suradnja privatne industrije i

javnih elektrana rezultirala je time da je dobava 1988. godine iznosila 6 % distributivne potrošnje. U SR Njemačkoj je oko GWh dobavljeno iz takvih izvora, a to je trostruko više nego što je u javnim elektranama proizvedeno iz nafte. Industrija je dala u mrežu 37 % svoje proizvodnje. U drugim zemljama Evropske zajednice takva je dobava mnogo manja. Količine se kreću od 1 do 3 % ukupnog potroška iz javne mreže. U SAD iznosi svega 2 %.

ETZ, god. 110 (1989), br. 23/24.

Mrk.

## VIŠE TERMOAKUMULACIONIH PEĆI U SR NJEMAČKOJ

Broj termoakumulacionih peći u kućanstvima SR Njemačke porasao je u 1988. godini za 50 000 i dosegao je 2,2 milijuna.

U jesen 1989, 9 % kućanstva uzimalo je noćnu struju za grijanje. Posebne elektrane za to nisu bile potrebne. Noćna je tarifa primjenjivana od 22 sata. Osim kućanstava bilo je u 1988. godini 200 000 ostalih potrošača koji su koristili takvo grijanje. Od toga je bilo 116 000 obrtničkih pogona, 57 000 poljoprivrednih i 27 000 javnih ustanova. Potrošnja svih navedenih potrošača pala je u 1988. godini za 9,2 %.

Broj potrošača u pojedinim područjima narastao je toliko da su priključni kapaciteti potpuno iskorišteni.

Elektrizitätswirtschaft, god. 88 (1989), br. 22.

Mrk.

## SVAKA ELEKTRANA IMA SVOJE MJESTO U SISTEMU ELEKTROPRIVREDE SRNJ

Za približno 1 100 elektrana u SR Njemačkoj u 1989. godini vrijedi da im je prosječno upotrebno vrijeme 4 193 sata. Pritom temeljne elektrane imaju upotrebno vrijeme čak 55 % veće od prosjeka. Ovamo se ubrajaju nuklearke i termoelektrane na lignit, a podaci za ostala postrojenja mogu se vidjeti iz sljedeće tablice.

Vrste elektrane	Upotrebno vrijeme
nuklearne	6 641
lignit	6 464
protočne	5 876
kameni ugljen	4 183
kombinirane nafta ili plin + ugljen	3 020
akumulacione	2 957
plinske	1 457
pumpne bez dotoka	935
pumpne s dotokom	621
nafta	556
ostale	2 791

Stromthemen, 2/90.

ŽC.

## I U 1989. POTROŠENO MANJE ENERGIJE U SR NJEMAČKOJ

Potrošnja primarne energije u SR Njemačkoj je, prema prvim proračunima, smanjena u 1989. godini za 6,3 milijuna tona ekvivalentnog ugljena ili za 1,6 % u odnosu na prethodnu godinu tako da iznosi 383,5 milijuna tona. Razlog je za to smanjenje prije svega u napuštanju neekonomičnog zagrijavanja prostorija lož-uljem u domaćinstvu, ali i toplije vrijeme prošle zime. Time je kompenziran porast potrošnje energije u privredi i ostalim djelatnostima. Podaci za 1988. i 1989. godinu prikazani su u sljedećoj tablici.

Oblik energije	1988.	1989.	Promjena 88/89.		1988.	1989.
	milijuna tona		mil. t	%	udio %	
nafta	163,5	154,5	-9,0	-5,5	42,0	40,3
kameni ugljen	74,7	73,5	-1,2	-1,6	19,2	19,2
plin	62,4	65,0	+2,6	+4,2	16,0	16,9
nuklearna energija	46,9	48,0	+1,1	+2,4	12,0	12,5
lignit	31,6	32,5	+0,9	+2,9	8,1	8,5
hidroenergija	6,0	5,3	-0,7	-11,5	1,5	1,4
ostalo	4,2	4,7	0,0	0,0	1,2	1,2
ukupno	389,8	383,5	-6,3	-1,6	100,0	100,0

Podaci u prve tri kolone su u milijunima tona ekvivalentnog ugljena (1 milijun tona ekv. ugljena odgovara energetske vrijednosti od 29,3 PJ).

*Stromthemen*, 2/90.

ŽC.

## NOVINE U ODNOSIMA SRNJ — DDR

### Preussenelektra: struja za DDR

Od početka ove godine isporučuje Preussenelektra električnu energiju u DDR — u iduće dvije godine po 500 milijuna kWh, a nakon završetka dalekovoda Magdenburg — Zapadni Berlin količine će se povećati na milijardu kWh. To je omogućeno s jedne strane različitim karakteristikama potrošnje, a s druge dobrom povezanosti elektrana poduzeća Preussenelektra s ostatkom zapadnog sistema. Na raspolaganju je za isporuku 300 MW u normalnom pogonu, do čak 800 MW u slučaju jače zime ili slično. Postoji mogućnost da to zapravo bude određen oblik pomoći ako DDR ne bude odplaćivala nastale dugove.

### Spremnost za suradnju

SR Njemačka je spremna, ako to želi i druga strana, ponuditi tehničku pomoć za modernizaciju elektrana u DDR-u. Investicije u zaštitu okoline imaju prednost zbog jasne obostrane zainteresiranosti, istakao je predsjednik Udruženja njemačkih elektrana (VDEW). Zasad se još ne zna što savjetovati za brže prestrukturiranje proizvodnih kapaciteta u istočnom dijelu, koji se baziraju gotovo isključivo na lignitu s visokim postotkom sumpora i zasada rade bez ikakvih uređaja za odsumporavanje. Već je izračunato da SR Njemačka raspolaže sa 4 000 — 4 500 MW, ali je za isporuku potrebno izgraditi priključne dalekovode i odgovarajuće transformacije.

### Zajednički projekti za zaštitu okoline

Sredinom prosinca prošle godine naručeno je šest projekata iz područja zaštite okoline koje će zajednički financirati

obje njemačke države. Radi se o pripremama za prelazak jedne termoelektrane ložene lignitom po staroj tehnologiji, koja znatno opterećuje okolinu, na sistem gdje će ugljen izgarati u fluidiziranom sloju. Istovremeno su dvije zapadno-njemačke firme počele pripreme za rekonstrukciju kemijskog kompleksa »Chemische Werke Buna« u DDR-u. Osim tih naručenih i započetih projekata u pripremi je još desetak različitih zahtjeva. I ovdje se prije svega radi o postrojenjima za pročišćavanje zraka i zaštitu vodotoka od zagađenja. Tako će, naprimjer, izgradnjom postrojenja za odsumporavanje u termoelektrani Espenheim (lignit) emisija sumpornog dioksida biti smanjena za 80 000 tona godišnje. Savezna vlada je odobrila pomoć za izradu navedenih projekata u iznosu približno milijardu DM, ali se očekuje i značajan udio vlade DDR.

### Partneri s obje strane granice

Intenzivna i kontinuirana suradnja dviju velikih susjednih poduzeća za opskrbu električnom energijom, »Akcionarskog društva za elektroenergiju Srednje Njemačke (EAM) i »Energetskog kombinata Erfurt«, dobila je novi poticaj. Prije svega ide se za tim da se povežu srednjonaponske mreže oba poduzeća, bez obzira na različite frekvencije. Povezivanje se vrši u pravcu Südhartz-Hessen/Thüringen i koristit će se u slučaju kvara ili veće nestašice energije na bilo kojoj strani. Veza se u slučaju potrebe uspostavlja automatski, gotovo trenutno. Osim toga, jedan drugi zajednički projekt predviđa reaktiviranje dviju protočnih hidroelektrana u DDR-u koje su obustavile rad prije nekoliko godina. Uloženi kapital će poduzeću EAM biti vraćen kroz isporuku električne energije.

*Stromthemen*, 2/90.

ŽC.

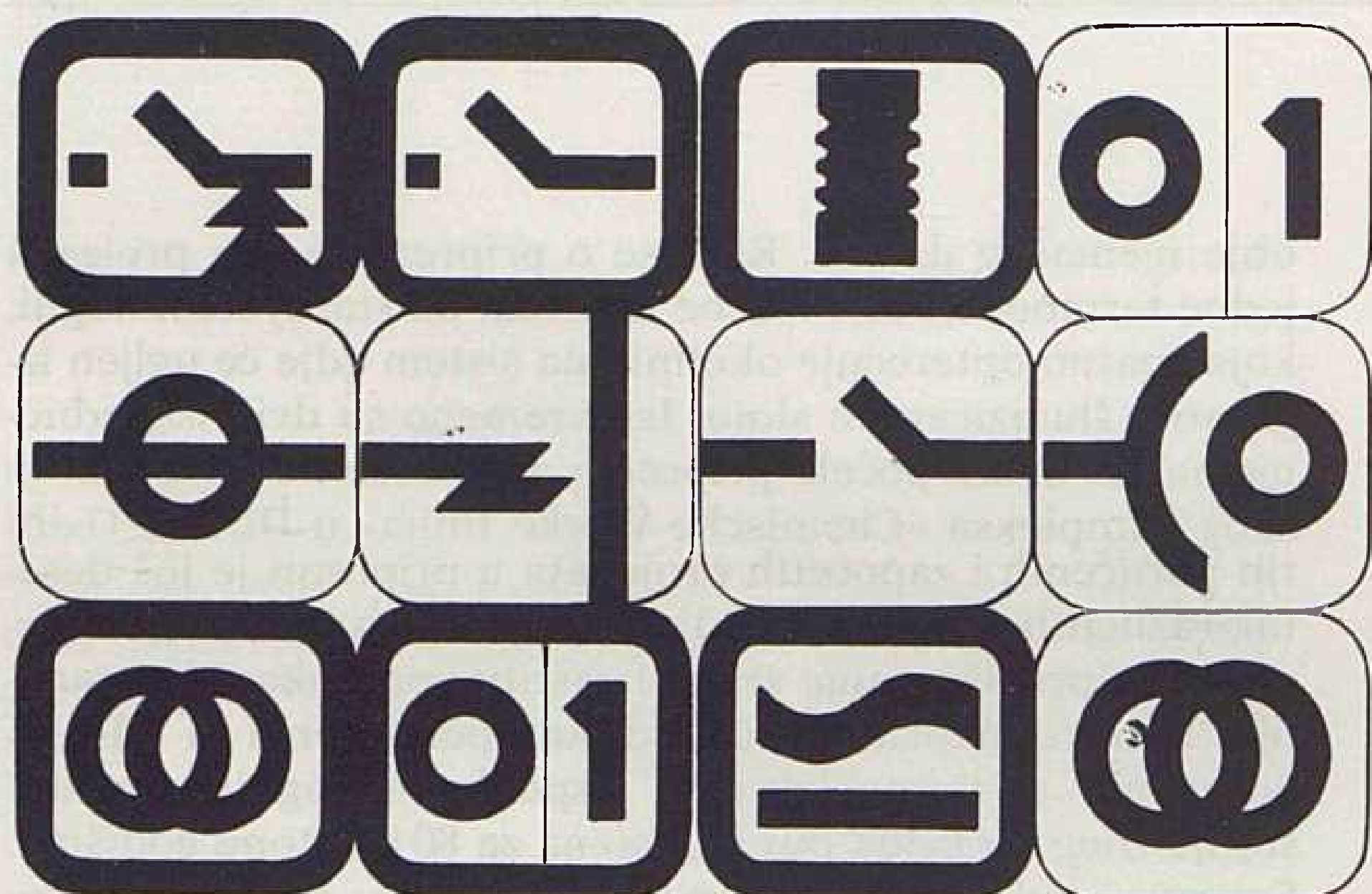


# EMO OHRID

**Elektroindustrija i inženjering**

96000 Ohrid  
P. Fah 118  
telefon: 096/34-944  
telex: 53829 YU EMOOH  
telefax: 33690

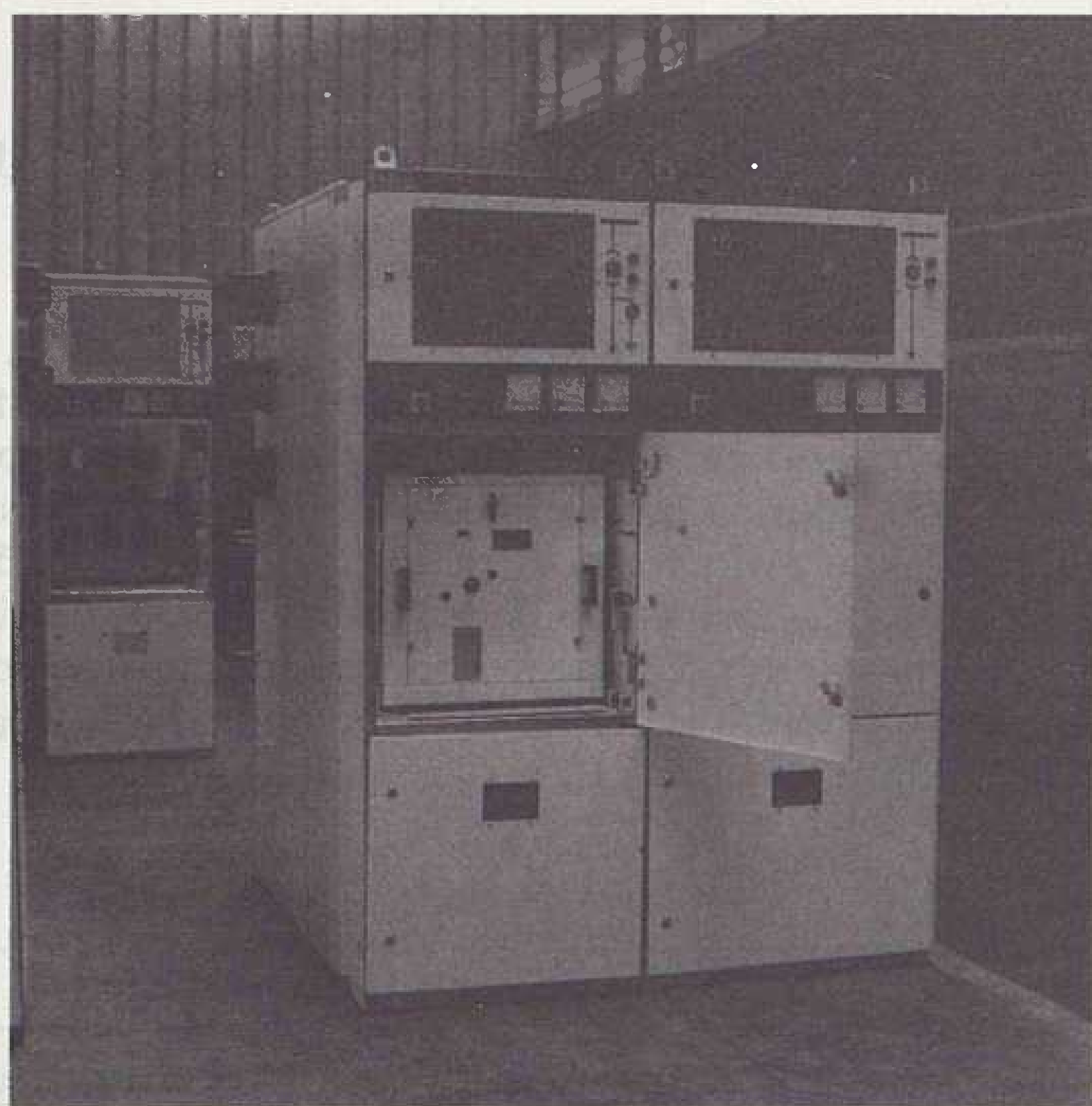
- Elektropostrojenja za srednji napon, do 36 kV
- Elektropostrojenja za niski napon
- Modularni niskonaponski sistemi
- Distributivni transformatori do 10000 kVA
- Mjerni strujni transformatori za srednji i niski napon
- Naponski mjerni transformatori
- Potporni i provodni izolatori od epoksidnih smola, do 36 kV
- Rasklopni aparati za srednji i niski napon
- Automatika i elektronika
- Fleksibilni sistemi
- Stupovi za javnu rasvjetu
- Čelično rešetkasti stupovi, do 400 kV
- Ovjesna i spojna oprema za dalekovode, do 400 kV
- Elektrostatski filteri
- Površinska zaštita i limeni proizvodi
- Hladnooblikovani profili i metalni proizvodi



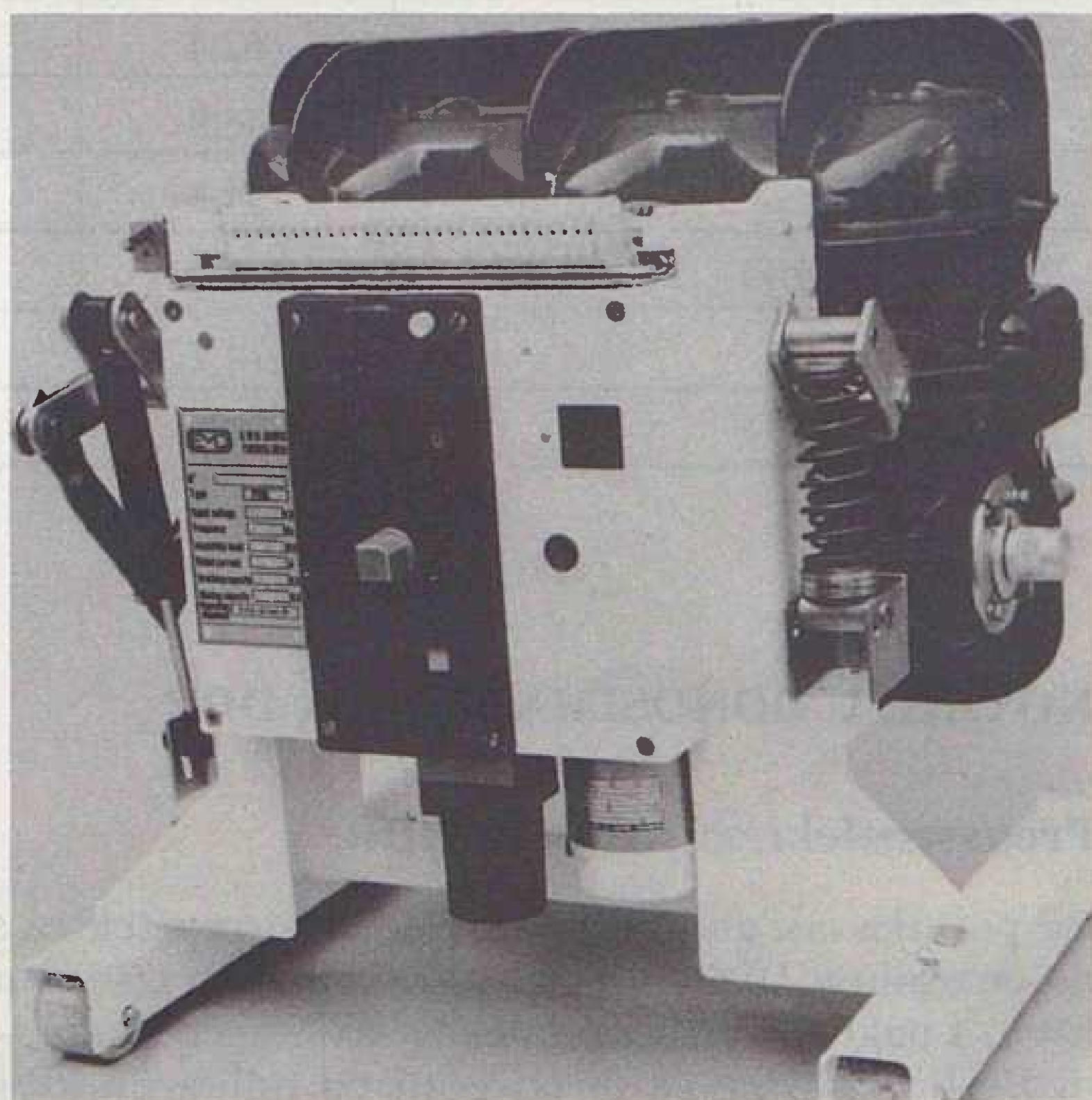
## INŽENJERING

— Preuzimanje kompletnih radova po sistemu »ključ u ruku«, odnosno projektiranje, proizvodnja i nabavka materijala i opreme, transport, montaža, ispitivanje i puštanje u pogon:

- Dalekovode svih napona
- Visokonaponske i niskonaponske mreže
- Elektroinstalacije (motorski razvod, automatika, instalacije za unutrašnje i vanjsko osvjetljenje, gromobranske instalacije i dr.)
- Elektrostatske filtere za suho prečišćavanje otpadnih plinova
- Metalne konstrukcije za tvorničke hale, mostove, visokonaponska razvodna postrojenja i dr.
- Cjevovode, naftovode, plinovode i dr.
- Hidro i termoelektre, rafinerije, skladišta, silosa, objekte za crnu i obojenu metalurgiju, kemijsku industriju i dr.



Kelija sa izvlačivim SF6 prekidačem, 12 kV



SF6 prekidač, 12 kV, 1250 A



Suhi transformator, 630 kVA  
Termička klasa izolacije H



IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Godište 39 (1990)

Zagreb 1990

Br. 4

Hrvatska elektroprivreda  
Institut za elektroprivredu, Zagreb  
SIZ za znanstveni rad Hrvatske

## SADRŽAJ

<i>Staničić L.</i> : Akumulativna i reproduktivna sposobnost elektroprivrede Hrvatske (Stručni rad) . . . . .	251
<i>Popović D.</i> : Iskustva u primeni metodologije STATIC za potrebe studijskih analiza statičke sigurnosti EES Jugoslavije (Prethodno priopćenje) . . . . .	259
<i>Šimunić J.</i> : Prostor vjerojatnosti skupa procesnih informacija elektroenergetskog postrojenja (Originalni znanstveni rad) . . . . .	269
<i>Babić S.</i> — <i>Tešnjak S.</i> — <i>Pavić I.</i> : Istraživanje prijelazne stabilnosti hidroelektrana u lancu (Originalni znanstveni rad) . . . . .	275
<i>Plećaš I.</i> — <i>Perić A.</i> — <i>Kostadinović A.</i> : Određivanje brzine procurivanja radionuklida na odlagalištu radioaktivnog otpada u realnim dinamičkim uslovima (Originalni znanstveni rad) . . . . .	283
<i>Kalan B.</i> : Trendovi u primjeni računala za nadzor procesa u nuklearnoj elektrani (Stručni rad) . . . . .	287
<i>Žutobradić S.</i> : Doprinos proračunu impulsnih impedancija složenih uzemljivača (Originalni znanstveni rad) . . . . .	291
<i>Mahmutćehajić R.</i> — <i>Hajdin S.</i> : Fizika električnog luka u sklopnim aparatima (Stručni rad) . . . . .	297
<i>Cvetković Z.</i> : Osvrt na Savjetovanje o razvoju elektroprivrede Jugoslavije od 1991. do 2000. godine (Pregledni rad) . . . . .	303
<b>Rad Instituta za elektroprivredu u 1989. godini</b> . . . . .	309
<b>Vijesti iz elektroprivrede</b> . . . . .	327
<b>Iz strane stručne literature</b> . . . . .	329
<b>Oglasi</b> . . . . .	333

## 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. inž., Ministarstvo za energetiku — Zdenka Jelić, prof., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Mr. 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: Mr. 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 180,00 dinara, a za poduzeća i ustanove 300,00 dinara (za studente 120,00) dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišej — Print: TIZ »Zrinski«, 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

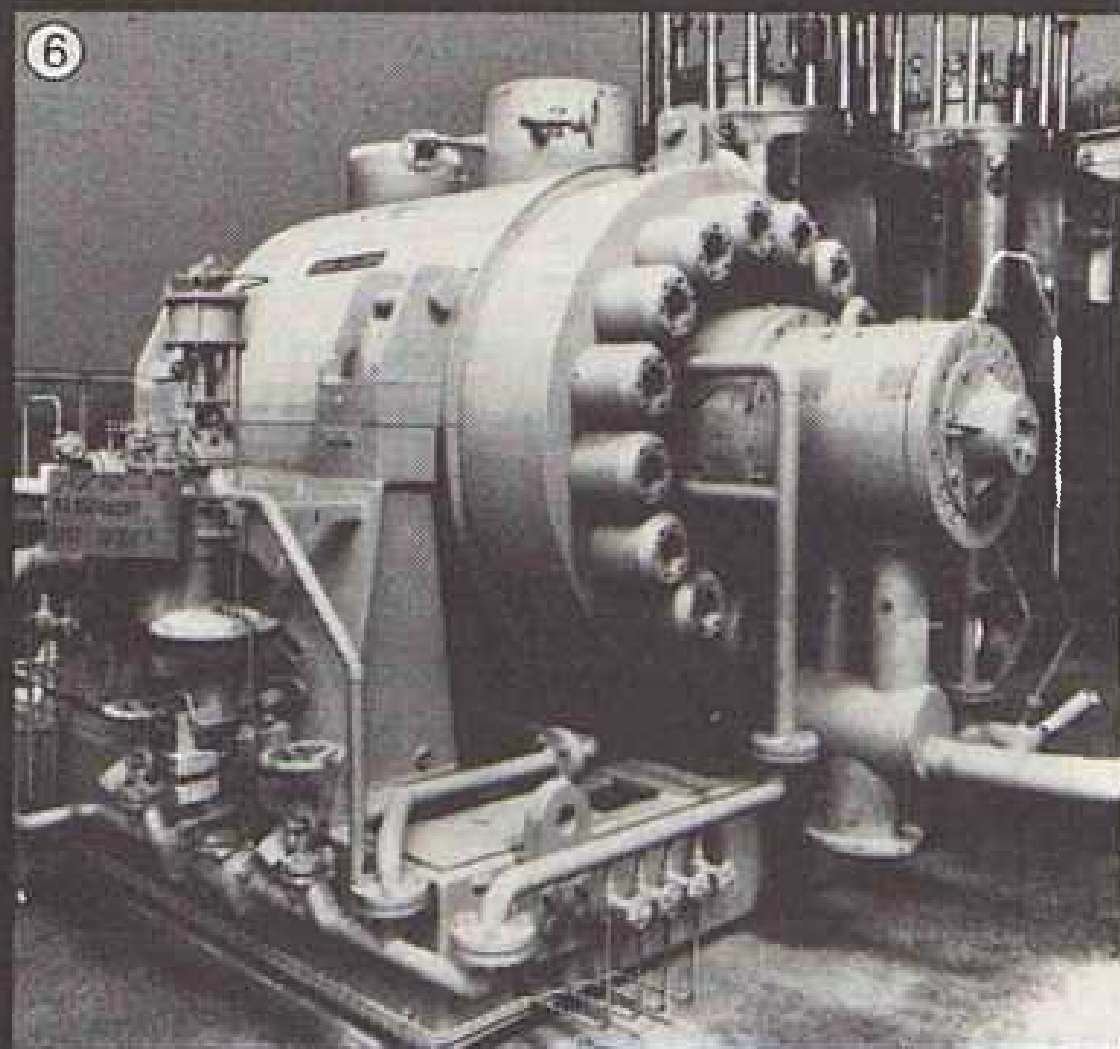
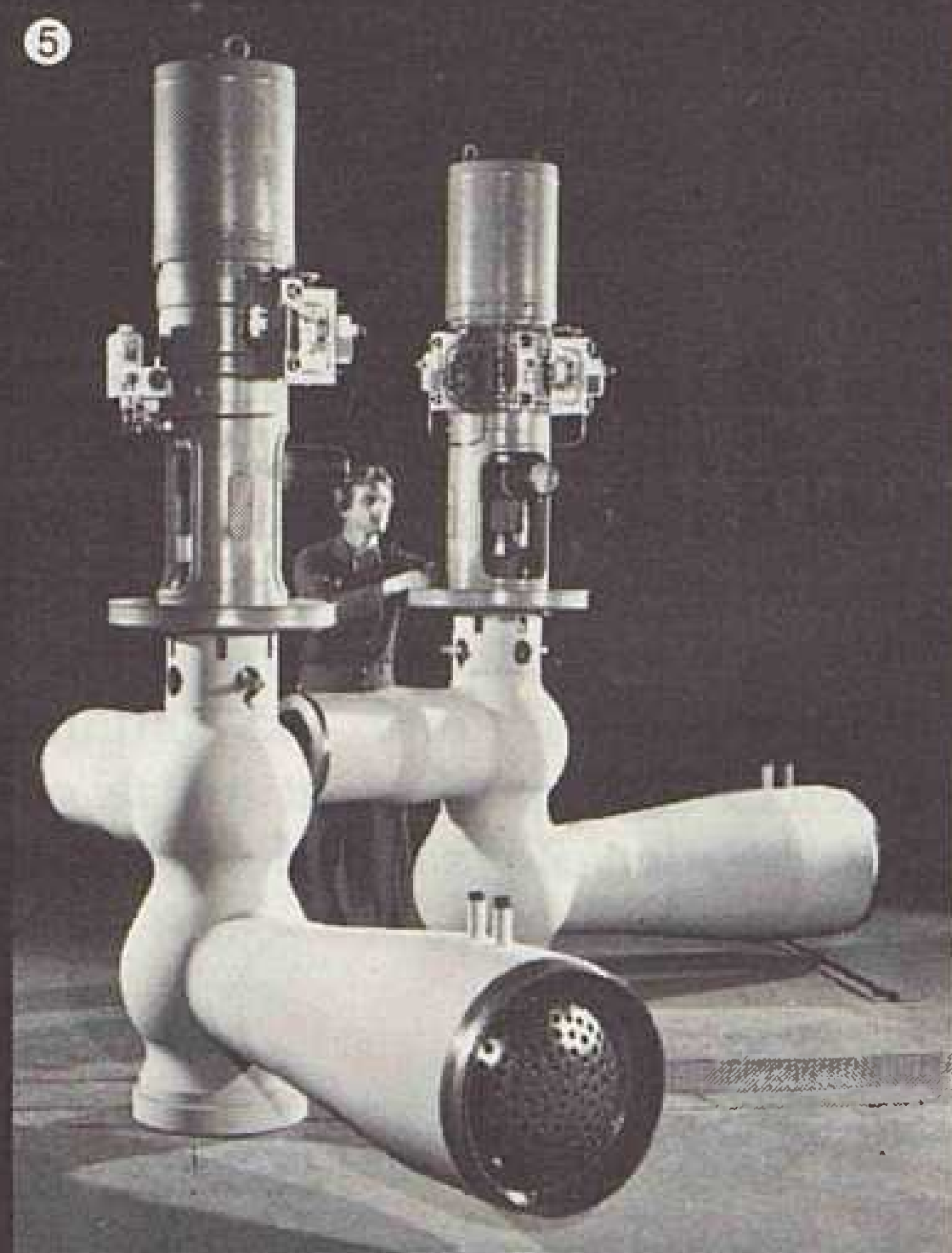
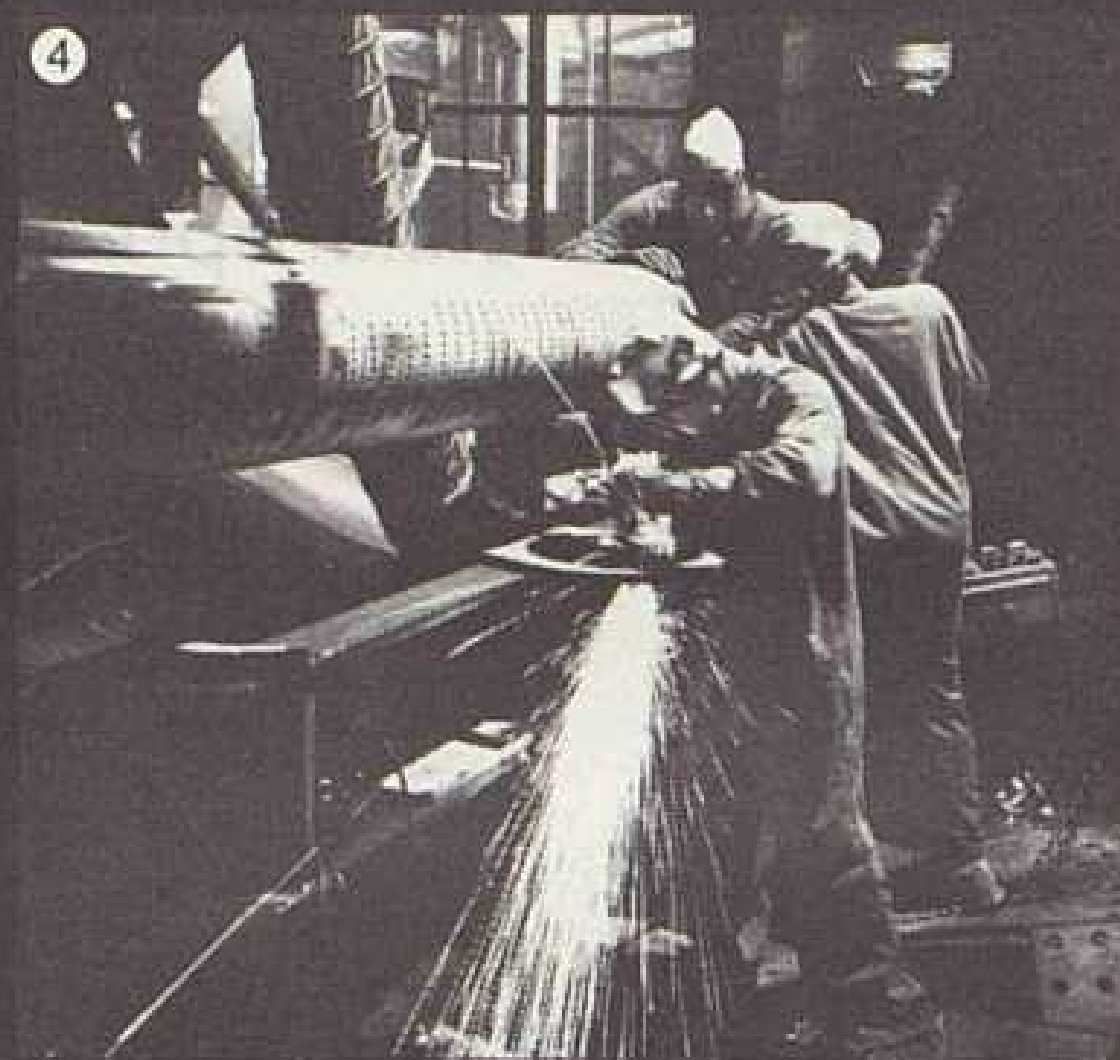
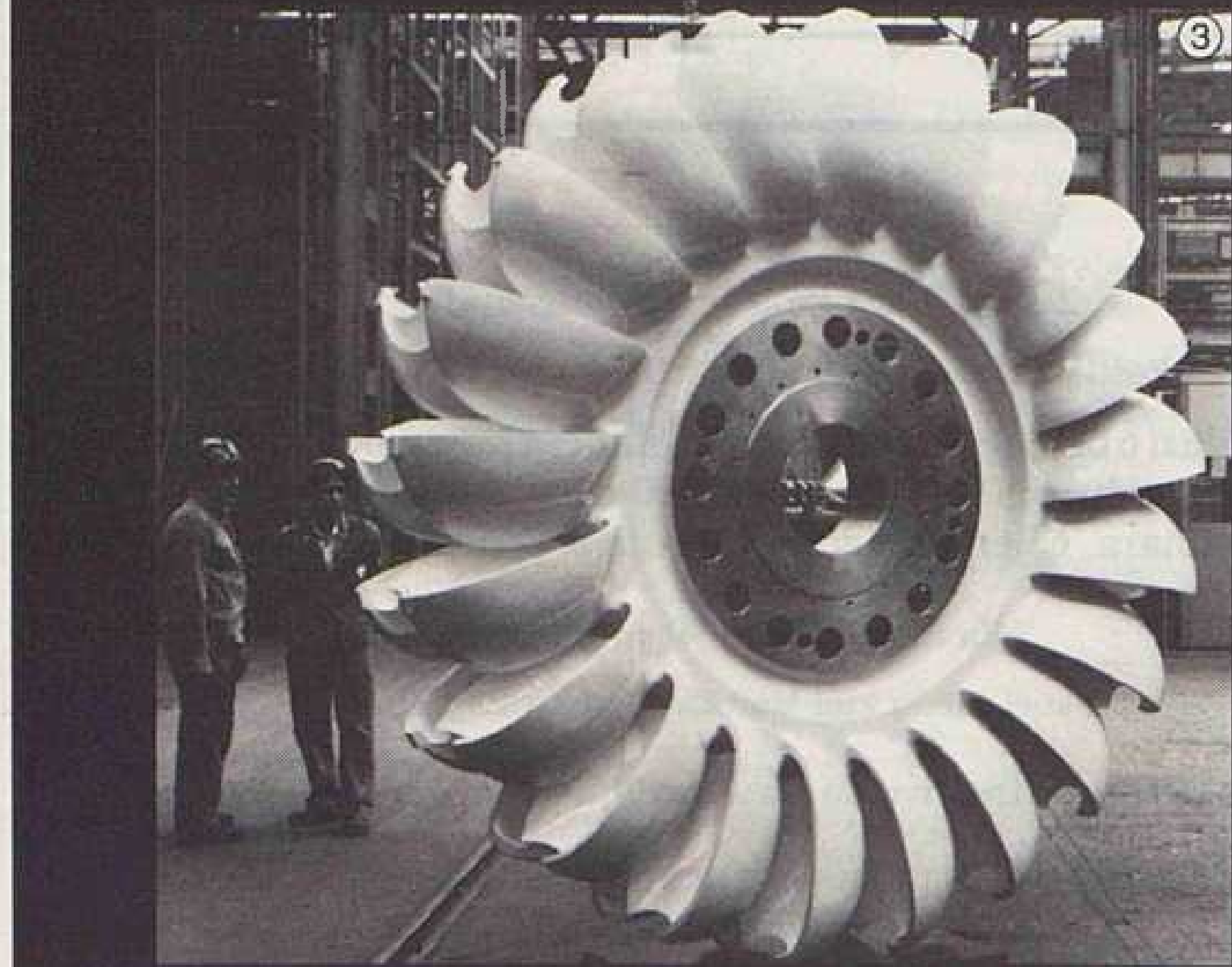
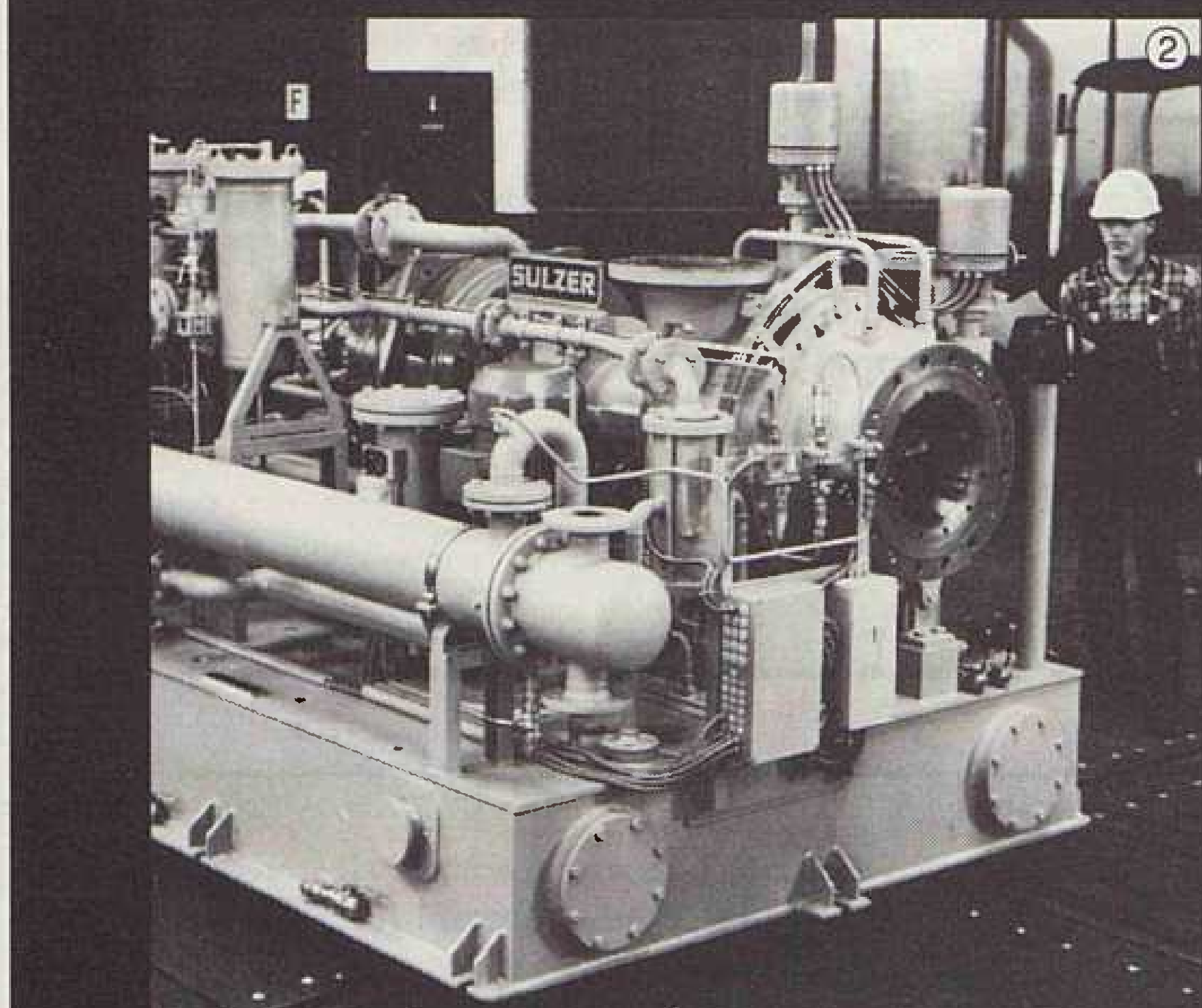
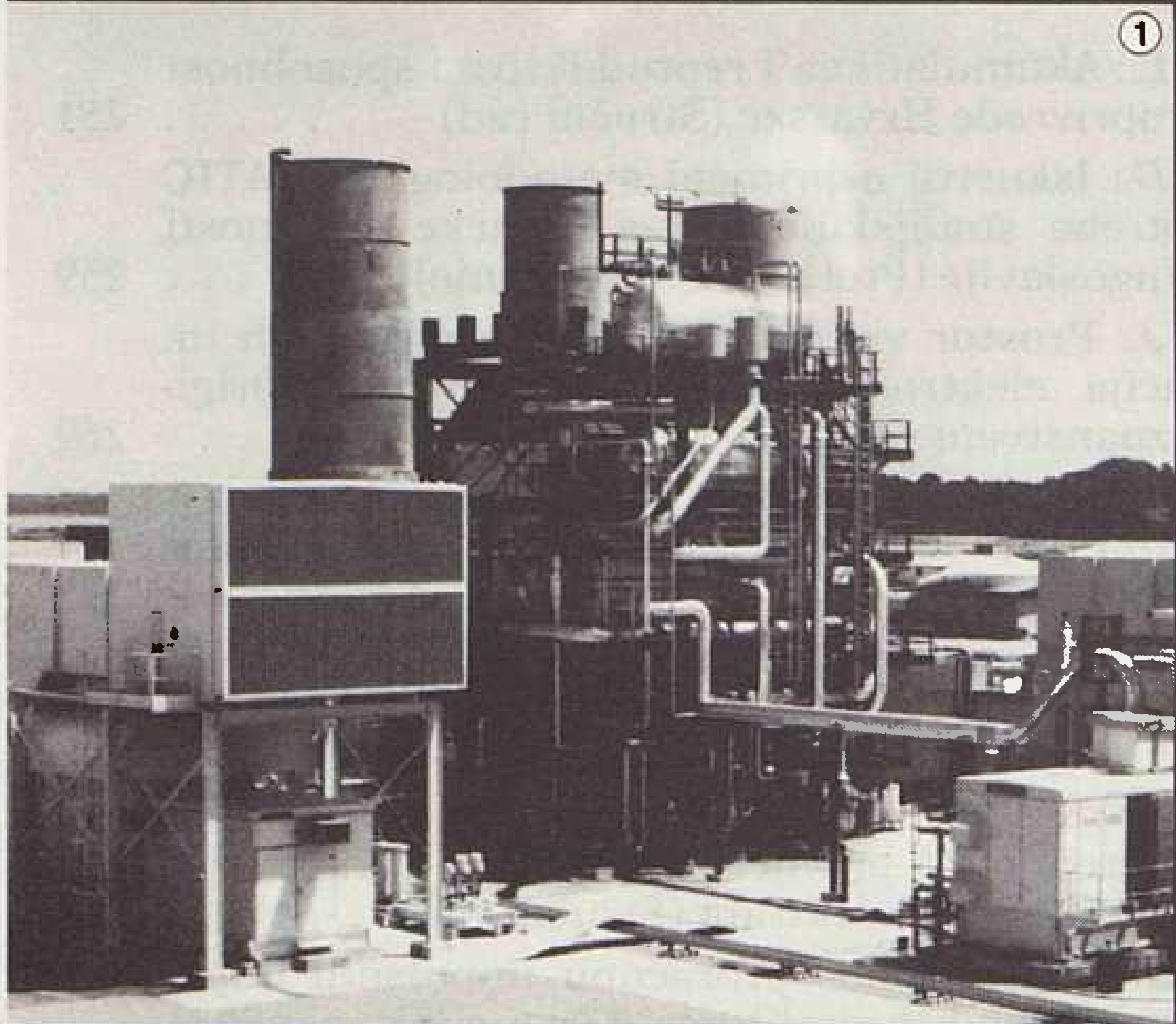
⑥ Kotlovska napojna pumpa za 600 MW-termoelektranu u Nizozemskoj.

## 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



# AKUMULATIVNA I REPRODUKTIVNA SPOSOBNOST ELEKTROPRIVREDE HRVATSKE

Mr. Luka Staničić, Zagreb

UDK 621.31 (497.1)

STRUČNI RAD

Analizirana je, na temelju ostvarenih rezultata u razdoblju 1985-1988. godine, financijska efikasnost, akumulativnost i reproduktivna sposobnost elektroprivrede Hrvatske.

**Ključne riječi:** elektroprivreda, razvoj, akumulativnost, reproduktivna sposobnost.

Pojam investicija usko je povezan s pojmom akumulacije. Ekonomsku kategoriju akumulacije u smislu proširene reprodukcije možemo adekvatno dovoditi u vezu samo s proizvodnim investicijama, odnosno s onim investicijama koje se ulažu u razne sektore privrede. Imajući na pameti i druge faktore što utječu na privredni razvoj, može se slobodno reći da je proces privrednog razvoja funkcija procesa akumulacije i investiranja.

Kako je razvoj elektroprivrede usko povezan s razvojem ukupne privrede odnosno ne može se odvojeno promatrati izvan općeg društvenog razvoja, analiza procesa akumulacije u elektroprivredi vrlo je važna. Ta je važnost to veća što postoji najuža funkcionalna povezanost između procesa privrednog razvoja i procesa akumulacije.

Za određena sagledavanja društveno ekonomskog i materijalnog položaja elektroprivrede u procesu reprodukcije, ocjene mogućnosti financiranja daljnjeg materijalnog razvoja vlastitim sredstvima, nužno je identificirati sve relevantne faktore koji utječu na sam proces akumulacije u elektroprivredi odnosno na određeni stupanj njezine akumulativne i reproduktivne sposobnosti.

## 1. AKUMULATIVNOST

Akumulacija u ekonomskom smislu predstavlja proces dodavanja dijela viška proizvoda postojećim faktorima proizvodnje, tj. stvaranje uvjeta da privredni subjekt dio viška rada odvoji za proširenu reprodukciju. Stoga je akumulativnost elektroprivrede jedna od osnovnih varijabli koje determiniraju razvoj elektroprivrede. Razumljivo da su osnovni poticaji, stimulansi i motivi akumulacije izvedeni iz funkcije cilja izražene u postavci o maksimiranju dohotka i da energetska politika može utjecati na akumulativnost elektroprivrede samo u granicama zadanih parame-

tara. Ovi parametri svakako su bili važni činioci koji su utjecali da elektroprivredna djelatnost u Hrvatskoj ima u prosjeku vrlo niske stope interne akumulativnosti. Ta se ocjena može prikladno ilustrirati kroz odnos sredstava interne akumulacije naprama prosječno korištenim poslovnim sredstvima.

**Tablica 1. Stopa interne akumulativnosti**

	Godina				%
	1985.	1986.	1987.	1988.	
Privreda	5,60	4,45	2,92	3,39	
Industrija	4,94	4,13	2,46	2,69	
Elektroprivreda	0,44	0,61	1,15	0,85	

Izvor podataka: Informacija o financijskim rezultatima OUR-a iz privrede prema podacima završnih računa za 1986, 1987. i 1988. godinu, SDK u SRH, Centrala Zagreb

Ovaj pokazatelj označava koliko se dinara akumulacije ostvaruje na 100 dinara prosječno korištenih poslovnih sredstava.

Uspoređujući navedene podatke, zapaža se vrlo niska stopa interne akumulativnosti elektroprivrede Hrvatske, što je uostalom karakteristika privrede odnosno industrije u zadnjih nekoliko godina, s tom razlikom što privreda ipak ostvaruje nekoliko puta veću akumulaciju na jedinicu prosječno korištenih poslovnih sredstava od elektroprivrede.

Za elektroprivredu koja u proizvodnom procesu koristi veći potencijal poslovnih sredstava nužna su i veća financijska sredstva za obnavljanje postojećih i izgradnju novih kapaciteta i za uvođenje suvremene tehnologije. Logično bi bilo da ta grana ostvaruje i adekvatnu akumulaciju. Međutim, imamo situaciju da elektroprivreda raspolaže visokim potencijalom poslovnih sredstava, a da ostvaruje vrlo nisku stopu akumulativne sposobnosti.

Taj skroman udio akumulativnih sredstava elektroprivredne djelatnosti u ukupno ostvarenim sredstvima interne akumulacije privrede odnosno industrije u Hrvatskoj ilustriraju sljedeći podaci:

**Tablica 2. Udio sredstava interne akumulacije elektroprivrede u ukupnim sredstvima interne akumulacije privrede odnosno industrije u Hrvatskoj**

	Godina			
	1985.	1986.	1987.	1988.
Privreda	0,50	0,81	2,57	1,78
Industrija	1,13	1,72	6,05	4,42

Izvor podataka: Informacija o financijskim rezultatima OUR-a iz privrede prema podacima završnih računa za 1986, 1987. i 1988. godinu, SDK u SRH, Centrala Zagreb

**Tablica 3. Udio prosječno korištenih poslovnih sredstava elektroprivrede u prosječno korištenim poslovnim sredstvima privrede odnosno industrije u Hrvatskoj**

	Godina			
	1985.	1986.	1987.	1988.
Privreda	6,35	6,18	6,52	7,07
Industrija	12,57	12,11	12,93	13,91

Izvor podataka: Informacija o financijskim rezultatima OOUR-a iz privrede prema podacima završnih računa za 1986, 1987. i 1988. godinu, SDK u SRH, Centrala Zagreb

Iz navedenih podataka zapaža se da je stopa interne akumulativnosti elektroprivrede bila u obrnutom razmjeru s razinom korištenja poslovnih sredstava, što upućuje na nedovoljnu efikasnost i rentabilnost uloženi sredstava u procesu reprodukcije u elektroprivredi.

Razumljivo da je elektroprivreda s vrlo niskom stopom akumulativne sposobnosti u izrazito nepovoljnom ekonomskom položaju na tržištu i da u financiranju proširene reprodukcije uglavnom ovisi od eksternih izvora financiranja.

U svakom slučaju, može se s mnogo osnova argumentirati navedena ocjena da su u promatranom razdoblju stope interne akumulativnosti elektroprivrede bile vrlo niske i nezadovoljavajuće jer ne osiguravaju pretpostavke za značajniji udjel vlastitih sredstava u financiranju proširene reprodukcije.

Akumulativna sposobnost ovisi o nizu objektivnih i subjektivnih činilaca, a prvenstveno od stupnja učinka korištenih poslovnih sredstava, ekonomskog položaja u primarnoj i sekundarnoj raspodjeli te politike privrednog subjekta u raspoređivanju čistog dohotka (interna raspodjela).

Stupanj učinka korištenih poslovnih sredstava u velikoj mjeri utječe na akumulativnost elektroprivrede. Poslovna sredstva u procesu reprodukcije u znatnoj mjeri su determinirana samom prirodom tehnološkog procesa. Naime, održavanje ravnoteže između

potrošnje i proizvodnje električne energije zahtijeva adekvatnu i kontinuiranu izgradnju novih i proširenje postojećih elektroenergetskih kapaciteta. Sredstva za rad u elektroprivrednoj djelatnosti, odnosno kapacitet tih sredstava — kao njihova kvalitativna i kvantitativna sposobnost za proizvodnju električne energije u širem smislu — predstavljaju potencijalnu snagu koja je na raspolaganju elektroenergetskom sistemu da bi se u danim uvjetima u određenom vremenu proizvela električna energija i time zadovoljio određeni nivo potrošnje uz određen stupanj sigurnosti opskrbe potrošača. Stoga elektroenergetski sistem mora biti izgrađen prema maksimalnom intenzitetu potražnje odnosno mora biti izgrađen da zadovolji potražnju električne energije u doba njezine najveće potrošnje.

Važna pretpostavka rasta elektroenergetskih kapaciteta jest planiranje porasta potrošnje električne energije. Predviđanje potrošnje električne energije je temeljna komponenta u planiranju razvoja elektroprivrede, jer se prema njoj određuje potrebna izgradnja elektroenergetskog sistema. Pogreške u predviđanju potrošnje, a prema tome i u dinamici izgradnje elektroenergetskih postrojenja mogu imati značajan utjecaj na sigurnost opskrbe potrošača električnom energijom u slučaju podizgrađenosti sistema, odnosno u slučaju preizgrađenosti — nepotrebno investiranje i angažiranje značajnih financijskih sredstava iz i ovako ograničene društvene akumulacije. Posljedice i jedne i druge pogreške mogu biti velike.

Zbog neravnomjernih proizvodnih mogućnosti hidroelektrana u termoelektranama mora postojati rezervna snaga za svu razliku između najniže proizvodnje hidroelektrana i maksimalne potrošnje koja se želi podmiriti. Jasno da se u takvim uvjetima hidrološki faktor nameće kao objektivni i stvarni činilac o kojem ovisi stupanj korištenja kako hidroenergetskih, tako i termoenergetskih kapaciteta. Tako hidrološke prilike, kao prirodni faktor, postaju važan činilac o kome dijelom ovisi stupanj korištenja elektroenergetskih kapaciteta te razina angažiranih obrtnih sredstava u proizvodnom ciklusu.

Unatoč tome što ocjena stupnja učinka poslovnih sredstava zahtjeva sveobuhvatnije analize (stupnja korištenja kapaciteta, koeficijenta obrtaja obrtnih sredstava) na temelju bržeg rasta prosječno korištenih poslovnih sredstava od rasta ostvarenog dohotka, može se reći da se u elektroprivrednoj djelatnosti u racionalnom korištenju i efikasnosti poslovnih sredstava nalaze određene rezerve za povećanje akumulativnosti.

Uz ova kretanja potrebno je imati na umu da se je, u razdoblju od 1985. do 1988. godine, prosječni broj zaposlenih radnika (na bazi sati rada) u elektroprivredi Hrvatske povećao sa 18 058 radnika na 20 010 radnika odnosno za 10,8%. Razlike su značajne kako unutar same elektroprivrede i industrije odnosno privrede u cjelini. To podesno ilustriraju sljedeći podaci:

**Tablica 4. Stopa rasta zaposlenih radnika (1985-1988. godine)**

	%
Privreda	5,38
Industrija	5,74
Elektroprivreda	10,81

Izvor podataka: Informacija o financijskim rezultatima OUR-a iz privrede prema podacima završnih računa za 1986, 1987. i 1988. godinu, SDK u SRH, Centrala Zagreb

Materijalna opremljenost rada u elektroprivredi u odnosu na privredu i industriju, gledana kroz prosječno korištena poslovna sredstva po radniku bila je slijedeća:

**Tablica 5. Prosječno korištena poslovna sredstva po radniku (tekuće cijene)**10<sup>3</sup> dinara

	Godina			
	1985.	1986.	1987.	1988.
Privreda	5 384	8 569	15 900	45 250
Industrija	6 250	10 083	18 329	52 675
Elektroprivreda	22 924	34 301	66 335	203 934

Izvor podataka: Informacija o financijskim rezultatima OOUR-a iz privrede prema podacima završnih računa za 1986, 1987. i 1988. godinu, SDK u SRH, Centrala Zagreb

Ovaj pokazatelj upućuje na zabrinjavajuće stanje što elektroprivreda s visokom vrijednosti poslovnih sredstava po radniku ostvaruje vrlo nisku stopu akumulativnosti. Može se zaključiti da visoka materijalna opremljenost rada sredstvima u elektroprivredi ne rezultira financijskim efektima koji se od takvog stupnja opremljenosti rada očekuju. Naprotiv, radi se o djelatnosti koja posluje s gubicima ili s akumulativnošću koja nije primjerena visokoj opremljenosti rada sredstvima.

Osim od racionalnosti korištenja poslovnih sredstava, veličina akumulacije odnosno akumulativnost elektroprivrede znatno ovisi o ekonomskom položaju u primarnoj i sekundarnoj raspodjeli, kao i o politici elektroprivrednog subjekta u raspoređivanju dohotka.

Ekonomski položaj pojedinog privrednog subjekta u primarnoj raspodjeli formira se na tržištu. Odnosi nabavnih i prodajnih cijena je determinirana veličina dohotka koja je temeljna ekonomska kategorija za formiranje akumulacije kroz odnose u sekundarnoj raspodjeli i utvrđenoj politici interne raspodjele.

U analizi primarne raspodjele dohotka odnosno njegova stjecanja posredstvom robne razmjene, najčešće se koriste četiri pokazatelja: dohodak po radniku, prosječno korištena sredstva po radniku, dohodak po prosječno korištenim poslovnim sredstvima i do-

hodna stopa\* kao sintetički izraz prethodna tri parcijalna pokazatelja uvjeta stjecanja dohotka.

**Tablica 6. Ostvareni dohodak po radniku (tekuće godine)**10<sup>3</sup> dinara

	Godina			
	1985.	1986.	1987.	1988.
Privreda	1 474	2 767	5 354	16 647
Industrija	1 481	2 782	5 207	16 099
Elektroprivreda	1 236	3 623	9 873	25 594

Izvor podataka: Informacija o financijskim rezultatima OUR-a iz privrede prema podacima završnih računa za 1986, 1987. i 1988. godinu, SDK u SRH, Centrala Zagreb

Ovi pokazatelji pružaju nam mogućnost da izrazimo razlike u stjecanju dohotka koje su postojale između elektroprivrede i industrije te privrede u cjelini.

Razlike u ostvarenom dohotku po radniku i u materijalnoj opremljenosti rada poslovnim sredstvima po radniku između elektroprivrede i industrije odnosno privrede u cjelini očite su i u promatranom razdoblju bile su veće u korištenim poslovnim sredstvima po radniku. Dok se odnos u materijalnoj opremljenosti rada između elektroprivrede i privrede kreće iznad odnosa 4:1 u korist elektroprivrede (tablica 5), ostvareni dohodak po radniku u elektroprivredi kreće se od 30% do 84% iznad prosjeka privrede odnosno industrije, a u 1985. godini čak je za 16% bio niži od prosjeka privrede.

Razlike i stupanj odstupanja ostvarenog dohotka po radniku i korištenih poslovnih sredstava po radniku determiniraju i druga dva pokazatelja u analizi primarne raspodjele, tj. ostvareni dohodak po korištenim poslovnim sredstvima i dohodnu stopu.

Financijsku efikasnost korištenih poslovnih sredstava, izraženu kroz odnos ostvarenog dohotka po radniku naprema prosječno korištenim poslovnim sredstvima po radniku, prezentiraju nam sljedeći koeficijenti.

**Tablica 7. Koeficijent financijske efikasnosti korištenih poslovnih sredstava**

	Godina			
	1985.	1986.	1987.	1988.
Privreda	0,274	0,323	0,337	0,368
Industrija	0,237	0,276	0,284	0,306
Elektroprivreda	0,054	0,105	0,149	0,125

Navedeni pokazatelj označava koliko se dinara dohotka ostvaruje na jedan dinar prosječno korištenih poslovnih sredstava.

Unatoč tome što elektroprivreda koristi znatno veći potencijal poslovnih sredstava po radniku od prosje-

\* Dohodna stopa može se izraziti:

$$D' = \frac{D/R}{S/R + \text{prosječan } D/R} \times 100$$

DR = dohodak po radniku  
SR = sredstva po radniku

ka koji ima industrija odnosno privreda, ona ostvaruje i do pet puta manji dohodak po prosječno korištenim poslovnim sredstvima (tablica 7). Poboljšanje financijske efikasnosti korištenih poslovnih sredstava u elektroprivredi u odnosu na 1985. godinu je izvjesno. Međutim, treba imati na umu inflatorni karakter dohotka, te problem očuvanja realne vrijednosti korištenih poslovnih sredstava zbog još uvijek nedovoljno aktualne revalorizacije poslovnih sredstava (naročito osnovnih sredstava), što znatno devalvira postignute rezultate. Koeficijent financijske efikasnosti korištenih poslovnih sredstvima još je jedan od pokazatelja nedovoljne efikasnosti i rentabilnosti uloženi sredstava u procesu reprodukcije u elektroprivredi.

Tablica 8. Dohodna sredstva

	Godina			
	1985.	1986.	1987.	1988.
Privreda	21,49	24,41	25,19	26,89
Industrija	19,17	21,62	22,12	23,41
Elektroprivreda	5,11	9,55	12,95	11,5

Budući da je dohodna stopa sintetički izraz triju parcijalnih pokazatelja uvjeta stjecanja dohotka (dohotka po radniku, materijalne opremljenosti rada sredstvima po radniku i dohotka po korištenim poslovnim sredstvima), izvjesno je da na apsolutnu veličinu dohodne stope u elektroprivredi i njezin odnos prema prosječnoj dohodnoj stopi u privredi SR Hrvatske ne utječe ništa drugo do ukupna masa i raspored uvjeta i rezultata rada (sredstava, radnika i dohotka) između elektroprivrede i privrede u cjelini. Stoga odstupanje dohodne stope elektroprivrede od prosječne dohodne stope privrede pruža pouzdanu osnovu za procjenu stvarnih razlika u stjecanju dohotka koje među njima postoje.

U dohotku kao svojevrsnom izrazu novostvorene vrijednosti sadržana su i sredstva koja služe ne samo za podmirivanje potreba samog privrednog subjekta već i drugih društvenih potreba. Zbog toga na dohodak kao temeljnu ekonomsku kategoriju društvo utječe različitim metodama i sredstvima kako bi se njegovom raspodjelom osigurala sredstva za zajedničke i opće društvene potrebe i za ostale namjene. Na taj način svi nosioci različitih područja društvene aktivnosti pribavljaju potrebna sredstva za život i rad. Upravo tu raspodjelu ostvarenog odnosno raspoređenog dohotka na sva davanja iz dohotka s jedne strane i čistog dohotka koji ostaje na raspolaganju samom privrednom subjektu (za osobnu potrošnju i akumulaciju) s druge strane nazivamo sekundarnom raspodjelom.

U elektroprivredi Hrvatske, raspoređeni dohodak po radniku u razdoblju 1985-1988. godine, porastao je 13,8 puta (tablica 10). U istom razdoblju ukupna davanja iz dohotka po radniku: za podmirenje potreba same elektroprivrede (kamate, premije osiguranja, takse i ostale naknade), za zajedničke potrebe (doprinosi iz dohotka za obrazovanje, nauku i kulturu, mi-

rovinsko i invalidsko osiguranje, zdravstvo, socijalnu zaštitu i dr.) i za općedruštvene potrebe (porezi iz dohotka općini, republici) porasla su za 14,3 puta. Zbog bržeg porasta tih izdvajanja od porasta dohotka po radniku, u promatranom razdoblju bila je prisutna tendencija stalnog smanjivanja udjela čistog dohotka u raspoređenom dohotku po radniku (tablica 9). Stalno povećanje udjela ukupnih davanja iz dohotka i smanjivanje dijela dohotka koji ostaje na raspolaganju privrednom subjektu u njegovu raspoređenom dohotku bila je opća tendencija sekundarne raspodjele dohotka u privredi Hrvatske. Ovi negativni procesi sa stajališta privrednog subjekta, dakako, prisutni su i u elektroprivredi, posljedično očitovani u vrlo niskoj akumulativnoj sposobnosti elektroprivrede. Unatoč tome što se udio čistog dohotka u raspoređenom dohotku po radniku u privredi i industriji Hrvatske smanjivao, ovaj udio u 1988. godini još uvijek je iznad udjela elektroprivrede za 13,4% u industriji i za 18,9% u privredi (tablica 9). Stoga odstupanje udjela čistog dohotka u raspoređenom dohotku po radniku od prosječnog u privredi pruža pouzdanu osnovu za procjenu ekonomskog položaja elektroprivrednog subjekta u sekundarnoj raspodjeli dohotka.

Tablica 9. Udio čistog dohotka u raspoređenom dohotku po radniku

	Godina			
	1985.	1986.	1987.	1988.
Privreda	73,2	70,2	66,7	63,6
Industrija	71,6	67,9	63,2	59,5
Elektroprivreda	53,4	40,6	49,6	51,6

Izvor podataka: Informacija o financijskim rezultatima OUR-a iz privrede prema podacima završnih računa za 1986, 1987. i 1988. godinu, SDK u SRH, Centrala Zagreb

Tablica 10. Raspoređeni dohodak po radniku (tekuće cijene)

	Godina			
	1985.	1986.	1987.	1988.
Privreda	1 513	2 861	5 693	17 324
Industrija	1 554	2 959	5 731	17 449
Elektroprivreda	1 978	5 558	10 336	27 286

Izvor podataka: Informacija o financijskim rezultatima OUR-a iz privrede prema podacima završnih računa za 1986, 1987. i 1988. godinu, SDK u SRH, Centrala Zagreb

Nesporno je da je prisutnost tendencije stalnog smanjivanja dijela dohotka koji ostaje na raspolaganju privrednom subjektu vrlo negativno utjecalo na privredne tokove, jer vodi stalnom smanjivanju sredstava namjenjenih osobnoj potrošnji i akumulaciji. Uočava se da su izdvajanja iz dohotka u raspoređenom dohotku po radniku u elektroprivredi (tablica 11) na znatno većoj razini nego prosječna izdvajanja u industriji odnosno privredi. U 1986. godini odnos je

bio čak 1:1,58. Jasno je da je u tom slučaju udio dohotka po radniku koji ostaje na raspolaganju elektroprivrednom subjektu vrlo nizak. Imamo li na pameti razliku u materijalnoj opremljenosti rada po radniku, onda je očito da visoka opremljenost rada sredstvima u elektroprivredi ne rezultira financijskim efektima koji se od takvog stupnja opremljenosti rada očekuju.

Tablica 11. Izdvajanja iz dohotka po radniku

	Godina			
	1985.	1986.	1987.	1988.
Privreda	37,8	43,1	49,1	50,4
Industrija	38,9	44,7	51,7	53,7
Elektroprivreda	56,8	68,2	61,0	58,8

Izvor podataka: Informacija o financijskim rezultatima OUR-a iz privrede prema podacima završnih računa za 1986, 1987. i 1988. godinu, SDK u SRH, Centrala Zagreb

Tablica 12. Dio dohotka za poduzeće po radniku

	Godina			
	1985.	1986.	1987.	1988.
Privreda	62,2	56,9	50,9	49,6
Industrija	61,1	55,3	48,3	46,3
Elektroprivreda	43,2	31,8	39,0	41,2

Izvor podataka: Informacija o financijskim rezultatima OUR-a iz privrede prema podacima završnih računa za 1986, 1987. i 1988. godinu, SDK u SRH, Centrala Zagreb

Procesu smanjivanja dijela dohotka koji ostaje na raspolaganju privrednim subjektima pridonijela su i dijelom sredstva i instrumentarij, kojim se u sekundarnoj raspodjeli zahvaća dio dohotka za financiranje zajedničke i opće društvenih potreba. To posebno dolazi do izražaja kod niskoakumulativnih privrednih subjekata, u koje svakako spada i elektroprivreda. Naime, za financiranje zajedničkih potreba, dohodak elektroprivrede zahvaća se putem linearnih stopa ne vodeći brigu o ekonomskoj snazi elektroprivredne djelatnosti. Pritome se zaboravlja da je ostvareni dohodak po radniku odnosno po prosječno korištenim poslovnim sredstvima osnova stvarnih mogućnosti svih vidova potrošnje (opće, zajedničke, investicijske i osobne) privrednog subjekta. Očito da su metode i sredstva, u jednom dugom razdoblju imale negativan utjecaj na ekonomski položaj privrednih subjekata u cjelini. Nikada prije privreda nije više izdvajala iz dohotka za zajedničke i opće društvene potrebe, a da je ekonomski položaj privrednih subjekata bio na tako niskom nivou. Nažalost, ni položaj djelatnosti od zajedničkog i opće društvenog interesa ni u kojem slučaju ne zadovoljava. Stoga se nameće potreba za radikalnim promjenama i to ne samo u privrednom sistemu.

Veličina akumulacije ovisi o značajnoj mjeri i od politike privrednog subjekta u raspoređivanju čistog dohotka. Nesporno je da odnosi u internoj raspodjeli ovise od položaja privrednog subjekta u primarnoj i sekundarnoj raspodjeli. Prisutna tendencija povećanja ukupnih izdvajanja iz dohotka i smanjivanja udjela čistog dohotka u raspoređenom dohotku elektroprivrede, imala je odraza i na internu raspodjelu dohotka, tj. na njegovu raspodjelu na osobnu potrošnju radnika i akumulaciju. To dobro ilustriraju i sljedeći podaci:

Tablica 13. Udio neto osobnih dohodaka u raspoređenom čistom dohotku

	Godina			
	1985.	1986.	1987.	1988.
Privreda	47,3	54,9	58,6	56,3
Industrija	46,0	53,2	58,3	56,4
Elektroprivreda	60,7	59,6	52,7	52,1

Izvor podataka: Informacija o financijskim rezultatima OUR-a iz privrede prema podacima završnih računa za 1986, 1987. i 1988. godinu, SDK u SRH, Centrala Zagreb

Tablica 14. Udio sredstava interne akumulacije u raspoređenom čistom dohotku

	Godina			
	1985.	1986.	1987.	1988.
Privreda	27,2	19,9	12,2	13,9
Industrija	27,7	21,5	12,4	13,7
Elektroprivreda	9,6	9,3	14,9	12,4

Izvor podataka: Informacija o financijskim rezultatima OUR-a iz privrede prema podacima završnih računa za 1986, 1987. i 1988. godinu, SDK u SRH, Centrala Zagreb

Sam nivo raspoređenog čistog dohotka po radniku determinirao je odnose u internoj raspodjeli dohotka, dakle odnose između sredstava osobne potrošnje i sredstava interne akumulacije. Realno je bilo očekivati da će padom udjela čistog dohotka u raspoređenom dohotku u privredi sa 73,2% u 1985. godini na 63,6% u 1988. godini (tablica 9) doći do relativnog porasta udjela neto osobnih dohodaka u raspoređenom čistom dohotku, jer je intencija politike u tom razdoblju bila u očuvanju realne visine osobnih dohodaka. Unatoč takvom opredjeljenju kretanje neto osobnih dohodaka u raspoređenom čistom dohotku u elektroprivredi u obrnutom je razmjeru sa kretanjem u industriji odnosno privredi (tablica 13). Jasno, opredjeljujući se za procese i odnose kakve je službena politika uspostavila prije svega u domeni sekundarne raspodjele, s mnogo osnova može se reći da je razvoj privrednih subjekata bio od sekundarnog značaja. Na to ukazuje i udio sredstava interne akumulacije u raspoređenom čistom dohotku (tablica 14). Ostvarena sredstva interne akumulacije vrlo

su skromna i od marginalnog značenja ne samo za razvoj elektroprivrede. Posljedice ovakvih privrednih kretanja su velike, dugotrajne i mukotrpne, što, uostalom, i osjećamo.

## 2. REPRODUKTIVNA SPOSOBNOST

Reprodukcija u ekonomskom smislu predstavlja ne samo sposobnost privrednog subjekta da postojećim faktorima proizvodnje obnavlja proizvodni proces na istoj razini već da dijelom viška rada osigura osnovne pretpostavke i za proširenu reprodukciju.

Osim činilaca o kojima ovisi akumulativna sposobnost privrede odnosno pojedinoga privrednog subjekta (opći uvjeti privređivanja, efikasnost korištenja poslovnih sredstava i racionalnost poslovanja, ekonomskog položaja u primarnoj i sekundarnoj raspodjeli, politike interne raspodjele), na visinu sredstava za reprodukciju znatno utječe još i politika obračuna amortizacije.

Ti parametri svakako su bili važni činioci koji su utjecali na nisku i nezadovoljavajuću razinu sredstava za reprodukciju elektroprivredne djelatnosti, što je uostalom karakteristika i privrede u cjelini. Ta se ocjena može dobro ilustrirati kroz odnos sredstava za reprodukciju naprama prosječno korištenim poslovnim sredstvima.

Tablica 15. Stopa reproduktivne sposobnosti

	Godina			
	1985.	1986.	1987.	1988.
Privreda	9,80	8,99	6,71	6,76
Industrija	9,44	8,76	6,68	6,36
Elektroprivreda	5,13	5,68	5,80	4,78

Izvor podataka: Informacija o financijskim rezultatima OUR-a iz privrede prema podacima završnih računa za 1986, 1987. i 1988. godinu, SDK u SRH, Centrala Zagreb

Navedeni pokazatelj označava koliko se dinara sredstava za reprodukciju ostvaruje na svakih 100 dinara prosječno korištenih poslovnih sredstava. Razumije se da su povoljnijem ekonomskom položaju oni privredni subjekti s većom stopom reproduktivne sposobnosti i obratno.

Struktura sredstava za reprodukciju različita je po pojedinim privrednim djelatnostima, što je ostalom i razumljivo s obzirom na to da ona ovise od nivoa sredstava akumulacije i vrijednosti osnovnih sredstava korištenih za obavljanje određene djelatnosti. U pravilu, u niskoakumulativnim privrednim djelatnostima, a koje su ujedno kapitalno intenzivne, kao što je to elektroprivreda, u ukupnim sredstvima za reprodukciju dominira amortizacija obračunata po propisanim minimalnim stopama, što je sasvim logično s obzirom na raspoloživ visoki potencijal osnovnih sredstava. Unatoč tome je očito da je u elektroprivredi zanemarena vrlo značajna funkcija amor-

tizacije i njezin osnovni cilj u očuvanju integriteta osnovnih sredstava.

Razina reproduktivne sposobnosti elektroprivrede Hrvatske, kao i privrede u cjelini, vrlo je niska i ne odgovara zahtjevima i potrebama bržeg privrednog razvoja. Zoran primjer je i podatak da bi za nadoknađivanje vrijednosti prosječno korištenih poslovnih sredstava sredstvima za reprodukciju ostvarenim u 1988. godini trebalo za privredu u cjelini 15 godina, a za elektroprivredu 21 godinu, i to uz pretpostavku da se cjelokupan iznos ostvarenih sredstava za reprodukciju može upotrijebiti za nadoknađivanje poslovnih sredstava. Međutim, stvarno vrijeme potrebno za nadoknadu vrijednosti poslovnih sredstava znatno je duže jer je znatan dio od ostvarenih sredstava za reprodukciju već unaprijed angažiran za određene obveze (otplate prema dugoročnim kreditima, zajmovi za nedovoljno razvijene, udruživanje sredstava za financiranje razvoja krupne privredne infrastrukture). Takve vrijednosti, nažalost, prisutne su u privredi dugi niz godina bez nagovještaja da se takvi odnosi uskoro i promjene.

U svakom slučaju može se s mnogo osnova zaključiti da ostvarena sredstva za reprodukciju još uvijek ne stvaraju pretpostavke za značajniji udio vlastitih sredstava u financiranju reprodukcije elektroprivrede, a niti privrede, i da financiranje proširene reprodukcije uglavnom ovisi o eksternim izvorima financiranja.

## 3. ZAKLJUČAK

Na osnovi podataka o veličini stope interne akumulativnosti može se s mnogo osnova argumentirati ocjena da su u promatranom razdoblju stope interne akumulativnosti elektroprivrede vrlo niske i nezadovoljavajuće. Niske stope interne akumulativnosti znak su nedovoljne efikasnosti i rentabilnosti uložnih sredstava u procesu reprodukcije. U racionalnom korištenju i efikasnosti poslovnih sredstava, u svakom slučaju, nalaze se određene rezerve za povećanje akumulativnosti.

Razina reproduktivne sposobnosti elektroprivrede Hrvatske, kao i privrede u cjelini, vrlo je niska i ne odgovara zahtjevima i potrebama bržeg razvoja. Razumljivo da je elektroprivreda s vrlo niskom stopom akumulativne odnosno reproduktivne sposobnosti u izrazito nepovoljnom ekonomskom položaju na tržištu i da su financiranju proširene reprodukcije uglavnom ovisi od eksternih izvora financiranja.

Ova energetska grana morala bi ostvarivati takav višak rada kojim bi bar 1/3 potrebnih financijskih sredstava financirala vlastiti razvoj. Proces dodavanja viška rada postojećim faktorima proizvodnje u elektroprivredi odvija se upravo u obrnutom smjeru, tako da u ovoj djelatnosti, već duže vrijeme, materijalna opremljenost rada sredstvima ne rezultira financijskim efektima koji se od takvog stupnja opremljenosti rada očekuju. Naime, radi se o djelatnosti koja posluje s gubicima ili s akumulativnošću koja nije primjerena visokoj opremljenosti rada sredstvi-



ma. Stoga se nameće potreba za racionalnijim i efikasnijim korištenjem poslovnih sredstava u elektroprivredi, jasno uz promjene odnosa u primarnoj i sekundarnoj raspodjeli dohotka, kako bi proces akumulacije u elektroprivrednoj djelatnosti mogao biti u funkciji procesa privrednog razvoja.

**ACCUMULATION AND REPRODUCTION OF ELECTRIC POWER ENTERPRISES IN CROATIA**

In the article is analysed on the base of 1985–1988 year data, financial effectiveness and reproduction capabilities of electric power enterprises of Croatia.

**AKKUMULATIVE UND REPRODUKTIVE FÄHIGKEIT DER KROATISCHEN ELEKTROWIRTSCHAFT**

Aufgrund der Ergebnisse von 1985–1988 wurden die finanzielle Leistung und die reproduktive Fähigkeit der kroatischen Elektrowirtschaft analysiert.

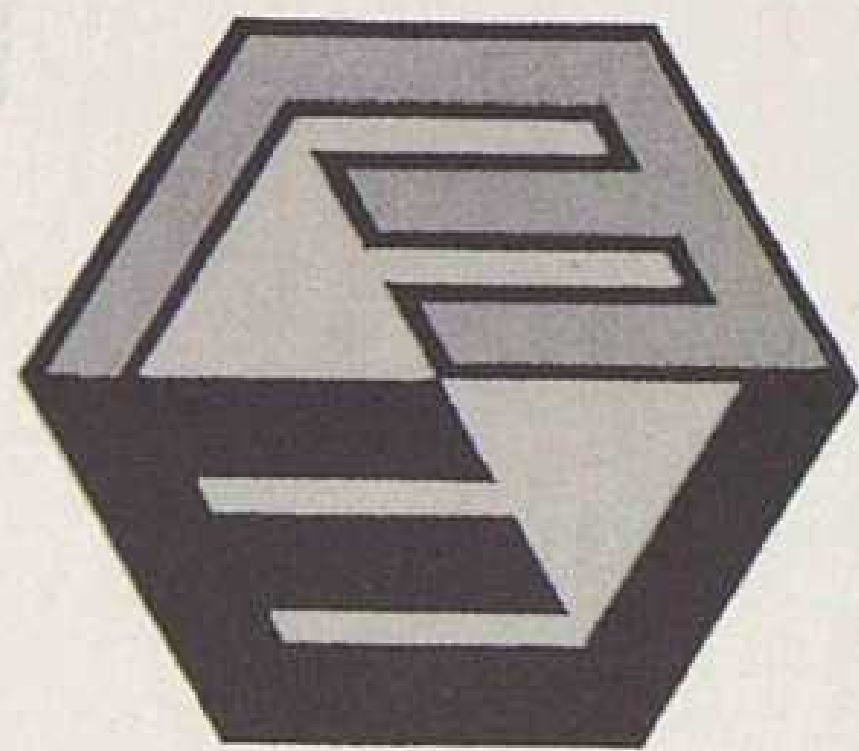
**АККУМУЛЯТИВНАЯ И РЕПРОДУКТИВНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВА ХОРВАТИИ**

На основании о существившихся результатов в период 1985–1988 гг., анализируется финансовая эффективность и репродуктивная способность электрохозяйства Хорватии.

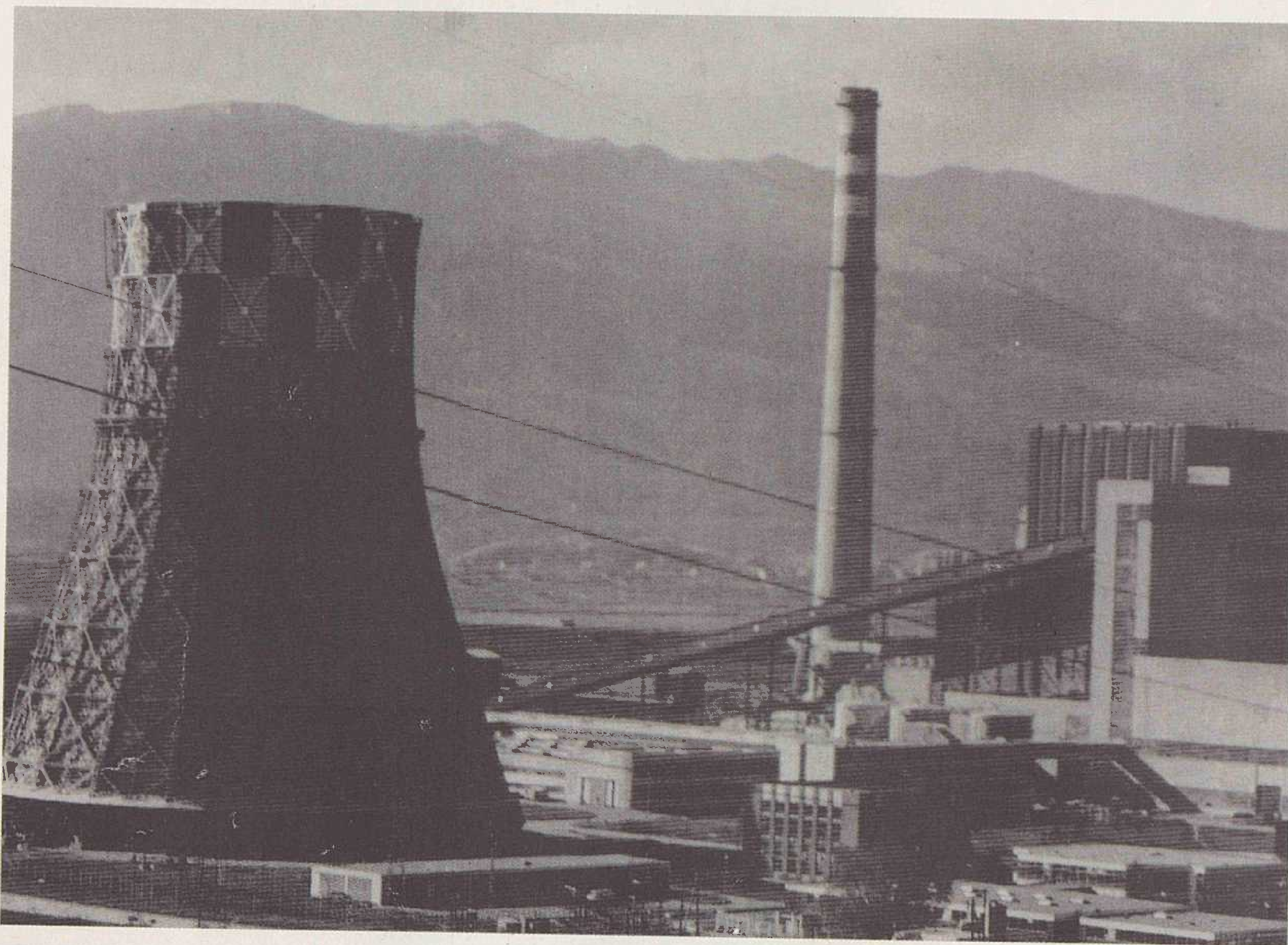
Naslov pisca:

**Mr. Luka Staničić, dipl. ecc.  
Institut za elektroprivredu,  
41000 Zagreb,  
Proleterskih brigada 37,  
Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1990-04-02



# MONTING ENERGETIKA ZAGREB



TE »GACKO« – Gacko: Kompletna montaža bloka 1 instalirane snage  $1 \times 300$  mW, 1982. godine.  
Rekonstrukcija kotla kapaciteta 990 t/h pare i kapitalni remont turbogeneratorsa 300 MW, 1989. godine.

PODUZEĆE ZA IZGRADNJU,  
PROIZVODNJU OPREME I  
MONTAŽU ENERGETSKIH I  
INDUSTRIJSKIH OBJEKATA

41000 ZAGREB  
Kesterčanekova 1

Telefoni:

Centrala	041/217-700
Generalni direktor	235-644
Komercijalni sektor	235-270
Tehnički sektor	233-880
Financijski sektor	234-007
Kadrovski sektor	233-878
Telex	21473 yu mont
Telefax	235-560

# ISKUSTVA U PRIMENI METODOLOGIJE STATIC ZA POTREBE STUDIJSKIH ANALIZA STATIČKE SIGURNOSTI EES JUGOSLAVIJE

Dr. Dragan Popović, Beograd

UDK 621.311.1 (497.1)

PRETHODNO PRIOPĆENJE

Izlažu se najznačajniji rezultati analiza statičke sigurnosti rada EES Jugoslavije, za karakteristične režime i poremećaje 1988. i 1990. godine, dobijeni primenom metodologije, odnosno računarskog programa STATIC, koji su razvijeni u Institutu »Nikola Tesla«. Dobijeni rezultati su omogućili da se izvrši dovoljno dobra procena posledica tretiranih poremećaja, kao i sagledavanje efekata niza mogućih dispečerskih akcija ako su one bile neophodne, respektujući dosadašnju pogonsku praksu EES Jugoslavije.

**Ključne reči:** metodologija, statička sigurnost, režim, poremećaj, dispečarska akcija.

## 1. UVOD

Radovi, ne samo iz ove problematike, obično počinju isticanjem značaja tretirane teme, u kontekstu njenog okruženja. Međutim, kako je danas problem obezbeđenja potrebnog nivoa sigurnog rada EES dobio prioritet i u najrazvijenijim zemljama sveta (dakle i bez navođenja dosadašnje pogonske prakse EES Jugoslavije), autorima priloga iz ove oblasti time je olakšano pisanje uvodnih delova, omogućujući im da odmah krenu sa osnovnim sadržajem i ciljem rada. U njemu se najpre, uz kraću rekapitulaciju korišćene metodologije, uz osvrt na neophodnu informacionu osnovu, izlažu najznačajniji rezultati Studije [1], uređene za potrebe Zajednice jugoslavenske elektroprivrede, u kojoj su se, prvi put, problemi sigurnosti rada EES Jugoslavije nalazili u funkciji operativnog planiranja pogona. Inače do sada, po pravilu, pitanje sigurnosti, uz respektovanje datih kriterijuma (na pr. (n-1), uz osvrt na (n-2)) obrađivano je u samo u studijama planiranja razvoja prenosne mreže.

Razvijena metodologija, odnosno računarski program STATIC, primenjena je u analizama statičke sigurnosti rada EES Jugoslavije, za karakteristične režime i poremećaje 1988. i 1990. godine. Široko odabrana lista raznovrsnih poremećaja, različitih po vrsti i težini, omogućila je da se sagledaju moguće njihove posledice, uz konstataciju da se za njihov najveći broj, odnosno za poremećaje koji se javljaju sa većim procentom verovatnoće, u režimima bez većih tranzita snaga u EES Jugoslavije, dobijaju ili sigurna postdinamička stanja ili takva stanja koja se, uz raspoložive dispečerske akcije, mogu transformisati u sigurna. Takođe, rad na Studiji [1], između ostalog, otvorio je veoma važan segment analiza sigurnosti — korektivno upravljanje, odnosno razmatranje efekata uvođenja odgovarajućih dispečerskih akcija ako su one bile neophodne (bilo automatski, po unapred

utvrđenim kriterijumima i algoritmima, bilo interaktivno), pitanje kojem u budućem radu treba posvetiti posebnu pažnju.

## 2. LISTA UPOTREBLJENIH OZNAKA

- N — ukupan broj, odnosno oznaka skupa svih čvorova EES;
- NG — ukupan broj, odnosno skup generatorskih čvorova;
- NSR — ukupan broj, odnosno skup generatora koji učestvuju u sekundarnoj regulaciji učestanosti i snaga razmene;
- M — broj, odnosno skup podsistema (bazena) u zajedničkom paralelnom radu;
- $\Delta f = f - f_n$  — odstupanje kvazistacionarne vrednosti učestanosti interkonekcije  $f$  od početne (nominalne) vrednosti  $f_n$  (Hz);
- $k_{pi}$  — konstanta primarne regulacije učestalosti »i«-tog generatora ( $-MW/Hz$ );
- $P_{GOi}$  — aktivna snaga »i«-tog generatora u polaznom ustaljenome stanju (MW);
- $s_{vi}$  — nagib statičke karakteristike napon-reaktivna snaga »i«-tog generatora (r. j.);
- $Q_{GOi}, V_{oi}$  — reaktivna snaga i napon na krajevima »i«-tog generatora u polaznom ustaljenom stanju (Mvar, odnosno kV);
- $P_i, Q_i$  — injektirana aktivna i reaktivna snaga u čvoru »i« (MW, odnosno Mvar);
- $P_{Li}, Q_{Li}$  — aktivna i reaktivna snaga potrošača u čvoru »i« (MW, odnosno Mvar);
- $B_{ij}$  — susceptansa elementa »i-j«;
- $k, l$  — iteracioni indeksi;
- $P_{Rj}, P_{RPj}$  — stvarni, odnosno programirani total snaga razmene »j«-tog bazena (MW);
- $B_j$  — konstanta sekundarne regulacije »j«-tog bazena (MW/Hz);

$\Delta RGS_j$  — regulaciona greška »j«-tog bazena (MW);  
 $DEB_j$  — veličina debalansa »j«-tog bazena (MW);  
 $k_{si}^j$  — koeficijent participacije »i«-tog podsistema

### 3. KRAĆI PRIKAZ METODOLOGIJE ZA ANALIZU STATIČKE SIGURNOSTI

Primenjena metodologija, čiju materijalizaciju čini prototipni računarski program STATIC razvijena je u Institutu »Nikola Tesla«. Istraživanja na planu analiza sigurnosti EES započeta su u Studiji [2] koju je Institut »Nikola Tesla« uradio za potrebe ZEP-a, Beograd. Fundament razvijene metodologije baziran je na radovima [3–6], uz dalja poboljšanja različitog tipa (počev od poboljšanja odgovarajućih matematičkih metoda, algoritama i dr., pa sve do poboljšanja same tehnike rešavanja formiranih modela), što je izloženo u nizu radova [7–13], prezentiranih domaćoj i svetskoj stručnoj i naučnoj javnosti. Srazmerno velik broj radova posvećen razvoju i primeni metodologije i računarskog programa za studijske analize statičke sigurnosti EES proizišao je iz njene kompleksnosti (metodološke, methodske, modelske algoritamske, numeričke, računarske i dr.), koja je uslovlila da se njeni suštinski segmenti najpre pojedinačno evaluiraju, a zatim u celini, uz stalne dalje neophodne dopune i poboljšanja, kao i iz potrebe da u njenoj evaluaciji učestvuje što veći broj kompetentnih eksperata.

Razvijena metodologija bazirana je na sukcesivnom određivanju naponskih prilika i tokova snaga u karakterističnim postdinamičkim kvazistacionarnim stanjima EES (stanje nakon dejstva primarne regulacije napona i učestalosti, stanje nakon dejstva odgovarajućih dispečerskih akcija, ako su one bile neophodne, kao i stanje nakon dejstva automatske regulacije učestalosti i snaga razmene, uz prethodnu proveru, odnosno obezbeđenje uslova za njen nesmetani rad. Potrebne veličine za prva dva navedena stanja dobijaju se iterativnim rešavanjem sledeća dva raspregnuta sistema jednačina (prvi reda N, a drugi, u slučaju prisustva statičkih karakteristika napon-reaktivna snaga kod svih generatora, takođe reda N).

$$\begin{array}{c} \Delta P/V \\ \hline \Delta P_N/V_N \end{array}^k = \begin{array}{|c|c|} \hline H' & F' \\ \hline \end{array} \begin{array}{c} \Delta \delta \\ \hline \Delta(\Delta f) \end{array}^{k+1} \quad (1)$$

$$\Delta Q/V^l = L' V^{l+1} \quad (2)$$

Matrice koeficijenta  $H'$ ,  $F'$  i  $L'$  imaju konstantne vrednosti za nepromenjeno stanje grafa EES, odnosno

$$\begin{array}{l} H'_{ii} = V_n B_{ii} \quad i, j \in (1, N-1) \\ H'_{ij} = V_n B_{ij} \quad i \in (1, N), j \in (1, N-1) \\ F'_i = -k_{pi}/V_n \quad i = 1, NG \\ F'_i = 0 \quad i \in (NG+1, N) \\ L'_{ii} = Q_{GOi}/(s_{vi} V_{oi}^2) + B_{ii} \quad i \in (1, NG) \end{array} \quad (3)$$

$$\begin{array}{l} L'_{ii} = B_{ii} \quad i \in (NG+1) \\ L'_{ij} = B_{ij} \quad i, j \in (1, N) \end{array}$$

Sa  $V_n$  je označena nominalna vrednost napona, a objašnjenja za ostale navedene veličine nalaze se u listi upotrebljenih oznaka.

Vektori debalansa  $\Delta P/V$  i  $\Delta Q/V$  imaju sledeće koordinate

$$\Delta P_i/V_i = (P_{GOi} + k_{pi}\Delta f - P_i)/V_i \quad (4)$$

$$\Delta P_i/V_i = (P_{Li} - P_i)/V_i \quad i \in (NG+1, N)$$

$$\Delta Q_i/V_i = [Q_{GOi} + Q_{GOi}(V_{vi} - V_i)/(s_{vi} V_{oi}) - Q_i]/V_i; \quad i \in (1, NG)$$

$$\Delta Q_i/V_i = (Q_{Li} - Q_i)/V_i \quad i \in (NG+1, N) \quad (5)$$

uz napomenu da je prva od relacija (5) napisana za slučaj polaznog induktivnog režima generatora ( $Q_{GOi} > 0$ ).

Sistemi (1) i (2) aktuelni su i za stanje EES nakon dejstva automatske sekundarne regulacije učestalosti i snaga razmene. Tada vektor debalansa  $\Delta P/V$  sadrži koordinate koje se odnose na regulacione elektrane:

$$\Delta P_i/V_i = (P_{GOi} + k_{pi}\Delta f + k_{si}^j DEB_j - P_i)/V_i \quad i \in NSR \quad (6)$$

a potrebne veličine debalansa, odnosno regulacionih grešaka bazena određuju se raspregnuto, tokom iterativnog rešavanja sistema (1) i (2), posredstvom relacije

$$\Delta RGS_j = P_{Rj} - P_{Rpj} + B_j \Delta f \quad j \in (1, M) \quad (7)$$

Dakle, osnovne varijable modela su uglovi  $\delta$  modula napona svih čvorova, sem referentnog, koji se proizvoljno bira (N – oznaka za referentni čvor), svi moduli napona i odstupanje kvazistacionarne vrednosti učestanosti  $\Delta f$ .

Uključivanje efekata automatskog frekventnog rastećenja potrošača (AFRP) u metodologiju analiza statičke sigurnosti EES praktično je realizovano davanjem jednog modula (AFRP) u računarski program STATIC [10, 13]. Njegova funkcija je da za poremećaje, koji mogu da dovedu do izolovanog rada EES (npr. ispadi generatora velikih snaga kod većih uvoza, uz prekid paralelnog rada) proceni da li će i kako reagovati sistem AFRP (npr. ako reaguje prvi, da li će reagovati i naredni stepen ili stepeni). Kada do reagovanja dođe, vrši se korekcija snaga potrošača za programirani iznos.

Takođe, tokom rada na Studiji [1] učinjen je niz dopuna i poboljšanja razvijene metodologije. Između ostalog omogućen je automatski tretman kaskadnog razvoja poremećaja, dosledno prateći efekte prekostrujne, odnosno termičke zaštite elemenata EES. Ujedno, omogućeno je određivanje pogonske impedanse koju »vide« pobudni organi distantne zaštite, čime se vrši odgovarajuća procena i mogućih efekata dejstva (po osnovu pobude) distantne zaštite. Dalje, proširena je mogućnost generisanja niza potrebnih dispečerskih akcija po unapred pripremljenim algoritmima, a značajno su poboljšane mogućnosti dijaloga sa računarom kada se to generisanje obavlja interaktivno. Takođe, učinjena dalja poboljšanja same tehnike rešavanja omogućila su efikasno tretiranje i najtežih poremećaja – raspada značajnih čvorišta,

što se danas smatra posebnim numeričkim izazovom.

#### 4. OSVRT NA NEOPHODNU INFORMACIONU OSNOVU ZA STUDIJSKE ANALIZE STATIČKE SIGURNOSTI EES JUGOSLAVIJE

##### 4.1. Podaci potrebni za određivanje tokova snaga u karakterističnim postdinamičkim stanjima

Kada je reč o određivanju tokova snaga u karakterističnim postdinamičkim stanjima, praktično se radi o odgovarajućem proširenju informacione osnove neophodne za obavljanje standardnih proračuna tokova snaga, a za koju se sada može reći da zadovoljava osnovne zahteve, imajući u vidu relativno dobro srede potrebne podloge o elementima EES Jugoslavije, npr. [14], a koje se neprekidno ažuriraju, u skladu sa nastalim promenama, npr. [15, 16]. Na taj način baze podataka neophodne za studijske analize statičke sigurnosti, odnosno za određivanje raspodele napona i tokova snaga u karakterističnim postdinamičkim stanjima EES, trebalo bi da sadrže sledeće dopunske veličine:

1. osnovne podatke o blok-transformatorima i generatorima (ako se njima nije operisalo za potrebe konvencionalnih analiza statičkih stanja) sa kojima se raspoložuje, odnosno čije prikupljanje i sređivanje ne predstavlja nikakav problem;
2. sve potrebne dopunske podatke za tačnije određivanje vrednosti ograničenja generatora po reaktivnoj snazi, što takođe ne predstavlja problem jer je reč o raspoloživim podacima;
3. podatke o podešenim vrednostima statizma po naponu za generatore čiji zakon regulacije pobude omogućuje formiranje statičke karakteristike napon-reaktivna snaga;
4. podatke o statizmima turbinske regulacije, veličine koje su takođe podesive i koje bi trebalo da se kreću u granicama, propisanim u [17];
5. podatke o statizmima primarne regulacije učestalosti susednih EES, (ekvivalentne vrednosti) gde dominantno mesto ima interkonekcija UCPTE;
6. podatke o sistemu automatske sekundarne regulacije učestalosti i snaga razmene (princip rada, regulacioni opseg, koeficijenti participacije regulacionih elektran, uslovi pri kojima se blokiraju, veličina prekomerne greške kada svi bazeni reaguju i dr.), koji su raspoloživi;
7. podatke o karakterima potrošačkih područja, a koja, za svrhe analize statičke sigurnosti, mogu da se tretiraju kao kombinovani potrošači.

Dakle, imajući u vidu prethodno rečeno, u principu, ne bi trebalo da se očekuju posebne teškoće kod formiranja valjane baze podataka, zahtevane karakterom i ciljem studijskih analiza statičke sigurnosti EES Jugoslavije, a što se i potvrdilo tokom rada na Studiji [1].

##### 4.2. Način formiranja statičkog ekvivalenta interkonekcije UCPTE i grčkog EES

Sadržaj Priloga II Studije [1] pokazuje da se u sadašnjem trenutku raspoložuje sa dovoljno efikasnom metodologijom za formiranje statičkih ekvivalenata, za potrebe analiza sigurnosti EES Jugoslavije. Predložen je konkretan tip ekvivalenta — aktivni P — Q ekvivalent, uz potrebna objašnjenja i obrazloženja, sa posebnim osvrtom na neophodnu bazu podataka i način njenog formiranja i ažuriranja.

Međutim, i pored činjenice da za vreme rada na Studiji [1] nije moglo da se raspoložuje svim potrebnim podacima, koje striktno zahteva predloženi tip ekvivalenta, bilo je moguće da se, držeći istih osnovnih principa kod njegovog formiranja odnosno funkcionisanja izvrši dovoljno dobra njegova aproksimacija. U te svrhe veoma značajnu pomoć dali su interni materijali Dispečerske službe ZJE [18], kao i sadržaj i podaci, izloženi u Studijama [19] i [20]. Analizom registrovanih osnovnih veličina po vodovima razmene sa UCPTE (u prvom redu promena aktivne snage), i promene učestanosti u celoj interkonekciji, za niz ispada značajnih generatora u EES Jugoslavije [18], koji su se dešavali u periodu 1986 — 1989. godine, formiran je ekvivalent UCPTE. To su ekvivalentne sinhronne mašine priključene na krajevima interkonektivnih dalekovoda, koje su u zbiru imale primarnu regulacionu konstantu 16 320 (— MW/Hz), za analize 1988. godine a 16 850 (— MW/Hz), za analize 1990. godine. Pri tome, Italija 400 kV (ekvivalentna sinhrona mašina na kraju poveznog voda sa Divačom 400 kV) participira sa 57%, Italija 220 kV (ekvivalentna mašina na kraju poveznog dalekovoda sa Divačom 220 kV), sa 17%, a Austrija 220 kV (mašina na kraju poveznog voda sa Podlogom 220 kV) sa 26%. Pri tome je značajno napomenuti da se registrovani »odzivi« po poveznim dalekovodima sa UCPTE vrlo dobro podudaraju sa »odživima«, dobijenih numeričkim putem u Studiji [20]. Grčki EES je takođe predstavljen ekvivalentnom sinhronom mašinom, priključenom na kraju poveznog dalekovoda 400 kV Dubrovo — Solun, sa primarnom regulacionom konstantom — 1400 MW/Hz, određenom prema podacima iz Studije [19]. Na taj način formirani ekvivalenti se veoma jednostavno inkorporiraju u primenjenu metodologiju za analize sigurnosti, a uvedena mogućnost tretiranja statičke karakteristike napon-reaktivna snaga sinhronih mašina obezbeđuje da se uvaži i odgovarajući »odziv« po reaktivnoj snazi susednih EES.

#### 5. KRAĆI PRIKAZ I KOMENTAR REZULTATA ANALIZE SIGURNOSTI EES JUGOSLAVIJE ZA 1988. I 1990. GODINU

##### 5.1. Kraći prikaz rezultata

Za 1988. godinu, u skladu sa [21] odnosno [22], izvršen je izbor sledećih karakterističnih režima:

- maksimalno opterećenje (treća sreda) u aprilu mesecu

- minimalno opterećenje (nedelja iza treće srede) u aprilu mesecu
- minimalno opterećenje u julu mesecu i
- maksimalno opterećenje u decembru mesecu.

Za analize 1990. godine tretirani su julski minimalni i maksimalni i decembarski maksimalni režimi, na bazi aktualizovanih podataka [1].

Izbor karakterističnih poremećaja je izvršen u zajednici sa Stručnom grupom ZJE za praćenje Studije [1], sastavljenom od stručnjaka sa velikim pogon-

skim iskustvom, što je izvršni izbor poremećaja i potvrdio. Ujedno, takav izbor je otvorio i veoma značajno pitanje formulisanja kriterijuma sigurnosti u kontekstu pogona i upravljanja EES, odnosno do kog nivoa poremećaja je neophodno obezbediti dalji siguran rad, za definisane pogonske uslove, jer nigde u svetu nema (a i ne treba da ima) EES koji su apsolutno sigurni.

S obzirom na veoma velik obim informacija koje analize sigurnosti mogu da daju postavljalo se pita-

**Tabela I. Izvod iz rezultata analize sigurnosti EES Jugoslavije za maksimalno opterećenje u decembru 1988. godine**

Red. broj	Poremećaj	Ocena stanja nakon poremećaja	Broj i vrsta narušenih ograničenja	Neophodnost dispečerske akcije	Napomena
Ispad sabirnica					
1.	RP Krško	N	1 NP	da	Postoji mogućnost naponskog sloma
2.	RP Đerdap	N	5 NP; 1 SP	da	Postoji mogućnost kaskadnog razvoja poremećaja
3.	RP Obrenovac A i B	NN		da	Raspad EES
4.	RP Obrenovac B	NN		da	Raspad EES
5.	RP TE Tuzla	NL		da	Prekid napajanja TS Gradačac i Đakovo
6.	RP Bajina Bašta	N	6 NP; 1 SP	da	
Ispad elektrana					
10.	NE Krško	S		da	Uz adekvatne dispečerske akcije
Ispad dalekovoda 400 kV					
13.	Mladost – Ernestinovo	N	2 SP	da	Potrebno je rasteretiti preopterećenje dalekovoda
14.	Krško – Maribor	S			
16.	Ugljevik – Ernestinovo	S			
19.	Đerdap – Bor	N	5 NP; 2 SP	da	Postoji mogućnost naponskog sloma
20.	Mostar – Konjsko	NL	1 SP	da	
Ispad dalekovoda 220 kV					
24.	Piva – Sarajevo	S			
25.	Kosovo A – Kosovo B	NN		da	Postoji mogućnost naponskog sloma
26.	Konjsko – Brinje – Mraclin	S			
29.	Tuzla – Zenica	S			
30.	B. Bašta – Požega	N	1 NP; 2 SP	da	
Ispad interkonektivnih dalekovoda					
35.	Veza sa UCPTE-om	S		da	

nje kako izabrati dovoljno racionalan, ali jasan način njihove prezentacije. U tom cilju, kao jedna od takvih mogućnosti, formirane su odgovarajuće tabele, date u priložima Studije [1], a ilustracije radi daju se sledeće tabele I i II, koje daju izvod iz rezultata analiza sigurnosti.

Upotrebljene oznake u njima imaju sledeće značenje:

- NN — nije bilo moguće da se uspostavi stanje EES nakon tretiranog poremećaja, a da su praktično isključeni numerički razlozi;  
 N . — uspostavljeno stanje u kome je došlo do prekoračenja naponskih i/ili strujnih ograniče-

nja, odnosno reč je o nesigurnom stanju EES;

- NL — stanje, čija nesigurnost ima pretežno lokalni karakter;  
 S — uspostavljeno sigurno stanje EES, odnosno stanje bez narušenih naponskih i strujnih ograničenja;  
 NP — oznaka za narušeno naponsko ograničenje;  
 NS — oznaka za narušeno strujno (termičko) ograničenje.

Tabela II. Karakteristike uočenih nesigurnih stanja iz tabele I.

Red. broj	Ispad elementa	Narušena naponska i/ili strujna ograničenja u stanju nakon dejstva primarne regulacije	Analizirane dispečerske akcije	Mogući efekti učinjenih dispečerskih akcija	Napomena
Ispad sabirnica					
1.	RP Krško	<i>Kritični naponi:</i> Zagreb 343 kV	Povećanje proizvodnje za oko 500 MW na raspoloživim elektranama, prvenstveno u Hrvatskoj, Sloveniji i Bosni i Hercegovini, uz obezbeđenje maksimalne proizvodnje reaktivne snage	Ako se neophodna korekcija proizvodnje ne izvrši adekvatno, stanje EES postaje još kritičnije (na primjer naponi u Zagrebu i Ernestinovu su 392 i 375 kV)	Postoji realna opasnost od naponskog sloma u zapadnom delu EES Jugoslavije
2.	RP Đerdap	<i>Kritični naponi:</i> Bor 370 kV Niš 376 kV Kraljevo 195 kV Kruševac 195 kV Leskovac 196 kV <i>Strujno preopterećenje:</i> Dalekovodi 220 kV: Obrenovac – Bgd. 3 (9%)	Povećanje generacije za oko 700 MW na elektranama u Srbiji i Crnoj Gori	Učinjene dispečerske akcije, uz kompenzaciju nastalog debalansa prema UCPT ne poboljšavaju prethodno stanje, koje je već bilo kritično	Postoji mogućnost naponskog sloma i daljeg kaskadnog razvoja poremećaja
3.	RP TE Tuzla	Nema pojave kritičnih napona i preopterećivanja elemenata ali dolazi do prekida napajanja TS Gradačac i Đakovo		Povoljni efekti	Potrebno je ponovo formiranje sabirnica u RP TE Tuzla, što se može uspešno obaviti
4.	RP B. Bašta	<i>Kritički naponi:</i> Vardište 191 kV Bistrica 191 kV U. Požega 190 kV Kraljevo 181 kV Kruševac 189 kV S. Mitrovica 189 kV <i>Strujna preopterećenja:</i> Dalekovod 220 kV Pljevlja – U. Požega (26%)	Povećanje za 650 MW na raspoloživim elektranama, prvenstveno u Srbiji, u cilju kompenzacije nastalog debalansa	Nepovoljni efekti, jer se dobija još kritičniji režim	Postoji mogućnost naponskog sloma i kaskadnog razvoja poremećaja
.....	.....	.....	.....	.....	.....

Red. broj	Ispad elementa	Narušena naponska i/ili strujna ograničenja u stanju nakon dejstva primarne regulacije	Analizirane dispečerske akcije	Mogući efekti učinjenih dispečerskih akcija	Napomena
Ispad elektrana					
7.	NE Krško	Nema	Povećanje ukupne generisane snage za oko 500 MW, u cilju eliminacije debalansa prema UCPTTE	Zavisno od elektrana koje kompenzuju nastali debalans	Generalno moguća stanja nakon dejstva dispečerskih akcija su lošija u odnosu na stanje nakon dejstva primarne regulacije
Ispad dalekovoda 400 kV					
10.	Mladost – Ernestinovo	<i>Strujna preopterećenja:</i> Dalekovodi 220 kV: Piva – Sarajevo (11%) R.P. B. Bašta – Požega (9%)	Rasterećivanje, najpre HE Piva i HE i RHE B. Bašta, u cilju eliminacije preopterećenja	Povoljni	Normalan rad sekundarne regulacije učestalosti i snaga razmene
12.	Derdap – Bor	<i>Kritični naponi:</i> Bor 366 kV Niš 373 kV Kraljevo 194 kV Kruševac 194 kV Leskovac 194 kV <i>Strujno preopterećenje:</i> Dalekovod 220 kV R. P. B. Bašta – Požega (3%)	Rasterećenje, najpre RHE i HE B. Bašta, u cilju eliminacije nastalih poremećaja	Povoljni, ako u međuvremenu ne dođe do naponskog sloma	
13.	Mostar – Konjsko	<i>Strujno preopterećenje:</i> Dalekovod 220 kV Zakućac – Mostar (4%)	Rasterećenje HE Zakućac	Povoljni	
Ispad dalekovoda 220 kV					
15.	B. Bašta – U. Požega	<i>Kritični naponi:</i> Kraljevo 196 kV <i>Strujno preopterećenje:</i> R. P. B. Bašte – Vardište (1%) Vardište – U. Požega (1%)	Rasterećenje HE ili RHE B. Bašta	Povoljni	

Smisao uvedene rubrike »Neophodnost dispečerske akcije« jest da označi (kad je odgovor afirmativni) potrebu preduzimanja odgovarajućih dispečerskih akcija. Dakle, uz neophodnu dijagnozu posledica tretiranih poremećaja daje se i mogućnost preduzimanja niza raspoloživih akcija i proučavanja njihovih efekata za dobijena nesigurna stanja EES. U prvom redu, to se odnosi na tretirane slučajeve ispada velikih generatora (kao i značajnih potrošača), kada je neophodno izvršiti korekciju voznih redova angažovanih izvora u raspoloživom opsegu, imajući u vidu da navedene potrebne korekcije po pravilu prevazilaze mogućnosti sistema automatske sekundarne regu-

lacije učestanosti i snaga razmene. Takođe, u pomenute dispečerske akcije spadaju izmene voznih redova pojedinih izvora, u cilju eliminacije uočenih preopterećenja po ispadu značajnih dalekovoda, kao i izmene naponskih referenci angažovanih izvora, u cilju postizanja povoljnijih naponsko-reaktivnih prilika, i dr. Uvedena rubrika »Napomena« u tabeli I. ima za cilj da u najkraćim crtama objasni procenjeni karakter nastalih postdinamičkih stanja, s tim da je u tabeli II. za uočena nesigurna stanja iz tabele I. to učinjeno sa nešto više detalja. Dakle, bliže se opisuje karakter uočenih nesigurnih stanja (izuzev onih, označenih sa NN), uz navođenje registrovanih naruše-



nih naponskih i strujnih ograničenja, a takođe, uz navođenje mogućih dispečerskih akcija i njihovih efekata. Razume se, u principu reč je o nizu mogućih takvih akcija, a cilj je bio da se kroz interpretiranje efekata nekih od mogućih podstakne diskusija o ovoj veoma važnoj problematici, a sve u cilju dobijanja podloga za iznalaženje praktičnih, efikasnih rešenja. Pri tome, bitno je napomenuti da je u nizu slučajeva uspostavljeno takvo postdinamičko stanje koje omogućuje blagovremeno obavljanje odgovarajućih dispečerskih akcija.

Rubrika »Napomena« u tabeli II. ima za cilj da ukaže na mogući dalji, nepovoljni razvoj poremećaja, ako nisu adekvatno izvršene potrebne dispečerske akcije ili pak ako njihov domet nije bio dovoljan. To se posebno odnosi na ona postdinamička stanja EES, u kojima se uočava veći broj napona čije su vrednosti ispod propisanih granica, što može da prethodi pojavi naponskog sloma u odgovarajućim delovima EES, sa mogućim posledicama za EES u celini.

## 5.2. Analiza i komentar rezultata

Kod interpretiranja dobijenih rezultata analiza sigurnosti potrebno je dati sledeće napomene i objašnjenja:

- Postavlja se pitanje verovatnoće nastanka poremećaja pod rednim brojem 3 i 4 u tabeli I. (ispadi sabirnica odnosno, raspadi čvorišta) čije se posledice ocenjuju sa uvedenom oznakom NN. S ozbirom na to da se praktično radi o simultanom ispadi 13, odnosno 7 elemenata EES. Dakle, radilo bi se o uvođenju kriterijuma sigurnosti ( $n - 13$ ), odnosno ( $n - 7$ ), koje verovatno ne bi mogao da izdrži ni jedan EES u svetu. Pri tome, potrebno je napomenuti da se u studijama planiranja EES, po kojima se oni i grade, ne susreće strožiji kriterijum sigurnosti od kriterijuma ( $n - 2$ ).
- Poremećaj pod rednim brojem 25 u tabeli I, čije su posledice označene takođe oznakom NN, prestaju da bude kritičan uvođenjem drugog dalekovoda 220 kV Kosovo A – Kosov B, a što je utvrđeno u analizama za 1990. godinu.
- Za sve ostale poremećaje, sem prethodno pomenutih, mogla su da se uspostave postdinamička stanja. Takve rezultate treba staviti u kontekst naših teorijskih i praktičnih saznanja da u jugoslovenskom EES, za sadašnji nivo izgrađenosti, po pravilu nije ugrožena statička i tranzijentna stabilnost (odnosno konvencionalna stabilnost) [23]. Međutim, to ne znači da se time u potpunosti eliminiše potreba za uključivanje tretiranja dinamike u analize sigurnosti. S obzirom na ne samo teorijski nego i veliki praktički značaj pomenutog problema njemu je posvećena posebna pažnja u Studiji [1].
- Takođe, može se konstatovati da za niz poremećaja, koji dovode do narušavanja sigurnosti (npr. poremećaji pod rednim brojem 5, 13, 20. i 20. u tabeli I), karakter uspostavljenih postdinamičkih stanja je takav da omogućuje pravovremeno preduzimanje adekvatnih dispečerskih akcija, u cilju prevazilaženja uočenih prekoračenja.

Dakle, ako bi se za analize sigurnosti za 1988. godinu, na prvi pogled mogao da stekne neki »dramatični« utisak o velikom broju kritičnih slučajeva (iako su oni svesno traženi načinom izbora poremećaja, čime je otvoreno veoma značajno pitanje definisanja potrebnog racionalnog nivoa sigurnosti rada), temeljnija analiza dobijenih rezultata demantovala je takav »privid«, jer, kao što je uočeno, većina tretiranih (»normalnih«) poremećaja dovodi do stanja koja su sigurna, a kada to nisu, postoji realna mogućnost da se nepovoljne posledice, adekvatnim merama u potpunosti spreče ili ublaže.

Za izvršene analize za 1990. godinu, gledajući u celini, dobijeni rezultati za razmatrane režime i poremećaje govore da EES Jugoslavije ima zadovoljavajući nivo sigurnosti rada. Uočena nesigurna stanja imaju pretežno lokalni karakter i, što je takođe važno da se istakne, u najvećem broju slučajeva efekti preduzetih dispečerskih akcija bili su povoljni. Razloge za, u osnovi dobre rezultate za 1990. godinu, i razlike u odnosu na rezultate iz 1988. godine, treba najprije potražiti u činjenici da se u 1990. godini nisu tretirali izuzetno teški (i malo verovatni) poremećaji tipa raspada velikih čvorišta, čije posledice su kvalitativno i kvantitativno elaborirane u analizama za 1988. godinu. Takođe, u analizama za 1990. godinu, u skladu sa usvojenim podlogama, nisu razmatrani slučajevi razmene sa susednim EES, a nisu ni tretirani slučajevi većih tranzita snaga u oba smera. Stoga potpunija, a time i realnija slika o sigurnosti rada EES Jugoslavije dobila bi se utvrđivanjem graničnih režima, odnosno graničnih snaga tranzita u oba smera, za usvojeni realni kriterijum sigurnosti, kako je to bilo zamišljeno predloženim Aneksom Studije [1], koji se, za sada, nije realizovao.

## 5.3. Analiza osetljivosti dobijenih rezultata na varijacije faktora od uticaja

Aspektima osetljivosti dobijenih rezultata na varijacije faktora od uticaja već je bila posvećena posebna pažnja kod razvoja i evaluacije metodologije STATIC [2], a takođe kod rada na Studiji [1]. Od niza dobijenih rezultata sprovedenih analiza osetljivosti izvršena je njihova selekcija, a što je ilustrovano narednim tabelama III, IV i V, čiji su sadržaji dovoljno indikativni za postavljeni cilj. Sve one se odnose na decembarsko vršno opterećenje EES Jugoslavije 1988. godine, a slični kvalitativni pokazatelji prisutni su i u ostalim razmatranim karakterističnim režimima.

Tabela III ilustriuje uticaj karakteristika potrošača za slučaj ispada dalekovoda 400 kV R. P. Mladost – Ernestinovo, a tabela IV, za isti poremećaj ilustriuje uticaj veličine statizma primarne regulacije napona generatora (nagiba statičke karakteristike napon-reaktivna snaga). Na kraju, tabela IV. ilustriuje uticaj karakteristika primarne regulacije učestalosti generatora (uključujući i slučajeve blokiranja turbinskih regulatora) pri ispadi NE Krško, za slučajeve kada i dalje postoji veza sa UCPTTE i za slučajeve kada dolazi do raskida veze sa UCPTTE i do izolovanog rada EES Jugoslavije.

Tabela III. Uticaj karakteristika potrošača za slučaj ispada dalekovoda 400 kV R. P. Mladost-Ernestinovo

Karakteristika potrošača	Broj potrebnih iteracija	Broj i vrsta narušenih ograničenja	Iznosi prekoračenja %	$\Delta(\Sigma Q_G)$ %	$\Delta(\Sigma P_P)$ %	$\Delta(\Sigma Q_P)$ %
a)	4	2 SP	10.6 ; 8.6	13.9	—	—
b)	4	2 SP	12.5 ; 8.3	13.6	–0.7	–0.7
c)	4	2 SP	12.2 ; 8.1	12.7	–0.6	–1.3
d)	4	2 SP	13.9 ; 8.0	13.4	–1.3	–1.3

Tabela IV. Uticaj statizma primarne regulacije napona generatora za slučaj ispada dalekovoda 400 kV R. P. Mladost-Ernestinovo

Karakteristika potrošača	Broj potrebnih iteracija	Broj i vrsta narušenih ograničenja	Iznosi prekoračenja %	$\Delta(\Sigma Q_G)$ %	$\Delta(\Sigma P_P)$ %	$\Delta(\Sigma Q_P)$ %
1) Statizam pojedinih generatora iznosi 2%						
a)	4	2 SP	10.6 ; 8.6	14.0	—	—
c)	4	2 SP	12.5 ; 8.3	12.8	–0.6	–1.4
2) Svi statizmi iznose 0%						
a)	4	2 SP	10.6 ; 8.6	13.9	—	—
b)	4	2 SP	12.2 ; 8.1	12.7	–0.6	–1.3
1) Statizmi pojedinih generatora iznose –2%						
a)	4	2 SP	10.6 ; 8.5	13.7	—	—
b)	4	2 SP	11.9 ; 7.9	12.6	–0.5	–1.2

Tabela V. Uticaj karakteristika primarne regulacije učestanosti generatora za slučaj ispada NE Krško

Broj potrebnih iteracija	Broj i vrsta narušenih ograničenja	Blokirani regulatori turbogeneratora	$\Delta(\Sigma P_G)$ %	$\Delta(\Sigma Q_G)$ %	$\Delta P_g$ %	$f_u$ Hz
EES Jugoslavije i dalje u paralelnom radu sa UCPTE						
4	—	ne	1.2	4.6	–0.4	49.974
4	—	da	0.7	4.0	–1.6	49.971
Raskid paralelnog rada sa UCPTE						
10	—	ne	4.2	12.1	10.1	49.908
10	—	da	4.0	12.6	11.3	49.827

Tretirane su četiri vrste karakteristika potrošača, označene u tabeli III sa a) (potrošači predstavljeni preko konstantnih snaga), b) (aktivna i reaktivna snaga potrošača su linearne funkcije od napona), c) (aktivna snaga je linearna, a reaktivna snaga kvadratna funkcija od napona) i d) (aktivna i reaktivna snaga su kvadratne funkcije od napona, odnosno potrošači su predstavljeni konstantnom impedansom). Analize osetljivosti na veličinu statizma primarne regulacije napona generatora vršena je za tri slučaja (tabela IV), a izraz »pojedini generatori« odnosi se na HE Đerdap, TE N. Tesla B i TE N. Tesla A.

Rubrika »broj potrebnih iteracija«, prikazana u svim navedenim tabelama, pokazuje koliko je bilo potrebno iteracija da se dostigne rešenje za zahtevanu tačnost od 0,1 MW i Mvar-a, za početnu definiciju P,V

čvorova. Smisao rubrike »broj i vrsta narušenih ograničenja« identičan je kao u navedenoj tabeli I, odnosno u konkretnom slučaju reč je samo o strujnim prekoračenjima (SP). Kod ispada dalekovoda 400 kV R.P. Mladost-Ernestinovo, u razmatranom režimu, dolazi do preopterećenja dalekovoda 220 kV Piva – Sarajevo i B. Bašta – U. Požega. Iznosi tih prekoračenja daju se, respektivno, u rubrici »iznosi prekoračenja« u tabelama III i IV, a veličine  $\Delta(\Sigma Q_G)$ ,  $\Delta(\Sigma P_P)$ ,  $\Delta(\Sigma Q_P)$ , predstavljaju promene, u odnosu na polazno ustaljeno stanje, ukupne reaktivne snage izvora i aktivne i reaktivne snage potrošača EES Jugoslavije. U tabeli V, prisutne su još i veličine  $\Delta(\Sigma P_G)$  i  $\Delta P_g$ , koje predstavljaju promene, takođe u odnosu na polazno stanje, ukupne aktivne snage generatora (ne računajući nastali debalans) i gubitaka aktivne snage, a veli-

čina učestanosti u kvazistacionarnom stanju nastalom nakon dejstva primarne regulacije označena je sa  $f_u$ .

Prva konstatacija, koja se može dati po analizi prikazanih rezultata u tabelama III i IV, je da se slika o (ne)sigurnosti rada EES Jugoslavije, po ispadu dalekovoda 400 kV R.P. Mladost — Ernestinovo u razmatranom režimu, u suštini ne menja, a dobijene (manje) kvantitativne razlike su prirodna posledica uvedenih karakteristika i parametara. Zato se može prihvatiti praksa da se, kada su u pitanju karakteristike potrošača koje ne mogu lako da se identifikuju i kvantifikuju, analize sigurnosti obavljaju za dve vrste karakteristika: potrošači tretirani preko konstantnih snaga i preko konstantnih impedansi, u okviru čega se i analizira, odnosno obuhvata i efekat transformatora koji imaju regulaciju pod opterećenjem.

Kad je reč o karakteristikama primarne regulacije učestanosti i njihovom uticaju na dobijene rezultate, uz već opšta poznata saznanja, mogu se dati i odgovarajući komentari, služeći se tabelom V samo kao ilustracijom. U njoj su prikazani globalni pokazatelji stanja EES Jugoslavije, uspostavljena nakon dejstva primarne regulacije učestanosti po ispadu NE Krško (ispad 590 MW i 146 MVAR), kada i dalje postoji veza sa UCPTe, i kada dolazi do raskida te veze (tada debalans je iznosio 377 MW i 125 MVAR, s obzirom na to da je EES Jugoslavije u razmatranom režimu u totalu prema Italiji i Austriji izvezio 213 MW i 21 MVAR).

U prvom slučaju, blokiranost regulatora svih termoelektrana u EES Jugoslavije dovodi do toga da UCPTe, nakon dejstva primarne regulacije učestanosti, pokrije najveći iznos nastalog debalansa po aktivnoj snazi (oko 90%), što dovodi i do povoljnijih tokova snaga u odnosu na polazno stanje. U drugom slučaju, kada dolazi do izolovanog rada EES Jugoslavije (ali sa manjim debalansom u odnosu na prethodni), blokiranost regulatora, dovodi do niže vrednosti kvazistacionarne vrednosti učestanosti nakon dejstva primarne regulacije. Deficit je pokriven učešćem hidroelektrana (i grčkog EES), s tim da su ostvareni nepovoljniji tokovi snaga a time i veći gubici. Za slučajeve većih debalansa od tretiranih, uz raskid veza sa interkonekcijom UCPTe, dakle kada EES Jugoslavije ostaje u izolovanom radu, pitanje blokiranja rada turbinskih regulatora dobija prvorazredni značaj, što se može lako utvrditi i uprošćenim prilazima, raspoložujući samo veličinama mogućih debalansa i primarne regulacione energije, koja je u neposrednoj sprezi sa stanjem turbinske regulacije. Stoga, preporuke u pogledu neophodne veličine statizma primarne regulacije, iznete u [17], trebalo bi da se nezostavno poštuju.

## 6. ZAKLJUČAK

Razvijena je metodologija i odgovarajući prototipni računarski program (STATIC) za studijske analize statičke sigurnosti EES, koja u sebi sadrži modele

tokova snaga (i efikasne tehnike njihovog rešavanja) u karakterističnim postdinamičkim kvazistacionarnim stanjima i proceduru za formiranje odgovarajućih statičkih ekvivalenata »spoljnih« delova EES. Takođe, posebna pažnja data je formiranju neophodne informacione osnove za potrebe analiza statičke sigurnosti EES Jugoslavije.

Primena razvijene metodologije za karakteristične radne režime i poremećaje u EES Jugoslavije do 1990. godine za odabranu široku listu raznovrsnih poremećaja omogućila je da se sagledaju relevantni aspekti sigurnosti rada. Konstatovano je da se za najveći broj poremećaja, odnosno za poremećaje koji se javljaju sa većim procentom verovatnoće, u režimima bez većih tranzita snaga dobijaju ili sigurna postdinamička stanja ili takva stanja koja se, uz raspoložive dispečerske akcije, mogu da transformišu u sigurna.

Dalja praktična primena predložene metodologije sigurno je da bi doprinela daljem obogaćivanju rešavanja problematike sigurnosti u nas, što bi omogućilo da se sagledaju i sve one neophodne dopune i poboljšanja prilaza studijskim analizama sigurnosti, predviđenog za sada u podsistemu za operativno planiranje pogona tehničkog sistema upravljanja u jugoslovenskoj elektroprivredi koji se nalazi pred realizacijom.

## LITERATURA

- [1] »Analiza sigurnosti rada EES Jugoslavije za karakteristične radne režime i poremećaje do 1990. godine«, Studija Instituta »Nikola Tesla«, Beograd, 1989.
- [2] »Studija statičke sigurnosti EES ZEP-a; I deo: Razvoj i primena metodologije za studijske analize statičke sigurnosti«, Studija Instituta »N. Tesla«, Beograd, 1987.
- [3] OKAMURA M et al. »A New Power Model and Solution Method Including Load and Generator Characteristics and Effects of System Control Devices«, IEEE Trans., Vol. PAS-94. No 3, May-June 1975, po. 1042–1049
- [4] ČALOVIĆ M. S, STREZOSKI V. C, »Calculation of Steady-State Load-Flows Incorporating Systems Control Effects and Consumer Self-Regulation Characteristics«, Int. Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol 2, No 2, April 1981, pp. 65–74
- [5] LUKAŠOV E. S. KOLJUŽNIJ A. H. LIZALEK N. N »Dugotrajni prelazni procesi u elektroenergetskim sistemima« (knjiga na ruskom) Izd. »Nauka«, Novosibirsk, 1985.
- [6] STOOT B, ALSAC O, »Fast Decoupled Load Flow«, IEEE Trans., Vol. PAS-93, No 3, May-June 1974, pp. 859–867
- [7] POPOVIĆ D. P. »Brzi raspregnuti postupak za analizu statičke sigurnosti elektroenergetskih sistema«, XXXI jugoslovenska konferencija za ETAN, Bled, 1987. god.
- [8] POPOVIĆ D. P. »Jedan prilaz studijskim analizama statičke sigurnosti elektroenergetskih sistema«, V jugoslovensko savetovanje — Vodenje i automatizacija elektroenergetskih sistema, Ljubljana, 1987.
- [9] POPOVIĆ D. P, »Prilozi metodici studijskih analiza statičke sigurnosti elektroenergetskih sistema«, časopis »Energija«, br. 3, 1988.

- [10] POPOVIĆ D. P. »Uključivanje efekata automatskog frekventnog rasterećenja potrošača u studije statičke sigurnosti elektroenergetskih sistema«, XXXII jugoslovenska konferencija za ETAN, Sarajevo, 1988.
- [11] POPOVIĆ D. P. »An Efficient Methodology for Steady-State Security Assessment of Power Systems«, Int. Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 10, No 2, April 1988., pp. 110–116
- [12] POPOVIĆ D. P. »An Efficient Methodology for Study-Mode Security Assessment of Power Systems for Large Disturbances«, IFAC Symposium Power Systems, Brussels, 5–8 September, 1988, paper 7.4
- [13] POPOVIĆ D. P. »Automatsko frekventno rasterećenje potrošača u studijama statičke sigurnosti elektroenergetskih sistema«, časopis »Elektroprivreda«, br. 5–6, 1988.
- [14] »Osnovni podaci o dalekovodima i transformatorskim stanicama elektroenergetske mreže SFRJ – stanje krajem 1987. godine«, ZJE, Službe za prenos električne energije, Beograd, 1987.
- [15] »Dispečerski izveštaj o radu jugoslovenskog elektroenergetskog sistema u 1988. godini«, ZJE Beograd, 1989.
- [16] Interna dokumentacija Instituta »N. Tesla« o podacima i parametrima elemenata EES Jugoslavije
- [17] »Samoupravni sporazum o zajedničkom radu u jugoslovenskom elektroenergetskom sistemu«, ZJE, Beograd, 1988.
- [18] Interna dokumentacija Dispečerske službe ZJE o registraciji niza poremećaja u radu EES Jugoslavije
- [19] »Tehnički aspekti paralelnog rada elektroenergetskih sistema Albanije, Grčke i Jugoslavije«, Studija Instituta »Nikola Tesla«, Beograd, 1989.
- [20] »Prozentuale Aufteilung des Überlagerungsflusses bei Transiten im SUDEI-Netz«, Studija OEVG-a, 1986.
- [21] »Preliminarna analiza tokova snaga i naponskih prilika u prenosnoj mreži jugoslovenskog elektroenergetskog sistema u 1988. godini«, ZJE. Dispečerska služba, Beograd, april 1988.
- [22] »Analiza o mogućnostima izvršenja elektroenergetskog bilansa jugoslovenske elektroprivrede u 1988. godini«, ZJE, Dispečerska služba, Beograd, juni 1988.
- [23] »Studija statičke i dinamičke stabilnosti u mreži 220 i 400 kV Jugoslavije za 1985 i oko 1990. godine«, Studije Instituta »Nikola Tesla«, Beograd, 1985.

#### EXPERIENCES IN APPLICATION OF »STATIC« METHOD FOR ANALYSIS OF STATIC RELIABILITY OF YUGOSLAVIAN ELECTRIC POWER SYSTEM

In the article are presented results of static reliability analysis of Yugoslavian electric power system for characteristic operating conditions and disturbances in 1988 and 1990 year that are obtained by program »STATIC« developed in Institut »Nikola Tesla«. Calculated results are sufficient to estimate transient consequences as well as to analyse possible operator actions.

#### ERFAHRUNGEN BEI DER ANWENDUNG DER METHODOLOGIE STATIC FÜR DIE STUDIENANALYSEN DER STATISCHEN SICHERHEIT DES JUGOSLAWISCHEN EES

Man erläutert die bedeutendsten Ergebnisse der Analyse der statischen Sicherheit des jugoslawischen EES für charakteristische Regimes und Störungen 1988 und 1990, die mittels der Methodologie bzw. des Computerprogramms STATIC das im Institut »Nikola Tesla« entwickelt wurde. Die gewonnenen Ergebnisse ermöglichen, daß man die Folgen der behandelten Störungen richtig bewertet sowie die möglichen Dispatcheraktionen falls sie unvermeidlich waren, indem man die bisherige Betriebspraxis des jugoslawischen EES respektierte.

#### ОПЫТНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОЛОГИИ STATIC В КАЧЕСТВЕ ПОСОБИЯ ИЗУЧИТЕЛЬНЫХ АНАЛИЗОВ СТАТИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЭС ЮГОСЛАВИИ

Приводятся важнейшие результаты анализа статической надежности работы ЭЭС Югославии для характерных режимов и нарушений в 1988 и 1990 годы, полученные применением методологии, т.е. вычислительной программы STATIC разработанных в Институте »Никола Тесла«. Полученные результаты дали возможность произвести достаточно качественную оценку последствий обсуждаемых нарушений, а также рассмотрение ряда возможных диспетчерских действий, если они были необходимы, учитывая, бывшую до сих эксплуатационную практику ЭЭС Югославии.

Naslov pisca:

**Dr. Dragan Popović, dipl. inž.**  
**Institut »Nikola Tesla«,**  
**11000 Beograd,**  
**Viktora Igoa 3, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1990-03-22

# PROSTOR VJEROJATNOSTI SKUPA PROCESNIH INFORMACIJA ELEKTROENERGETSKOG POSTROJENJA

Mr. Juraj Šimunić, Rijeka

UDK 621.31:681.3

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Pojavljivanje procesnih informacija u elektroenergetskom postrojenju (EEP-u) jest diskretna stohastička pojava. Ovim radom prikazano je što predstavlja prostor elementarnih događaja i prostor vjerojatnosti za skup procesnih informacija EEP-a na razini pojedinih komponenti postrojenja i na razini cijelog postrojenja. Pokazan je postupak dobivanja vjerojatnosti pojavljivanja procesnih informacija na razini postrojenja, na temelju poznatih vjerojatnosti na razini komponenti postrojenja. Dan je primjer istraživanja na realnom postrojenju.

**Ključne riječi:** elektromagnetsko postrojenje, procesna informacija, komponenta, elementarni događaj, prostor vjerojatnosti

## 1. UVOD

U suvremenim tehničkim sistemima upravljanja elektroenergetskih sistema ukazuje se potreba točnog utvrđivanja vremena osvježavanja procesnih informacija na razini centra daljinskog upravljanja i na razini dispečerskih centara. Da se provede proračun vremena osvježavanja procesnih informacija potrebno je poznavati dinamičke karakteristike izvora procesnih informacija na razini postrojenja. U osnovi se istražuje kvantitativno pojavljivanje određenog broja procesnih informacija u izabranim vremenskim intervalima  $\tau$ , tj. utvrđuju se diskretna stohastička stanja sistema s obzirom na informacijsko obilježje. Upravo zbog toga potrebno je na razini komponenti postrojenja i na razini cijelog postrojenja definirati prostor elementarnih događaja i pripadne prostore vjerojatnosti, koji čine osnovu za definiranje modela stohastičkih procesnih informacija. Što predstavlja prostor elementarnih događaja i pripadni prostor vjerojatnosti na razini elektroenergetskog postrojenja (EEP), prikazano je u ovom radu.

Uz navedeno treba naglasiti da je ovaj rad orijentiran na utvrđivanje pojedinačnih diskretnih stohastičkih stanja pojavljivanja procesnih informacija, a ne na utvrđivanje srednjih vrijednosti koje nemaju stvarnog značenja u suvremenim tehničkim sistemima upravljanja EES-a.

## 2. PROSTOR ELEMENTARNIH DOGAĐAJA EEP-a

### 2.1. Razina komponenti postrojenja

Svako EEP-e sastoji se od određenog broja komponenti [3], a svaka komponenta je u zadanim intervalima  $\tau$  izvor određenog broja informacija. Tako možemo svaku komponentu postrojenja opisati skupom komponentnih elementarnih informacijskih događaja,

te za događaje na razini komponenti postrojenja vrijedi:

$$\begin{aligned} B &= \{B_{x_1}\} \quad x_1 = 0,1,2, \dots, r_1 \\ C &= \{C_{x_2}\} \quad x_2 = 0,1,2, \dots, r_2 \\ D &= \{D_{x_3}\} \quad x_3 = 0,1,2, \dots, r_3 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \\ N &= \{N_{x_n}\} \quad x_n = 0,1,2, \dots, r_n \end{aligned} \quad (1)$$

Pritome veličine  $B, C, D, \dots, N$  predstavljaju skupove događaja na razini komponenti, a vrijednosti  $B_{x_1}, C_{x_2}, D_{x_3}, \dots, N_{x_n}$  predstavljaju sve elementarne informacijske događaje koji se mogu pojaviti na razini komponente, tj. pojavu 0,1,2,3, ...  $r$  informacija o radu procesa.

U daljnjem izlaganju pretpostavit će se da je konačni broj informacijskih događaja za pojedine komponente jednak, tj.

$$r_1 = r_2 = r_3 = \dots = r_u = r \quad (2)$$

jer će se na taj način bitno pojednostavniti preglednost izlaganja i sistem indeksiranja, a s tom pretpostavkom se ne utječe na fizikalno predočavanje modela, jer se kasnije uz vjerojatnosnu karakterizaciju događaja može određenim vrijednostima pripisati vjerojatnost nula.

Ukupni skup komponentnih elementarnih događaja  $S_n$  može se sada definirati na razini  $N$  komponenti:

$$S_n = \left\{ \begin{array}{cccc} B_0 & C_0 & D_0 & \dots & N_0 \\ B_1 & C_1 & D_1 & \dots & N_1 \\ B_2 & C_2 & D_2 & \dots & N_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ B_r & C_r & D_r & \dots & N_r \end{array} \right\} \quad (3)$$

U prikazanom skupu  $S_n$  treba voditi brigu o tome da su događaji (elementi skupa) unutar jedne kompo-

nente disjunktne s obzirom na vrijeme događaja, tako da vrijedi:

$$\begin{aligned} B &= B_0 \cup B_1 \cup B_2 \cup \dots \cup B_r \\ C &= C_0 \cup C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_r \\ D &= D_0 \cup D_1 \cup D_2 \cup \dots \cup D_r \\ &\vdots \\ N &= N_0 \cup N_1 \cup N_2 \cup \dots \cup N_r \end{aligned} \quad (4)$$

a znak » $\cup$ « ovdje čitamo »ili« s ekskluzivnim značenjem [1]. To znači da se, promatrajući komponente postrojenja pojedinačno, može u vremenskom intervalu  $\tau$  pojaviti samo jedna vrijednost na razini jedne komponente.

## 2.2. Razina postrojenja

Poznavajući nadalje tehnologiju procesa, može se zaključiti da se događaji  $B, C, D, \dots, N$  realiziraju istovremeno, te vrijedi za skupni događaj na razini  $N$  — komponenti postrojenja, koristeći izraz (2):

$$\omega_u = B_{x_1} \cap C_{x_2} \cap D_{x_3} \cap \dots \cap N_{x_n} \quad u = 1, 2, 3, \dots, \sigma$$

$$x_1, \dots, x_n \in \{0, 1, 2, \dots, r\}$$

Skupni događaj  $\omega_u$  predstavlja ustvari pojavljivanje određenog broja informacija na razini  $N$  — komponenti postrojenja u izabranom vremenskom intervalu  $\tau$ , tj.  $\omega_u$  tehnološki znači istovremeno (u intervalu  $\tau$ ) pojavljivanje jednog elementa skupa  $B$  i jednog elementa skupa  $C$  i jednog elementa skupa  $D, \dots$  i jednog elementa skupa  $N$ . To znači da događaj  $\omega_u$  predstavlja jedan elementarni događaj na razini postrojenja sa  $N$  komponenti. Sada se može definirati skup svih elementarnih događaja, tj. prostor elementarnih događaja  $\Omega$ :

$$\Omega = \{\omega_u\} \quad u = 1, 2, 3, \dots, \sigma \quad (6)$$

Navedeno je što fizikalno znači događaj  $\omega$  na razini postrojenja, a prema izrazu (3), (4) i (5) može se lako zaključiti da se broj mogućih elementarnih događaja može odrediti prema osnovnoj lemi kombinatorike [1]. U promatranom slučaju koristeći izraz (1), za vrijednost  $\sigma$  vrijedi:

$$\sigma = r_1 \cdot r_2 \cdot r_3 \cdot \dots \cdot r_n \quad (7)$$

ili koristeći izraz (2):

$$\sigma = r^n \quad (8)$$

$r$  = broj informacijskih događaja po komponenti

$n$  = broj komponenti postrojenja

Izrazima (5), (6), (7), (8) prikazano je što fizikalno znači jedan skupni elementarni događaj  $\omega_u$  na nivou postrojenja i kako se određuje ukupan broj elementarnih događaja  $\Omega$ .

Daljnja analiza prostora elementarnih događaja i definiranje karakterističnog podskupa ( $\lambda$ )  $\Lambda$ , koji je interesantan za daljnje istraživanje dinamike procesnog informacijskog toka, prikazat će se na primjeru postrojenja s dvije komponente ( $n = 2$ ) i tri informacijska događaja po komponenti ( $r = 3$ ).

Za navedeni primjer postrojenja prostor elementarnih događaja prikazan je dvodimenzionalno kao skup događaja:

$$\Omega = \left\{ \begin{array}{lll} B_0 \cap C_0 & B_0 \cap C_1 & B_0 \cap C_2 \\ B_1 \cap C_0 & B_1 \cap C_1 & B_1 \cap C_2 \\ B_2 \cap C_0 & B_2 \cap C_1 & B_2 \cap C_2 \end{array} \right\} \quad (9)$$

Događaj ( $B_0 \cap C_0$ ) ili prvi element skupa u izrazu (9) predstavlja fizikalno istovremeno događanje nula informacija na komponenti  $B$  i nula informacija na komponenti  $C$ , događaj ( $B_1 \cap C_1$ ) predstavlja istovremeno događanje jedne informacije na komponenti  $B$  i jedne informacije na komponenti  $C$  itd. Tako nastali složeni događaji predstavljaju prostor elementarnih događaja na nivou postrojenja definiran izrazom (6), a uz izraz (9) vrijedi:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= B_0 \cap C_0 & \omega_6 &= B_1 \cap C_2 \\ \omega_2 &= B_0 \cap C_1 & \omega_7 &= B_2 \cap C_0 \\ \omega_3 &= B_0 \cap C_2 & \omega_8 &= B_2 \cap C_1 \\ \omega_4 &= B_1 \cap C_0 & \omega_9 &= B_2 \cap C_2 \\ \omega_5 &= B_1 \cap C_1 & & \end{aligned} \quad (10)$$

Analognim postupkom može se formirati skup elementarnih događaja na nivou postrojenja za bilo koji broj komponenti  $n$  i bilo koji broj komponentnih elementarnih događaja  $r$ .

Promatrajući dalje skup  $\Omega$  u izrazu (9), može se uočiti da se određeni elementi skupa kvantitativno ponavljaju, tj.

- elementi  $B_0 \cap C_1$  i  $B_1 \cap C_0$  predstavljaju događaj jedne informacije na razini postrojenja
- elementi  $B_2 \cap C_0$ ,  $B_1 \cap C_1$ ,  $B_0 \cap C_2$  predstavljaju događaj dvije informacije na razini postrojenja
- elementi  $B_2 \cap C_1$  i  $B_1 \cap C_2$  predstavljaju događaj tri informacije na razini postrojenja

Navedeni događaji predstavljaju ustvari određene sumarne događaje na razini postrojenja, koji zajedno s događajima  $B_0 \cap C_0$  i  $B_2 \cap C_2$  stvaraju jedan karakterističan niz događaja izvora informacijskog toka na razini postrojenja. Taj niz događaja predstavlja realizaciju  $0, 1, 2, 3, \dots, m$  procesnih informacija na razini cijelog postrojenja u nekom intervalu  $\tau$  i označit će se kao skup  $\Lambda$ :

$$\Lambda = \{\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\} \quad (11)$$

( $m+1$ ) — broj sumarnih događaja  $\lambda$

Jednostavnim razmatranjem može se pokazati da za  $m$  vrijedi:  $m = n \cdot (r-1)$ , a upravo skup karakterističnih događaja  $\Lambda$  bitan je pri opisivanju i definiranju dinamike procesnog informacijskog toka na razini postrojenja.

Elementi skupa predstavljaju ustvari skupove dijagonalnih članova iz ukupnog prostora elementarnih događaja u izrazu (9), te uz izraz (10) za elemente skupa  $\Lambda$  vrijedi:

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= \omega_1 \\ \lambda_1 &= \omega_2 \cup \omega_4 \\ \lambda_2 &= \omega_3 \cup \omega_5 \cup \omega_7 \\ \lambda_3 &= \omega_6 \cup \omega_8 \\ \lambda_4 &= \omega_9 \end{aligned} \quad (12)$$

Sada se mogu definirati »karakteristični« elementarni događaji na razini postrojenja u konačnom obliku za odabrani primjer dviju komponenti i tri informacijska događaja.

$$\begin{aligned}\lambda_0 &= (B_0 \cap C_0) \\ \lambda_1 &= (B_0 \cap C_1) \cup (B_1 \cap C_1) \\ \lambda_2 &= (B_0 \cap C_2) \cup (B_1 \cap C_1) \cup (B_2 \cap C_0) \\ \lambda_3 &= (B_1 \cap C_2) \cup (B_2 \cap C_1) \\ \lambda_4 &= (B_2 \cap C_2)\end{aligned}\quad (13)$$

Pritome znak » $\cup$ « znači ekskluzivno »ili« a znak » $\cap$ « znači »i« u izrazima 12 i 13. Na analogan način mogu se dobiti elementi skupa  $\Lambda$  za ostale proizvoljno izabrane  $r$  i  $n$ .

### 3. VJEROJATNOSNA KARAKTERIZACIJA SKUPA INFORMACIJSKIH DOGAĐAJA

#### 3.1. Algebra događaja i prostor vjerojatnosti

U 2. poglavlju opisani su informacijski događaji koji su interesantni za proučavanje informacijskog toka elektroenergetskog postrojenja. Pritome je definiran prostor elementarnih događaja  $\Omega$  koji predstavlja siguran događaj. Ako se uz događaj  $\Omega$  uvede događaj  $\emptyset$  kao nemoguć događaj, i skup  $A$  svih mogućih događaja u vezi s prikazanim eksperimentom [6]:

$$\begin{aligned}A &= \{A_i \mid i = 1, 2, 3, \dots, s\} \\ s &= (2^\sigma - 2) \\ \sigma &= \text{broj elementarnih događaja prema (7) i (8)}\end{aligned}\quad (14)$$

tada organizirani skup

$$\mathcal{A} = \{\emptyset, A, \Omega\} \quad (15)$$

predstavlja algebru događaja u vezi s promatranim eksperimentima procesnih informacijskih događaja EEP-a. Potrebno je ovdje naglasiti da u obrađenom primjeru, u poglavlju 2, pored devet elementarnih događaja (izraz (10)) i pet karakterističnih događaja  $\lambda_m$  (izraz 12) postoji još niz događaja u vezi promatranog eksperimenta kao npr. »na prvoj komponenti se pojavila jedna informacija« ( $A_i = \{\omega_4, \omega_5, \omega_6\}$ ), ili »bar na jednoj komponenti se nije pojavila ni jedna informacija« ( $A_j = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_7\}$ , prema izrazu 10), itd.

Takvih događaja u algebri događaja ima  $2^\sigma$ , a bez događaja  $\emptyset$  i  $\Omega$  dobije se vrijednost za  $s$  u izrazu 14. Kako ovi događaji nemaju značenje u daljnjem istraživanju dinamike procesnoga informacijskog toka, neće se dalje razmatrati.

Ako se sada utvrdi za skup  $\Lambda$ , iz izraza (11), da je to skup karakterističnih elementarnih događaja na razini postrojenja, može se definirati i karakteristična algebra događaja potrebna za istraživanje procesnog informacijskog toka EES-a, tj.

$$\mathcal{A}_\lambda = \{\emptyset, A_\lambda, \Lambda\} \quad (16)$$

gdje nam skup  $A_\lambda$  predstavlja skup svih mogućih događaja u vezi s elementima karakterističnog skupa  $\Lambda$ .

U nastavku će se definirati vjerojatnost na promatranom prostoru događaja. Eksperimentalno se mogu ut-

vrđiti učestalosti pojave procesnih informacija u odabranim vremenskim intervalima (kronološki registratori događaja) i odrediti vrijednosti relativnih frekvencija  $f_r$ , za pojedine informacijske događaje, kao omjer vremenskih intervala  $m$  u kojima je nastupio određeni događaj i ukupnog broja promatranih intervala  $n$  [3,4]. Za slučajeve kada  $n \rightarrow \infty$  utvrđuju se statističke vjerojatnosti

$$f_r(A) = \frac{m}{n} \xrightarrow{n \rightarrow \infty} P(A) \quad (17)$$

s kojima ćemo nadalje računati. Prema tom svakom događaju  $A_i \in \mathcal{A}$  na razini postrojenja pripada određena vjerojatnost  $P(A_i)$ , tj. funkcija  $P$  predstavlja vjerojatnost na algebri događaja  $\mathcal{A}$  i ima svojstvo preslikavanja elemenata skupa  $\mathcal{A}$  u skup realnih brojeva  $\mathbb{R}$  ( $P: \mathcal{A} \rightarrow \mathbb{R}$ ) uz uvjete da funkcija  $P$  ima svojstvo nenegativnosti, normiranosti, aditivnosti i neprekidnosti. Nadalje, ako vrijedi  $P: \mathcal{A} \rightarrow \mathbb{R}$ , tada uređena trojka sastavljena od:

1. nepraznog skupa  $\Omega$  elementarnih događaja (izraz 6),
2. svih mogućih informacijskih događaja  $A$  na nivou postrojenja (izraz 14 i 15),
3. vjerojatnosti  $P$  (izraz 17), tj.

$$(\Omega, \mathcal{A}, P) \quad (18)$$

predstavlja prostor vjerojatnosti za procesne informacijske događaje EEP-a. Kako je utvrđeno u promatranom eksperimentu, definiranja dinamike procesnih informacija nije interesantan skup svih događaja  $A$  (izraz 14), već samo karakteristični skup  $\Lambda$ , koji ustvari predstavlja podskup realnih brojeva  $\Lambda \subseteq \mathbb{R}$ . Za taj karakteristični podskup definirat će se novi prostor vjerojatnosti uz pomoć prikazanog primjera u 2. poglavlju.

Postavimo dakle zahtjev da nas na razini postrojenja zanima pojavljivanje  $0, 1, 2, \dots, m$  procesnih informacija u vremenskom intervalu  $\tau$  prema izrazu (11). Uz pomoć slučajne varijable  $X$  sa svojstvom preslikavanja elemenata iz skupa  $\Omega$  u skup realnih brojeva, tako da nam  $X(\omega)$  predstavlja elemente  $\lambda_i$  (izraz 12), tj.

$$X: \Omega \rightarrow \mathbb{R} \quad (19)$$

pridružiti će se događajima skupa  $\Omega$  (izraz 10) događaji sa skupa  $\Lambda$  (izraz 12). Pritome će se na skupu  $\mathbb{R}$  svih realnih brojeva uzeti kao samo događaji  $\lambda \subseteq \mathbb{R}$  za koje vrijedi

$$\{\sigma \in \Omega: X(\omega) \in \lambda\} = A_\lambda \in \mathcal{A} \quad (20)$$

$$\tilde{P}(\lambda) = P(A_\lambda) \quad (21)$$

te nam skup  $\mathcal{R}(X) = \{\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_m\}$  predstavlja skup svih vrijednosti slučajne varijable  $X$ .

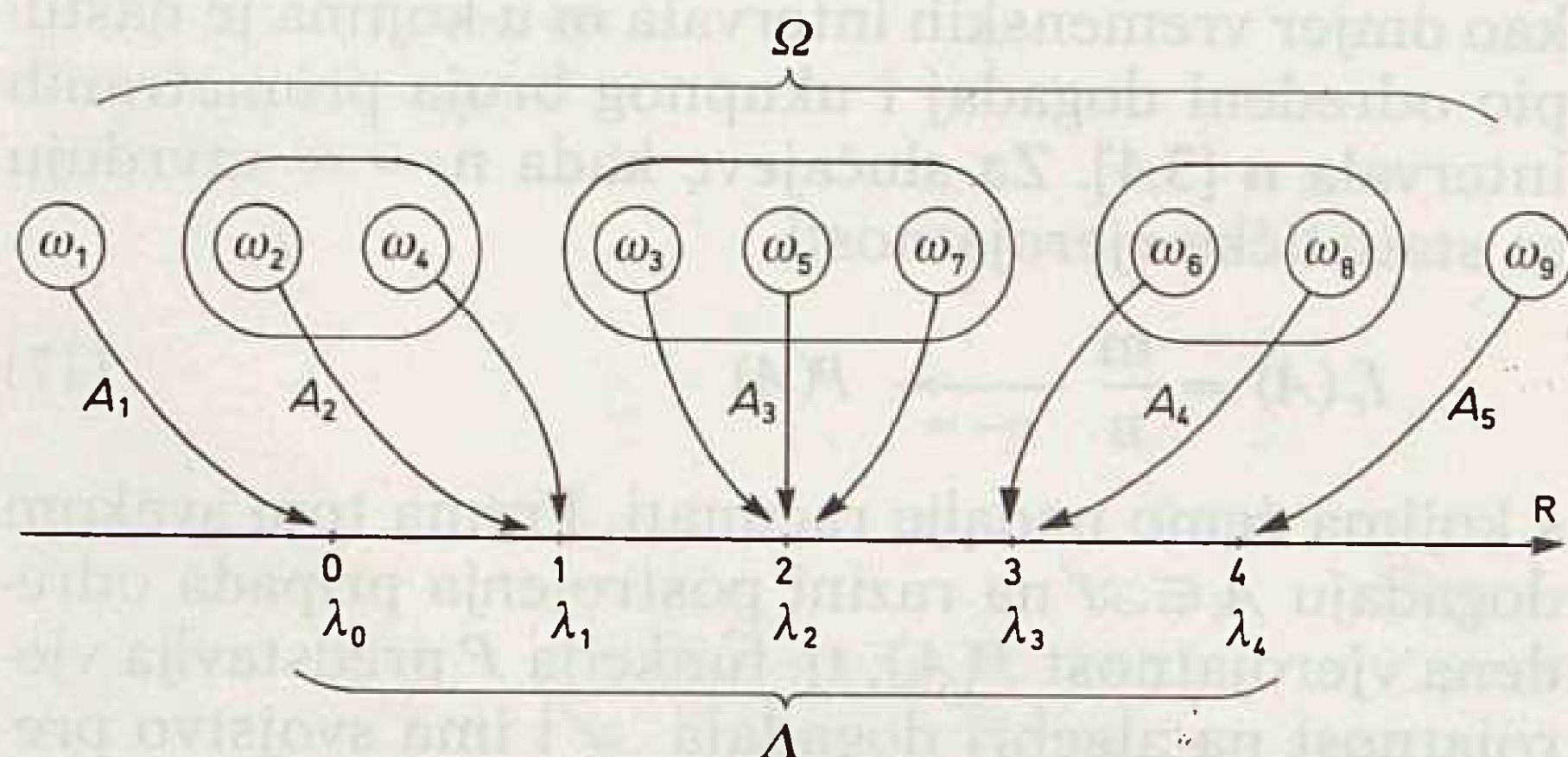
Dakle, vjerojatnost  $P(A_i)$  za događaj  $A_i \in \mathcal{A}$  u prostoru vjerojatnosti  $(\Omega, \mathcal{A}, P)$  prenose se funkcijom  $X: \Omega \rightarrow \mathbb{R}$  na događaj  $\lambda \in \mathbb{R}$  uz vjerojatnost  $\tilde{P}(\Omega)$  u novom prostoru vjerojatnosti

$$(\Lambda, \mathcal{A}_\lambda, \tilde{P}) \quad (22)$$

Nadalje, još uže gledano, u zadanom eksperimentu zanima nas događaj »broj informacija u intervalu  $\tau$  na nivou postrojenja jednak je  $\lambda_i$ «, te nas zanimaju samo događaji algebre  $\mathcal{A}_\lambda$  [6].

$$\mathcal{A}_i = \{ \emptyset, \lambda_i, \lambda_i^c, \Lambda \}, i = 0, 1, 2, \dots, m \quad (23)$$

i odgovarajući prostor vjerojatnosti  $(\Lambda, \mathcal{A}_i, \tilde{P})$  ( $\lambda_i^c$  predstavlja komplement događaja  $\lambda_i$ ).



Slika 1.

Upravo uvedeni prostor vjerojatnosti interesantan je za daljnje istraživanje dinamike procesnih informacijskih tokova EEP-a, a grafička ilustracija dana je na slici 1, uzevši u obzir još i izraze (10) i (12).

### 3.2. Vjerojatnosti na razini postrojenja

Za skup komponentnih elementarnih događaja  $S_n$ , prema izrazu (3), može se utvrditi [3, 4, 5] da je to skup slučajnih događaja i svakom događaju pripada odgovarajuća vjerojatnost, te na razini postrojenja dobivamo skup komponentnih vjerojatnosti:

$$P_k = \begin{pmatrix} P(B_0) & P(C_0) & P(D_0) & \dots & P(N_0) \\ P(B_1) & P(C_1) & P(D_1) & \dots & P(N_1) \\ P(B_2) & P(C_2) & P(D_2) & \dots & P(N_2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P(B_r) & P(C_r) & P(D_r) & \dots & P(N_r) \end{pmatrix} \quad (24)$$

Za skupni događaj u prostoru elementarnih događaja na razini postrojenja (vidi izraze 5 i 6) slijedi »skupna« vjerojatnost u prostoru vjerojatnosti  $(\Omega, \mathcal{A}, P)$ :

$$P(\omega_u) = P(B_{x_1}) \cdot P(C_{x_2}) \cdot P(D_{x_3}) \cdot \dots \cdot P(N_{x_n}) \quad (25)$$

$$u = 1, 2, 3, \dots, \sigma$$

$$x_1 \dots x_n \in \{0, 1, 2, \dots, r\}$$

U izrazu (24) pretpostavljeno je da su događaji raznih komponenti međusobno nezavisni događaji. Odradena zavisnost među događajima raznih komponenti može se uočiti prema eksperimentalnim istraživanjima [3], ali će se zasada u daljnjem izlaganju ova zavisnost zanemariti.

Sada se mogu uz pomoć realne funkcije  $X$  (izrazi 19 i 20) definirati vjerojatnosti elemenata skupa  $\Lambda$  u prostoru vjerojatnosti  $(\lambda, \mathcal{A}, \tilde{P})$  kao

$$\begin{aligned} P(\lambda_0) &= P(B_0) \cdot P(C_0) \\ P(\lambda_1) &= P(B_0) \cdot P(C_1) + P(B_1) \cdot P(C_0) \\ P(\lambda_2) &= P(B_0) \cdot P(C_2) + P(B_1) \cdot P(C_1) + P(B_2) \cdot P(C_0) \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} P(\lambda_3) &= P(B_1) \cdot P(C_2) + P(B_2) \cdot P(C_1) \\ P(\lambda_4) &= P(B_2) \cdot P(C_2) \end{aligned}$$

Nadalje, uz pomoć funkcije distribucije  $F$  slučajne varijable  $X$  takve da nam  $X(\omega)$  predstavlja vrijednost »broj informacija na razini postrojenja  $\leq \lambda_i$ «, tj.

$$P(A_i) = P\{ \omega \in \Omega : X(\omega) \in < -\infty, \lambda_i] \} = P(X \leq \lambda_i) \quad (27)$$

i uz uvjet

$$\begin{aligned} F(\lambda) &= P(X \leq \lambda_i) \\ F: \mathbb{R} &\longrightarrow [0, 1] \end{aligned} \quad (28)$$

definirane su kumulativne vjerojatnosti skupa  $\Lambda$ , tj. vjerojatnosno opterećenje na skupu realnih brojeva. Za kumulativne vjerojatnosti  $P(\lambda')$  elementa skupa  $\Lambda$ , za promatrani slučaj dviju komponenti ( $n = 2$ ) i tri informacijska događaja ( $r = 3$ ) vrijedi:

$$\begin{aligned} P(\lambda'_0) &= P(\lambda_0) \\ P(\lambda'_1) &= P(\lambda_1) + P(\lambda'_0) \\ P(\lambda'_2) &= P(\lambda_2) + P(\lambda'_1) = P(\lambda_2) + P(\lambda_1) + P(\lambda_0) \\ P(\lambda'_3) &= P(\lambda_3) + P(\lambda'_2) = P(\lambda_3) + P(\lambda_2) + P(\lambda_1) + P(\lambda_0) \\ P(\lambda'_4) &= P(\lambda_4) + P(\lambda'_3) = P(\lambda_4) + P(\lambda_3) + P(\lambda_2) + P(\lambda_1) + P(\lambda_0) \end{aligned} \quad (29)$$

Na temelju izraza (26) može se sada dati opći izraz za izračunavanje vjerojatnosti elemenata karakterističnog skupa  $\Lambda$  za dvije komponente postrojenja [6, 9]:

$$\begin{aligned} P(\lambda_z)_2 &= \sum P(B_{x_1}) \cdot P(C_{x_2}) \\ (x_1, x_2) : x_1 + x_2 &= z \\ x_1 = 0, 1, 2, \dots, r_1 & \quad \left| \sum_{z=0}^{r_1+r_2} P(\lambda_z) = 1 \right. \\ x_2 = 0, 1, 2, \dots, r_2 & \end{aligned} \quad (30)$$

Vjerojatnosti za događaje skupa  $\Lambda$  sa tri komponente dobile bi se tako da se vjerojatnosti za dvije komponente  $P(\lambda_z)_2$  može s vjerojatnostima treće komponente po istom principu kao što je prikazano u izrazu (30).

Nakraju, za opći izraz za karakteristične događaje skupa za  $K$  — komponenti vrijedi, uzevši u obzir izraz (2):

$$\begin{aligned} P(\lambda_z)_{[K]} &= \sum P(\lambda_{z'})_{[K-1]} \cdot P(K_x) \\ (x, z') : x + z' &= z \\ x = 0, 1, 2, \dots, r & \quad \left| \sum_{z=0}^{N \cdot r} P(\lambda_z) = 1 \right. \\ z' = 0, 1, 2, \dots, (K-1) \cdot r & \quad \left| K = 2, 3, 4, \dots \right. \end{aligned} \quad (31)$$

Indeks u uglastim zagradama (npr.  $[K]$ ) znači da se vjerojatnost odnosi na ukupno  $K$  komponenti, veličina  $K_x$  predstavlja događaje  $K$ -te komponente, a  $N$  je ukupni broj komponenta. Vrijednost  $z'$  predstavlja u stvari mogući broj pojavljivanja procesnih informacija za ukupno  $(k-1)$  komponentu.

### 3.3. Primjer istraživanja na realnom postrojenju

U [3] prikazani su eksperimentalni podaci distribucije frekvencija procesnih informacija za jedno elektroenergetsko postrojenje. Prema tim podacima dane su u 1. tablici distribucije frekvencija procesnih informacija za dva transformatora 110/35kV, odnosno 4 komponente i to 2 trafopolja 110 kV (komponente  $B$  i  $C$ ) i 2 trafopolja 35 kV (komponente  $D$  i  $E$ ). U stupcu 5 1. tablice dana je eksperimentalno dobivena sumarna distribucija frekvencije za sva četiri trafopolja. U navedenoj literaturi objašnjeno je da se



podaci u stupcu 5 ne dobiju običnim zbrajanjem komponentnih događaja, a u ovom radu je upravo prikazano (izrazi 25, 29 i 30), kako se iz komponentnih informacijskih događaja mogu dobiti učestalosti informacijskih događaja na razini više komponenti ili cijelog postrojenja. Rezultati u 1. tablici dobiveni su za vremenske intervale  $\tau=5$  s na osnovi promatranja jednogodišnjih procesnih informacija.

Tablica 1.

$f_x$	1	2	3	4	5
$x$	$(f_x)_B$	$(f_x)_C$	$(f_x)_D$	$(f_x)_E$	$(f_x)_{BCDE}$
0	6 307 155	6 307 166	6 307 119	6 307 099	6 306 963
1	36	27	72	95	203
2	8	6	8	4	21
3	1	1	1	2	8
4	0	0	0	0	3
5	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0

U 2. tablici su u stupcima 1 i 3 prikazani eksperimentalni podaci statističkih vjerojatnosti i distribucije frekvencija za odabrane četiri komponente sumarno. Stupac 2 predstavlja teorijski dobivene statističke vjerojatnosti prema izrazu (30), a stupac 4 teorijski dobivenu distribuciju frekvencija procesnih informacija prema podacima stupca 2. Usporedbom stupaca 3 i 4 uočava se da se eksperimentalni i teorijski podaci u velikoj mjeri slažu iako postoje određena odstupanja koja su rezultat određene zavisnosti procesnih informacijskih događaja na nivou postrojenja. Daljnja istraživanja upravo treba usmjeriti na analogna ispitivanja većeg broja postrojenja i pokušaja utvrđivanja određenih koeficijenata korelacije međukomponentnih događaja na nivou elektroenergetskog postrojenja i koeficijenata korelacije procesnih informacijskih događaja između pojedinih postrojenja.

Tablica 2.

$(p_{3x})f_x$	1	2	3	4
$x$	$(p_x)_{BCDE}$	$(p_{tx})_{BCDE}$	$(f_x)_{BCDE}$	$(f_{tx})_{BCDE}$
1	0,999 962 42	0,999 958 62	6 306 963	6 306 939
1	0,000 032 19	0,000 036 82	203	232
2	0,000 003 33	0,000 004 13	21	26
3	0,000 001 27	0,000 000 80	8	5
4	0,000 004 8	0,000 00 16	3	1
5	0,000 000 0	0,000 00 32	0	2
6	0,000 000 0	0,000 000 00	0	0
7	0,000 001 6	0,000 000 00	1	0
8	0,000 000 0	0,000 000 00	0	0
9	0,000 001 6	0,000 000 00	1	0
10	0,000 000 0	0,000 000 00	0	0

Pri analizi podataka u stupcu 4 2. tablice treba voditi brigu da se dobivene teorijske vrijednosti distribucije frekvencija na razini odabranih komponenti slažu

samo iznimno sa zbrojem pojedinačnih komponentnih informacijskih događaja. To je zato što je kudikamo najdominantnija vjerojatnost događaja »dogodilo se  $\emptyset$  informacija u odabranom vremenskom intervalu« ( $B_0, C_0, D_0$  i  $E_0$ ), a to znači da u postupku dobivanja sumarnih vjerojatnosti na razini prikazane četiri komponente irazito dominantan utjecaj imaju oni složeni događaji u kojima se pojavljuje jedan od događaja  $B_0, C_0, D_0$  i  $E_0$  i čije su vjerojatnosti približno jednake jedinici. Na taj način drugi složeni događaji, u kojima nisu uključeni navedeni dominantni »nulti« događaji, imaju izuzetno malene vjerojatnosti te se mogu zanemariti, npr u izrazu (25)  $P(B_0 C_2) \gg P(B_1 C_1)$ .

Za vjerojatnosti komponentnih događaja elektroenergetskih postrojenja uglavnom će se pojavljivati prikazani odnosi pa o tome treba voditi brigu.

#### 4. ZAKLJUČAK

Procesni informacijski događaji na razini postrojenja su složeni događaji sastavljeni od pojedinačnih komponentnih događaja. Utvrđeno je da je za istraživanje dinamike procesnih informacijskih tokova EEP-a bitan karakterističan skup  $\Lambda$  u prostoru vjerojatnosti  $(\Lambda, \mathcal{A}, P)$  i definirana je metodologija dobivanja vjerojatnosnih obilježja elemenata  $\lambda$ .

Prikazani teorijski postupak dobivanja vjerojatnosti složenih informacijskih događaja na nivou postrojenja, prema utvrđenim parcijalnim vjerojatnostima informacijskih događaja na razini komponenti postrojenja, testiran je na jednom eksperimentalnom primjeru. Rezultati pokazuju dobro slaganje teorijskih i eksperimentalnih podataka, a utvrđena odstupanja rezultat su određenih zavisnosti međukomponentnih informacijskih događaja.

Daljnja istraživanja na tom području treba usmjeriti:

- na ispitivanje većeg broja postrojenja
- na temelju ispitivanja utvrditi koeficijente zavisnosti međukomponentnih događaja i testirati vrijednosti teorijskih i eksperimentalnih statističkih podataka
- pokušati definirati zakone vjerojatnosti slučajnih varijabli komponentnih procesnih informacijskih događaja,
- budući da se promatra  $n$ -komponenti EEP-a, navedenu problematiku obraditi uz pomoć  $n$ -dimenzionalnog slučajnog vektora  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ .

#### LITERATURA

- [1] J. PAVLIĆ: »Statistička teorija i primjena«, Tehnička knjiga Zagreb, 1970.
- [2] S. KUREPA: »Konačno dimenzionalni vektorski prostor i primjene«, Tehnička knjiga Zagreb, 1967.
- [3] J. ŠIMUNIĆ: »Trodimenzionalni prikaz skupa procesnih informacija za elektroenergetska postrojenja«, Energija, god. 39 (1990) br. 2, Zagreb
- [4] J. ŠIMUNIĆ: »Učestalost spontanih informacija u procesu prenosne mreže« — Energija god. 30 (1981) br. 5–6 Zagreb

- [5] D. J. GAUSHELL i drugi: »Analys of analog data dynamics for supervisory control and data acquisition systems« — IEEE Transactions PAS-102, No. 2, February 1983.
- [6] Ž. PAUŠE: »Vjerojatnost, informacija, stohastički procesi«, Školska knjiga, Zagreb, 1978.
- [7] Ž. PAUŠE: »Uvod u teoriju informacije«, Školska knjiga, Zagreb, 1989.
- [8] D. UGRIN-ŠPARAC: »Primijenjena teorija vjerojatnosti I i II«, Sveučilište u Zagrebu, 1976.
- [9] Z. A. IVKOVIĆ: »Matematička statistika«, Naučna knjiga, Beograd, 1975.
- [10] W. GITT: »Information-die dritte Grundgröße neben Materie und Energie«, Simenens Zeitschrift 4/89.

#### WAHRSCHEINLICHKEITSRAUM DER PROZESSINFORMATIONEN DES ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEMS

Die Entstehung von Prozessinformationen in der elektroenergetischen Anlage (EEA) ist eine diskrete stochastische Erscheinung. In dieser Arbeit sieht man den Raum der elementaren Ereignisse und den Raum der Wahrscheinlichkeit für die Prozessinformation der EEA auf der Ebene einzelner Komponenten der Anlage auf der Ebene der ganzen Anlage. Hier schildert man das Verfahren der Wahrscheinlichkeit des Erscheinens der Prozessinformationen auf der Ebene der Anlage auf Grund der bekannten Wahrscheinlichkeiten auf der Ebene der Anlagekomponenten. Man gibt auch ein Beispiel der Untersuchung auf einer realen Anlage.

#### ПРОСТРАНСТВО ВЕРОЯТНОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ПРОЦЕССНЫХ ИНФОРМАЦИЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Возникновение процессных информации на электроэнергетической установке (ЭЭУ) является дискретным стохастическим явлением. Данной работой представлено что совой представляет пространство элементарных событий и пространство вероятности по отношению к накоплению процессных информации ЭЭУ на уровне отдельных составляющих установки и на уровне всей установки, взятой в целом. Представлена процедура получения вероятности возникновения процессных информации на уровне установки на основании известных вероятностей на уровне составляющих установки. Приведен также пример исследования на реальной установке.

#### PROBABILITY SPACE OF ELECTRIC POWER SYSTEM PROCESS DATA

Generation of electric power system process data is a discrete statistical phenomenon. In the paper is presented the space of elementary events and the space of electric power system process data on the level of components as well as on the level of whole system. It is presented a method for calculation of process data probabilities on the system level that are based on known component probabilities. It is also presented an example of real model.

Naslov pisca:

Mr. Juraj Šimunić, dipl. inž.  
Tehnički fakultet Rijeka  
Sveučilišta »Vladimir Bakarić«  
51000 Rijeka, Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:  
1990-02-28

### harwood academic publishers gmbh

Poststrasse 22  
7000 Chur, Switzerland  
Telex: 453268 APUB CH  
Fax: 021-963-19-07

Harwood Academic Publisher gmbh izdala je 4 knjige o energetici, Volumen 4. Te su knjige dio sovjetskih tehnoloških revija i interesantne su za čitaoce.

Dio 1. *Metodske osnove i trendovi u razvoju daljinskog grijanja spojnih procesa u SSSR-u* obrađuje tehnička i ekonomska pitanja, energetske potrebe u prvim fazama razvoja i nova projektna rješenja opreme.

U 2. dijelu *Metode za optimaliziranje parametara i strukture daljinskog grijanja i spojnih procesa* objašnjena je meto-

da i priloženi su rezultati multi-variantnog proračuna za određene turbine spojnog procesa. Obradena je primjena termalne energije nuklearnih elektrana, parametrijskog sistema i nosećeg transportnog medija za klasične i nuklearne elektrane.

Dio 3. *Znanstveni i tehnički progres u daljinskom grijanju spojnim procesima* obrađuje standardne tipove, dimenzije i tehničke detalje turbina za spojne procese i kotlove. Opisane su mogućnosti razvoja velikih daljinskih sistema grijanja bazirane na visokim temperaturnim reaktorima i prijenosom topline putem kemijskih medija.

Dio 4. *Daljinsko upravljanje centralnim daljinskim sistemima* obrađuje posebne aspekte stanja hidrauličke toplinskog prijenosa. Metode za optimalizaciju, načini automatskog upravljanja i tehnička oprema također su opisani.

# ISTRAŽIVANJE PRIJELAZNE STABILNOSTI HIDROELEKTRANA U LANCU

Doc. dr. Srđan Babić — doc. dr. Sejid Tešnjak — Ivica Pavić, Zagreb

UDK 621.311.21

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Analizira se problematika prijelazne stabilnosti hidroelektrana u lancu pri pojavi teških kvarova.

**Ključne riječi:** prijelazna stabilnost, hidroelektrana, vodoprivredno-energetska stepenica (VES)

## 1. UVOD

Pogon hidroelektrana u lancu na jednom vodotoku nije zanimljiv samo sa stanovišta njegova optimalnog vođenja već i s gledišta utvrđivanja dinamičkog ponašanja takvih elektrana u slučaju teških kvarova (prije svega kratkih spojeva) u njihovoj bližoj i daljoj okolini — bliski ili daleki kvarovi. Daleki, a pogotovo bliski, kratki spojevi stvaraju mogućnosti gubitka sinhronizma agregata u elektranama, što velikim dijelom može uzrokovati pojavu raspada elektroenergetskog sistema. Opasnost je raspada nekog elektroenergetskog sistema, ili jednog njegova dijela, to veća ako se, naprimjer, pri pojavi kvarova u blizini hidroelektrana koje rade u nizu eventualno dogodi kaskadni gubitak stabilnosti istih. Da se mogućnost jednog takvog događaja spriječi, nužno je za takvu grupu hidroelektrana provesti istraživanja prijelazne stabilnosti kako bi se na temelju dobivenih rezultata mogli realizirati odgovarajući zaštitni i upravljački algoritmi. Problem je to zanimljiviji ako je većina hidroelektrana u lancu izvedena s cijevnim agregatima, jer je poznato da je problem održavanja sinhronizma pri teškim kvarovima u elektroenergetskom sistemu posebno naglašen kod takvih agregata.

Mehanički i elektromagnetski parametri cijevnih agregata koji bitno utječu na stabilnost razlikuju se od onih s Kaplanovom turbinom radi posebnih zahtjeva koji se postavljaju pri konstrukciji. Sveukupni se učinak tih razlika ogleda u vrlo kratkim kritičnim vremenima cijevnih agregata. Među ostalim, o tome treba voditi brigu pri udešavanju relejne zaštite na prijenosnim vodovima, kako bi stabilnost sistema bila što manje ugrožena.

Na kritična vremena cijevnih agregata ima ponajprije nepovoljan utjecaj malena vrijednost zamašnog momenta ( $mD^2$ ), odnosno konstante tromosti  $H$  (MWs/MVA). K tome se pridodaje i nepovoljan utjecaj relativno velike prijelazne reaktancije ovih strojeva. Na posredan način djeluje u istom smislu i to što

cijevni agregati imaju velik nazivni faktor snage (obično između 0.95 i 1), a najpovoljnije je sa stajališta stabilnosti rad generatora s nižim induktivnim faktorom snage.

Od utjecaja mreže na stabilnost paralelnog rada elektrana, najznačajniji je utjecaj opterećenja u sistemu, dakle snage potrošnje, što se odražava na opterećenje pojedinih generatora u elektranama. Interesantnija su stoga za promatranje sa stajališta stabilnosti teža pogonska stanja koja se mogu očekivati u toku godine.

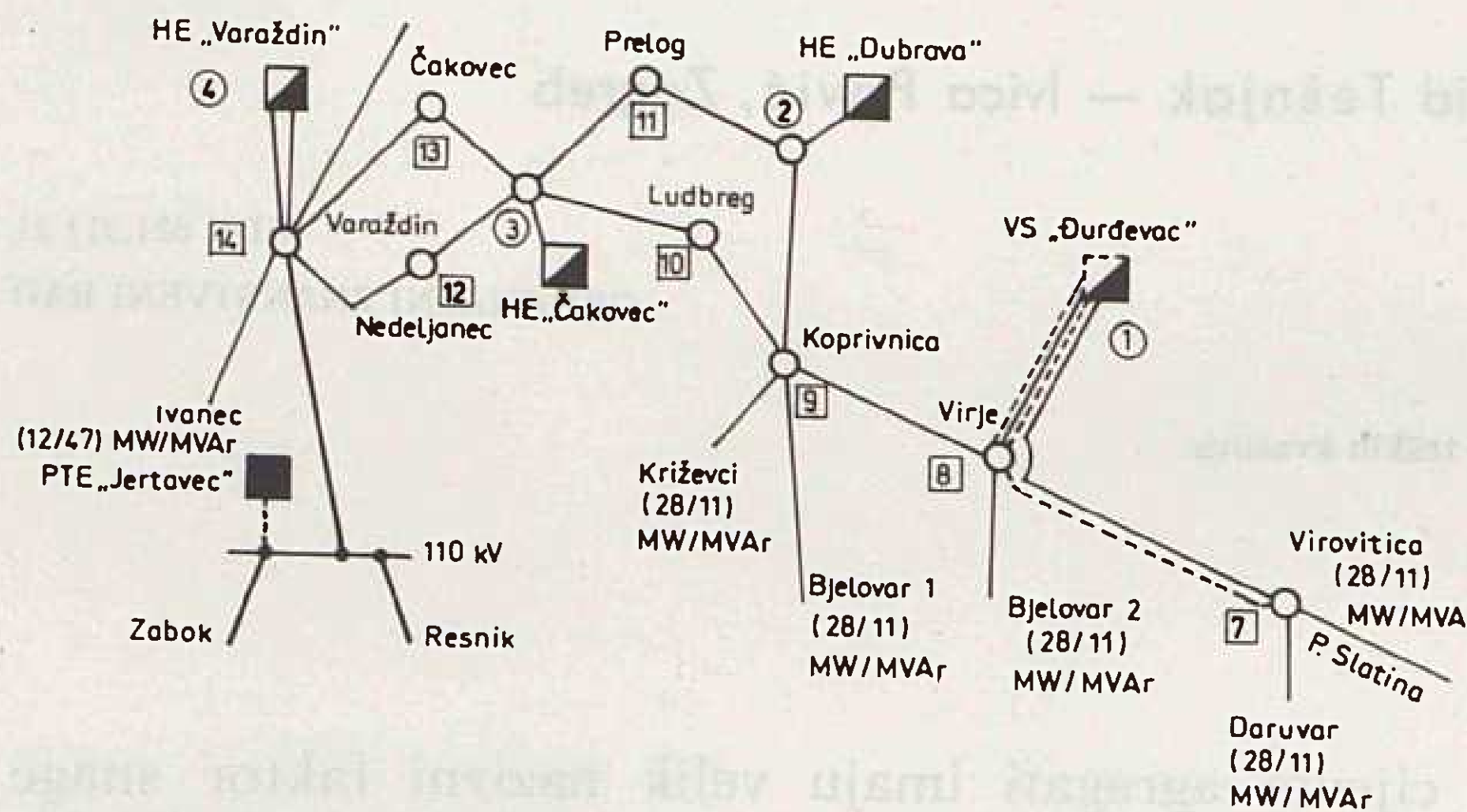
## 2. PREDMET ISTRAŽIVANJA I PRETHODNI PODACI

Istraživanja u ovom radu temeljit će se na primjeru pogona četiriju hidroelektrana u nizu (HE Varaždin, HE Čakovec, HE Dubrava i VES Đurđevac) na rijeci Dravi, u okviru planiranog dijela elektroenergetskog sistema sjeverozapadne Hrvatske (slika 1) [1, 2, 3]. Među njima je HE Varaždin s vertikalnom Kaplanovom turbinom, a preostale tri su sa cijevnim agregatima. Poremećaji u sistemu za koje je provedeno ispitivanje jesu trolpolni, odnosno jednopolni kratki spoj na 110 kV-nom radu u neposrednoj blizini svake pojedine hidroelektrane, kao i na daljem kraju svakog od tih vodova, te trajno isključenje kvarom »pogođenog« voda.

Promatrano je razdoblje s najmanjim dotokom vode, a istodobno s najvećim električnim opterećenjem. Zbog toga je proračun izvršen za samo jedan agregat u pogonu u svakoj hidroelektrani pri njihovu radu s maksimalnom snagom. Tako postavljeni početni uvjeti daju najnepovoljnije stanje kako za razmatrane hidroelektrane, tako i za dio elektroenergetskog sistema u okviru kojega te elektrane rade. Kako u takvoj situaciji postoji manjak proizvedene energije u hidroelektranama s obzirom na potrošnju u istraživanom području, tok električne energije s juga i

jugoistoka u 110 kV-nim vodovima usmjeren je prema tom području. Elektrane na zagrebačkom području stoga su uvrštene u proračun s maksimalnom snagom svih agregata. Za TE Sisak je odabrana manja snaga od maksimalne kako bi se u stacionarnom pogonskom stanju (što prethodi poremećaju) dobilo napone u mreži u prihvatljivim granicama.

Analizirane su dvije varijante priključka VES Đurđevac na 110 kV-nu mrežu. Te su varijante predočene A) s punim i B) s crtkanim linijama na slici 1.



Slika 1. Planirani dio elektroenergetskog sistema u području dravskih elektrana (stanje 1995. godine)

Dio podataka za proračun tokova snaga i stabilnosti koji se odnose na dravske elektrane, prienosnu mrežu i potrošnju u okolnom području naveden je u tablicama 1 do 4. Inače, sam je proračun obuhvatio mrežu 110 kV na znatno širem području (sl. 2) gdje su uzeti u obzir i dijelovi mreže 220 i 400 kV unutar tog područja. Elektroenergetski sistem Jugoslavije izvan promatrane mreže nadomješten je ekvivalentnim generatorima u TS Tumbri, Mraclin, Đakovo i Ernestinovo. Susjedna mreža 110 kV s pripadajućim elektranama u SR Sloveniji nije obuhvaćena proračunom jer je pretpostavljeno da se međurepublička razmjena energije neće vršiti vodovima tog napona. Uzimanje u obzir 220 i 400 kV u SR Sloveniji, kao i pripadajućih elektrana, nije bilo potrebno (uzeta je u račun samo NE Krško) zbog zanemarivog utjecaja na tražene rezultate.

Tablica 1. Osnovni parametri generatora i blok-transformatora elektrana na području EES-a međimursko-podravске regije (stanje 1995. godine)

#### Generatori

Parametar	Elektrana			
	Đurđevac	Dubrava	Čakovec	Varaždin
$U_n$ (kV)	6.3	6.3	6.3	10.5
$S_n$ (MVA)	3 × 57	2 × 42	2 × 42	2 × 50
$\cos \varphi$	0.95	0.95	0.95	0.85
$P_n$ (MW)	3 × 52	2 × 40	2 × 40	2 × 43
$Q_n$ (MVAr)	3 × 17.8	2 × 13.11	2 × 13.11	2 × 26
$\sin \varphi$	0.312 25	0.312 25	0.312 25	0.526 78
$\varphi$ (°)	18.20	18.20	18.20	31.78
$X_d$ (%)	114 125	—	149	—

$X_q$ (%)	68 75	94	—	—
$X'd$ (%)	40 43	49	42	34.6
$X''d$ (%)	27 30	—	29	—
$Xq''$ (%)	29 32	—	37	—
$T'_{do}$ (%)	2.13	—	3.0	—
$T''_{qo}$ (%)	0.06	—	—	—
$R_a$ ( )	0.003 76	—	—	—
$n$ (°/min)	125	125	125	125
$mD^2$ (tm <sup>2</sup> )	2 597	1 415	1 415	7 000
$H$ (s)	0.975	0.586	0.720	3.00

#### Blok-transformatori

$S_n$ (MVA)	3 × 57	2 × 43	2 × 43	2 × 50
$U_1/U_2$ (kV/kV)	6.3/115	6.3/115	6.3/115	10.5/115
$U_k$ (%)	11.0	11.0	11.0	11.0

Tablica 2. Opterećenja u potrošačkim čvorovima EES-a međimursko-podravске regije (stanje 1995. godine)

Numeracija čvorišta	Postrojenje	$P$ (MW)	$Q$ (MVAr)
7	TS Virovitica	34	14
8	TS Virje	15	6
9	TS Koprivnica	34	14
10	TS Ludbreg	13	5
11	TS Prelog	20	8
12	TS Varaždin	39	15
13	TS Čakovec	40	16
14	TS Nedeljanec i Ivanec	38 + 12	15 + 4.7

### 3. MATEMATIČKI OPIS

Za proračun napona i tokova snaga što prethodi proračunu prijelazne stabilnosti upotrijebljen je Gauss-Seidelov iteracijski postupak s  $Y$ -matricom. Sabirnice postojećih elektrana u sistemu su uključene u proračun kao  $P$ - $Q$  sabirnice, a sabirnice ekvivalentnih generatora kao  $P$ - $V$  sabirnice. Bilančna elektrana je ekvivalentna elektrana u TS Tumbri.

Budući da je istraživanje vršeno za planiranu konfiguraciju mreže i planiranu elektranu Đurđevac u nizu hidroelektrana na Dravi (uvrštena je također i planirana HE Podsused), gdje su još mnoge pojednosti neizvjesne, smatralo se da za proračun prijelazne stabilnosti treba upotrijebiti tzv. klasičan ili tradicionalan matematički model.

Najčešće su tada rezultati pesimistički, dakle na strani sigurnijih procjena, što je svakako povoljniji slučaj kada još svi podaci nisu sasvim izvjesni. To kon-

Tablica 3. Osnovni podaci o transformatorskim stanicama na području EES-a međimursko-podravске regije (stanje 1995. godine)

Parametar	Postrojenje (TS)							
	Virovitica	Virje	Koprivnica	Ludbreg	Prelog	Varaždin	Čakovec	Nedeljanec
$S_n$ (MVA)	2 × 20	2 × 20	2 × 20	1 × 20	2 × 20	2 × 32	2 × 22	2 × 40
$U_1/U_2$ (kV/kV)	$\frac{110}{35}$	$\frac{110}{35}$	$\frac{110}{35}$	$\frac{110}{35}$	$\frac{110}{35}$	$\frac{110}{35}$	$\frac{110}{35}$	$\frac{110}{35}$
$u_k$ (%)	11	11	11	11	11	11	11	11

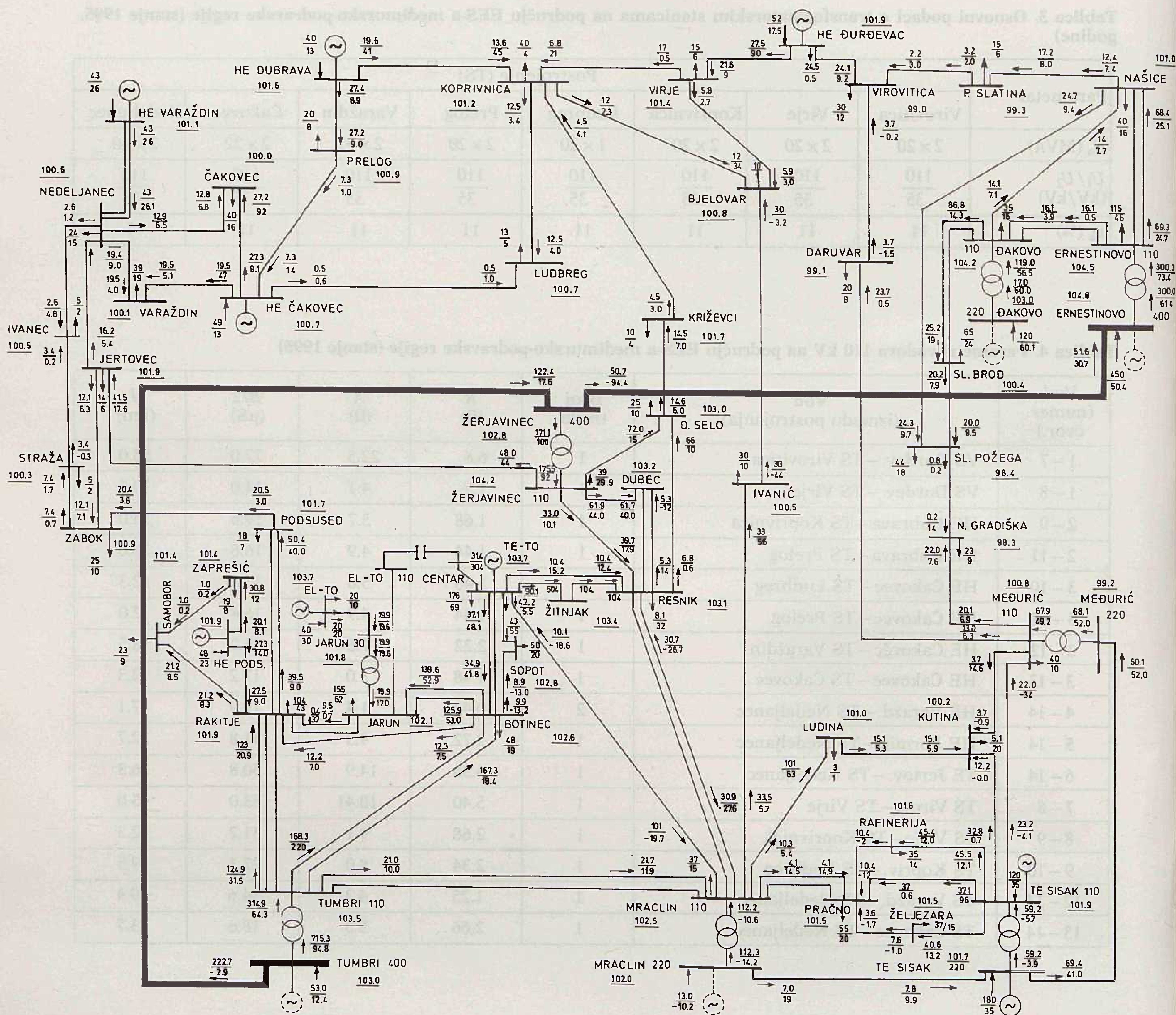
Tablica 4. Parametri vodova 110 kV na području EES-a međimursko-podravске regije (stanje 1995)

Vod (numer. čvor.)	Vod (između postrojenja)	Broj trojki	$R$ ( $\Omega$ )	$X$ ( $\Omega$ )	$B/2$ ( $\mu S$ )	$l$ (km)
1–7	VS Đurđev. – TS Virovitica	1	6.6	22.5	77.0	55.0
1–8	VS Đurđev. – TS Virje	1	1.2	4.1	14.0	10.0
2–9	HE Dubrava – TS Koprivnica	1	1.68	5.7	19.6	14.0
2–11	HE Dubrava – TS Prelog	1	1.44	4.9	16.8	12.0
3–10	HE Čakovec – TS Ludbreg	1	1.48	5.0	17.2	12.3
3–11	HE Čakovec – TS Prelog	1	1.44	4.9	16.8	12.0
3–12	HE Čakovec – TS Varaždin	1	2.22	7.6	25.9	18.5
3–13	HE Čakovec – TS Čakovec	1	1.48	5.0	17.2	12.3
4–14	HE Varažd. – TS Nedeljanec	2	0.42	1.4	19.9	7.1
5–14	HE Formin – TS Nedeljanec	1	2.72	9.3	31.8	22.7
6–14	TE Jertov. – TS Nedeljanec	1	4.36	14.9	50.8	36.3
7–8	TS Virov. – TS Virje	1	5.40	18.41	63.0	45.0
8–9	TS Virje – TS Koprivnica	1	2.68	9.1	31.2	22.3
9–10	TS Kopriv. – TS Ludbreg	1	2.34	8.0	27.3	19.5
12–14	TS Varažd. – TS Nedeljanec	1	1.25	4.3	14.6	10.4
13–14	TS Čakovec – TS Nedeljanec	1	2.66	5.8	18.6	13.7

kretno znači: ako je kriterij za procjenu stabilnosti kritično vrijeme isklapanja kvara, povoljniji je rezultat pri proračunu planiranog sistema onaj koji predstavlja nešto kraće kritično vrijeme isklapanja kvara nego što će u stvarnosti biti (a kojem je bliže točniji matematički model za proračun stabilnosti). Dođe li naime, do nekih naknadnih korekcija parametara agregata, promjena trase i konstrukcije vodova i sl., mogu se s vrijednostima dobivenim na temelju točnog modela, ako se na njih osloni, izvesti sasvim pogrešni zaključci o stabilnosti sistema. Naravno, moguće je upotrijebiti točniji matematički model za stabilnost, pa radi sigurnosti računati s kraćim kritičnim vremenima od dobivenih. To, međutim, nije uobičajeno. Valja naime reći da jednostavnije metode daju rezultate znatno brže nego složenije. U slučaju ovakvih istraživanja, kako su ovdje provedena, ovo je

veoma važno jer se kritično vrijeme isklapanja kvara traži pokušavanjem, mijenjajući vrijeme trajanja kratkog spoja. To u svakom pojedinom slučaju zahtijeva obavljanje većeg broja proračuna. K tome se proračuni izvode mijenjajući mjesta kvara, a i za različite konfiguracije mreže. Dakle, broj proračuna je velik ne samo zbog brojnih istraživanih varijanti već i zbog više ponovljenih proračuna za nalaženje svakog pojedinog  $t_{kr}$ . Brzo odvijanje proračuna zato je u takvim analizama nužno. To je, dakle, razlog zašto je za proračun korišten klasičan model za stabilnost, koji se obično od točnijih modela razlikuje samo u modeliranju dijela elektroenergetskog sistema unutar elektrane.

Klasičan model za prijelaznu stabilnost je općenito poznat. Model generatora je idealni izvor napona  $E_i$ , iza prijelazne reaktancije  $x_d$  s konstantnom vrijed-



Slika 2. Dio elektroenergetskog sistema obuhvaćen proračunom s rezultatima proračuna napona i snaga za pogonsko stanje što prethodi poremećaju (varijanta A)

nošću iznosa napona. Određivanje krivulja njihanja svodi se na rješavanje sustava jednadžbi njihanja za svaki pojedini sinhroni generator. Za stroj i jednadžba gibanja je:

$$M_i \frac{d^2 \delta_i}{dt^2} = P_{m(i)} - P_{e(i)} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

pri čemu se u svakom inegracijskom koraku  $P_e$  računa:

$$P_{e(i)} = \sum_{j=1}^n |E_i| |E_j| |Y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (2)$$

Ovdje je:

$M_i$  — kutna veličina gibanja svakog generatora ili svakog ekvivalentnog generatora

ako ih je više na istoj osovini, koja se dobiva iz  $mD^2$  ili  $H$ .

$E_i = |E_i| \angle \delta_i$  — fazor unutrašnjeg napona stroja ( $|E_i| = \text{konst.}$ )

$P_{m(i)}$  — mehanička snaga turbine ( $P_{m(i)} = P_{m(0)} = \text{konst.}$ )

$Y_{ij} = Y_{ij} \angle \theta_{ij}$  — elementi matrice admitancije čvorišta.

Program za elektroničko računalo čine tri osnovna dijela:

1. računanje električnih prilika prije poremećaja u sistemu (određivanje početnih uvjeta za proračun);

2. redukcija mreže na fiktivna unutrašnja generator-ska čvorišta za:
  - a) pogonsko stanje s kvarom,
  - b) pogonsko stanje s isključenim vodom na kojem je kratki spoj;
3. rješavanje sustava jednadžbi njihanja i crtanje krivulja.

Zbog pretpostavki uvedenih u modelu generatora rezultati proračuna i izvedeni zaključci odnose se samo na prvi njihaj rotora.

#### 4. ANALIZA REZULTATA PRORAČUNA

Rezultati proračuna navedeni su u tablicama 5. i 6. za trolpolni kratki spoj, a u tablicama 7. i 8. za jednopolni kratki spoj. Za varijantu A je trolpolni kratki spoj pretpostavljen na svakom izlaznom vodu 110 kV (bližem i daljem kraju) iz svake pojedine hidroelektrane na Dravi, dok su za varijantu B odabrani samo neki zanimljiviji slučajevi. Radi ilustracije priložene su krivulje njihanja za slučaj trolpolnog kratkog spoja uz 110 kV-ne sabirnice VES Đurđevac (sl. 3 za konfiguraciju mreže A i sl. 4 za konfiguraciju mreže B) za isklapanje kvara nakon 0.105 s. Kut njihanja generatora u pojedinim elektranama odnosi se na sabirnice krute mreže za koje su odabrane sabirnice 400 kV u TS Tumbri.

**Tablica 5. Kritična vremena generatora za slučaj trolpolnog kratkog spoja na izlaznim vodovima iz elektrana (varijanta A)**

Varijanta A		
Ispad voda	3pKS kod čvora	Tkr (sek)
HE Đurđevac – Virje	HE Đurđevac Virje	0.105 0.125
HE Đurđevac – Virovitica	HE Đurđevac Virovitica	0.115 > 0.5
HE Dubrava – Koprivnica	HE Dubrava Koprivnica	0.085 0.095
HE Dubrava – Prelog	HE Dubrava Prelog	0.085 0.115
HE Čakovec – Prelog	HE Čakovec Prelog	0.095 0.115
HE Čakovec – Ludbreg	HE Čakovec Ludbreg	0.095 0.125
HE Čakovec – Čakovec	HE Čakovec Čakovec	0.095 0.125
HE Čakovec – Varaždin	HE Čakovec Varaždin	0.095 0.135
HE Varaždin – Nedeljanec	HE Varaždin Nedeljanec	0.155 0.125

**Tablica 6. Kritična vremena generatora za slučaj trolpolnog kratkog spoja na izlaznim vodovima iz elektrana (varijanta B)**

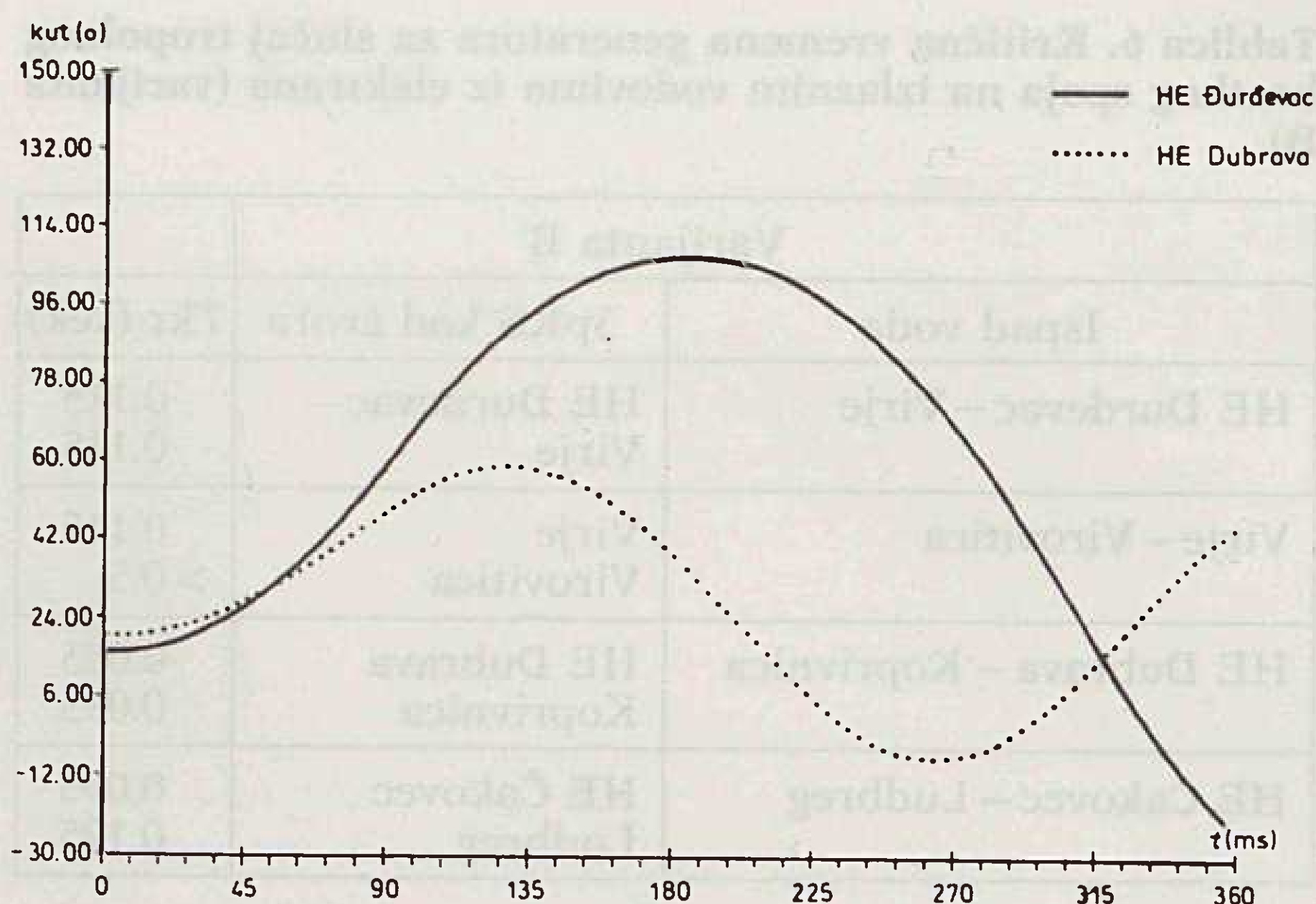
Varijanta B		
Ispad voda	3pKS kod čvora	Tkr (sek)
HE Đurđevac – Virje	HE Đurđevac Virje	0.115 0.115
Virje – Virovitica	Virje Virovitica	0.115 > 0.5
HE Dubrava – Koprivnica	HE Dubrava Koprivnica	0.085 0.095
HE Čakovec – Ludbreg	HE Čakovec Ludbreg	0.095 0.125

**Tablica 7. Kritična vremena generatora za slučaj jednopolnoga kratkog spoja na izlaznim vodovima iz elektrana (varijanta A)**

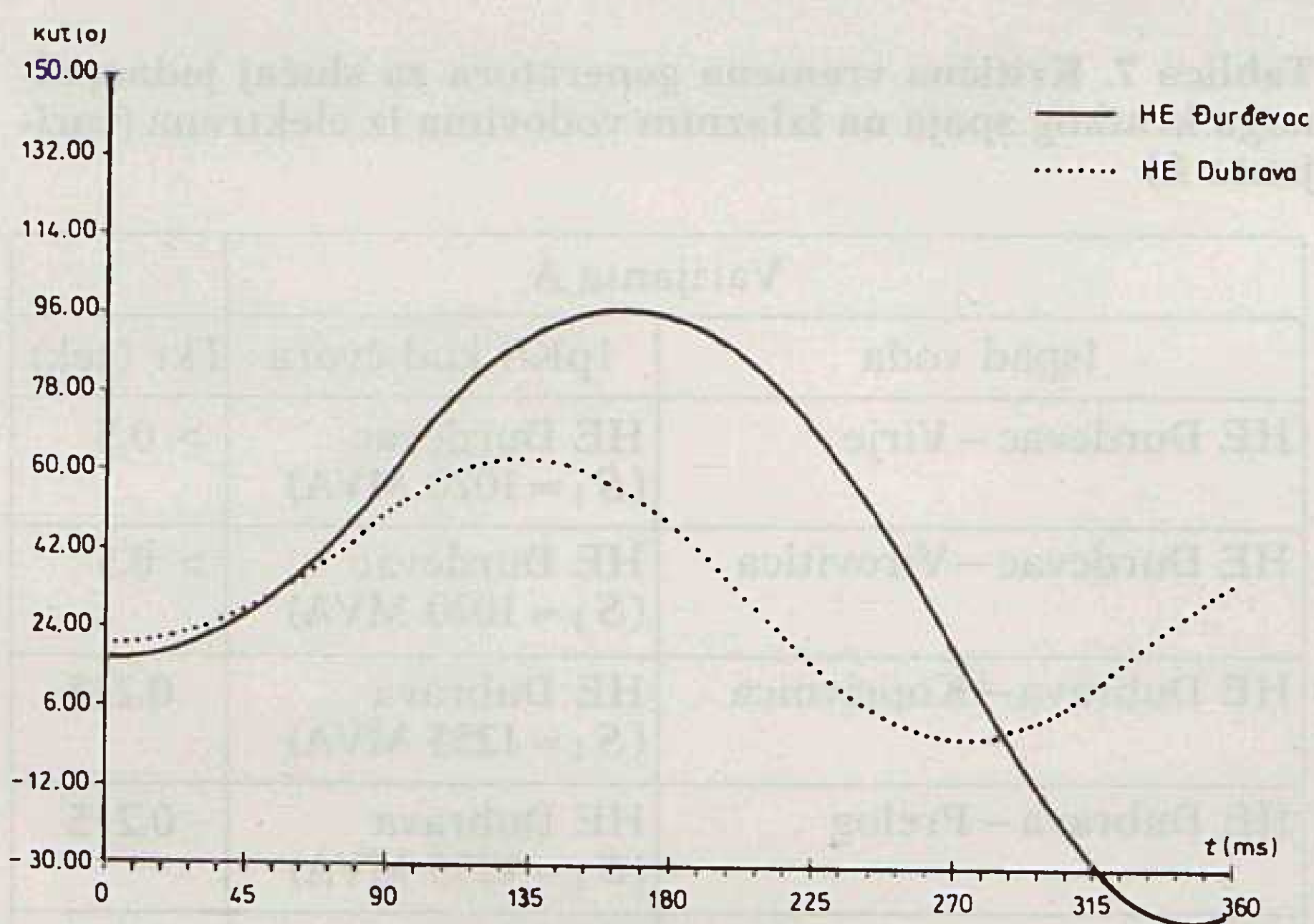
Varijanta A		
Ispad voda	1pKS kod čvora	Tkr (sek)
HE Đurđevac – Virje	HE Đurđevac ( $S_1 = 1020$ MVA)	> 0.5
HE Đurđevac – Virovitica	HE Đurđevac ( $S_1 = 1020$ MVA)	> 0.5
HE Dubrava – Koprivnica	HE Dubrava ( $S_1 = 1255$ MVA)	0.215
HE Dubrava – Prelog	HE Dubrava ( $S_1 = 1255$ MVA)	0.215
HE Čakovec – Prelog	HE Čakovec ( $S_1 = 1630$ MVA)	0.215
HE Čakovec – Ludbreg	HE Čakovec ( $S_1 = 1630$ MVA)	0.215
HE Čakovec – Čakovec	HE Čakovec ( $S_1 = 1630$ MVA)	0.215
HE Čakovec – Varaždin	HE Čakovec ( $S_1 = 1630$ MVA)	0.215
HE Varaždin – Nedeljanec	HE Varaždin ( $S_1 = 1385$ MVA)	> 0.5

**Tablica 8. Kritična vremena generatora za slučaj jednopolnoga kratkog spoja na izlaznim vodovima iz elektrana (varijanta B)**

Varijanta B		
Ispad voda	1pKS kod čvora	Tkr (sek)
HE Đurđevac – Virje	HE Đurđevac ( $S_1 = 1020$ MVA)	> 0.5
HE Dubrava – Koprivnica	HE Dubrava ( $S_1 = 1255$ MVA)	0.215
HE Čakovec – Ludbreg	HE Čakovec ( $S_1 = 1630$ MVA)	0.215



Slika 3. 3pKS trajanja 105 ms na vodu VES Đurđevac – Virje (var. A)



Slika 4. 3pKS trajanja 105 ms na vodu VES Đurđevac – Virje (var. B)

Rezultati proračuna pokazuju da se pri trolepolnom kratkom spoju pojavljuju vrlo kratka kritična vremena isklapanja kvara, u više slučajeva i ispod 0.10 sekundi.

### VES Đurđevac

Od dvije promatrane varijante priključka VES Đurđevac na 110 kV-nu mrežu nešto se nepovoljnijom (ali ne bitno) s obzirom na stabilnost pokazuje varijanta A ako je kriterij najmanje dobivena vrijednost za  $t_{kr}$  pri kratkom spoju unutar VES Đurđevac (0.105 s za varijantu A prema 0.115 s za varijantu B). Suprotan je, međutim, zaključak ako je kratki spoj izvan elektrane, na daljem kraju voda VES Đurđevac – Virje (kod TS Virje), gdje je za varijantu A dobiveno duže kritično vrijeme (0.125 s), što je povoljnije, nego za varijantu B (0.115 s). Valja primijetiti da se u slučaju varijante B primjetno razlikuje  $t_{kr}$  ako je trolepolni kratki spoj na bližem ili daljem kraju tog voda (u oba slučaja je  $t_{kr}=0.115$  s). Primjećuje se nadalje da kvar uz TS Virovitica neće ni u jednoj ni u drugoj varijanti priključka VES Đurđevac na 110 kV-nu mrežu ugroziti stabilnost, jer je već pri trolepolnom kratkom

spoju u oba slučaja  $t_{kr} > 0.5$  s, čemu pridonosi udaljenost TS Virovitica od VES Đurđevac.

Jednopolni kratki spoj unutar VES Đurđevac nije se pokazao opasnim ni u jednoj od obje istraživane varijante priključka hidroelektrane na prijenosnu mrežu. Generatori ne pokazuju tendenciju prema gubljenju stabilnosti niti pri neograničenom trajanju kvara.

### HE Dubrava i HE Čakovec

Kratki spoj na izlaznim prijenosnim vodovima iz ovih elektrana pokazuje se najopasnijim po stabilnost elektrana na Dravi. Za kratki spoj uz sabirnice elektrane su dobivena kritična vremena isklapanja između 0.085 i 0.095 s za obje konfiguracije mreže. Kraće među ovim vremenima (0.085 s) odnosi se na HE Dubravu, a dulje (0.095 s) na HE Čakovec, bez obzira na to o kojim se izlaznim vodovima iz dotičnih elektrana radi.

Među slučajevima kada je trolepolni kratki spoj na daljim krajevima izlaznih vodova iz ove dvije elektrane, treba posebno ukazati na kratki spoj na vodu HE Dubrava – TS Koprivnica. U ovom slučaju (trolepolni kratki spoj uz sabirnice TS Koprivnica) je vrlo kratko kritično vrijeme isklapanja za HE Dubrava (0.095 s) kod obje konfiguracije mreže. No i na trolepolne kratke spojeve na daljim krajevima ostalih izlaznih vodova iz ovih hidroelektrana (iz HE Dubrava prema TS Prelog i iz HE Čakovec prema transformatorskim stanicama Čakovec, Ludbreg i Varaždin) valja također upoznati jer su kritična vremena dosta malena (između 0.115 i 0.135 s).

Jednopolni kratki spoj uz sabirnice hidroelektrana Dubrava i Čakovec dao je za obje konfiguracije mreže i za sve izlazne vodove isto kritično vrijeme (0.215 s).

### HE Varaždin

HE Varaždin se među elektranama u nizu na Dravi pokazuje najsigurnijom pri teškim kvarovima u mreži. Kritično vrijeme isklapanja pri kratkom spoju na vodu prema TS Nedeljanec (na jednoj od dvije trojke), a uz sabirnice te elektrane, iznosi 0.155 s. Usporedi li se to vrijeme s kritičnim vremenima pri trolepolnom kratkom spoju u blizini elektrana s cijevnim agregatima, primjećuje se da je isto za oko 50–80% dulje. Zanimljivo je da je s obzirom na stabilnost elektrana u lancu opasniji trolepolni kratki spoj na daljem kraju izlaznog voda iz HE Varaždin (uz TS Nedeljanec) nego u njezinoj blizini. Dobivena vrijednost za  $t_{kr}$  je 0.125 s (prema 0.155 s). Međutim, u ovom je slučaju prvenstveno ugrožena HE Čakovec (ovo se kritično vrijeme na nju ne odnosi), a odmah zatim HE Dubrava, koja također jače zanjiše nego HE Varaždin.

Jednopolni kratki spoj uz sabirnice HE Varaždin nema za posljedicu ispad elektrane zbog gubitka sinhronizma niti u slučaju kada vod prema Nedeljancu ne bi bio isključen.



## 5. ZAKLJUČAK

Poznavanje dinamike hidroelektrana u lancu uvelike je značajno za utvrđivanje algoritama s kojima se postiže viši stupanj raspoloživosti, u svim slučajevima njihova pogona, a posebice pri težim kvarovima (kratkim spojevima). Prijelazna stabilnost hidroelektrana u lancu jedna je od dinamičkih pojava koja može znatno utjecati na stupanj raspoloživosti svake hidroelektrane pojedinačno, pa i cijelog niza hidroelektrana. Stanja su posebice teška ako većina hidroelektrana u lancu ima agregate s cijevnim turbinama, karakterizirane s relativno malim zamašnim masama. Istraživani lanac hidroelektrana na rijeci Dravi u SRH, s obzirom na prijelaznu stabilnost, pripada zapravo grupi izrazito zanimljivih hidroelektrana za koje se nastojalo utvrditi dinamičko ponašanje pri trolnom i jednopolnom kratkom spoju. Prethodno spomenuta zanimljivost vezana je za činjenicu da su od četiri istraživane hidroelektrane, tri s cijevnim turbinama, a jedna s Kaplanovom turbinom.

Za trolni kratki spoj na izlaznim vodovima iz hidroelektrana dobivena su za cijevne agregate vrlo kratka kritična vremena isklapanja, a najkraća među njima od 0.085 do 0.105 sekundi. Znatno otporniji na gubitak stabilnosti je agregat s Kaplan turbinom (HE Varaždin), čije je kritično vrijeme isklapanja od 50 do 80% dulje negoli za cijevne agregate.

Rezultati istraživanja za jednopolni kratki spoj na sabirnicama 110 kV unutar hidroelektrana pokazuju znatno veće vrijednosti kritičnih vremena nego što su one u slučaju trolnog kratkog spoja na istim mjestima, te imaju više negoli dvostruki iznos.

Relativno kratka kritična vremena cijevnih agregata upućuje, dakle, na potrebu osjetljivog pristupa pri zasnivanju odgovarajuće zaštite s kojom bi se mogle preduhitriti moguće pojave nestabilnosti takvih agregata, a posebice ako više njih radi u lancu.

## Zahvala

Zahvaljujemo ELEKTROPRIVREDI—ZAGREB na potpori i suradnji.

## LITERATURA

- [1] »Optimalna struktura proizvodnje električne energije do 2000. godine«, Institut za elektroprivredu, Zagreb 1982.
- [2] »Prijenosna mreža SR Hrvatske za 1990, 1995. i 2000. godinu« Institut za elektroprivredu, Zagreb 1983.
- [3] »Osnovi za donošenje globalnog plana izgradnje proizvodnih postrojenja za razdoblje 1991–1995. godina«, Usvojeno na Skupštini RSIZ-a i ZEOH-a, 7. 7. 1988.

### EXAMINATIONS OF TRANSIENT STABILITY OF HPP'S IN THE CHAIN

In the article is presented a problem of a transient stability of HPP's in chain in case of severe damages.

### DAS ERFORSCHEN DER ÜBERGANGSSTABILITÄT DER WASSERKRAFTWERKE KETTEN

Man analysiert die Problematik der Übergangsstabilität der Wasserkraftwerke Ketten bei starken Schäden.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ЦЕПИ

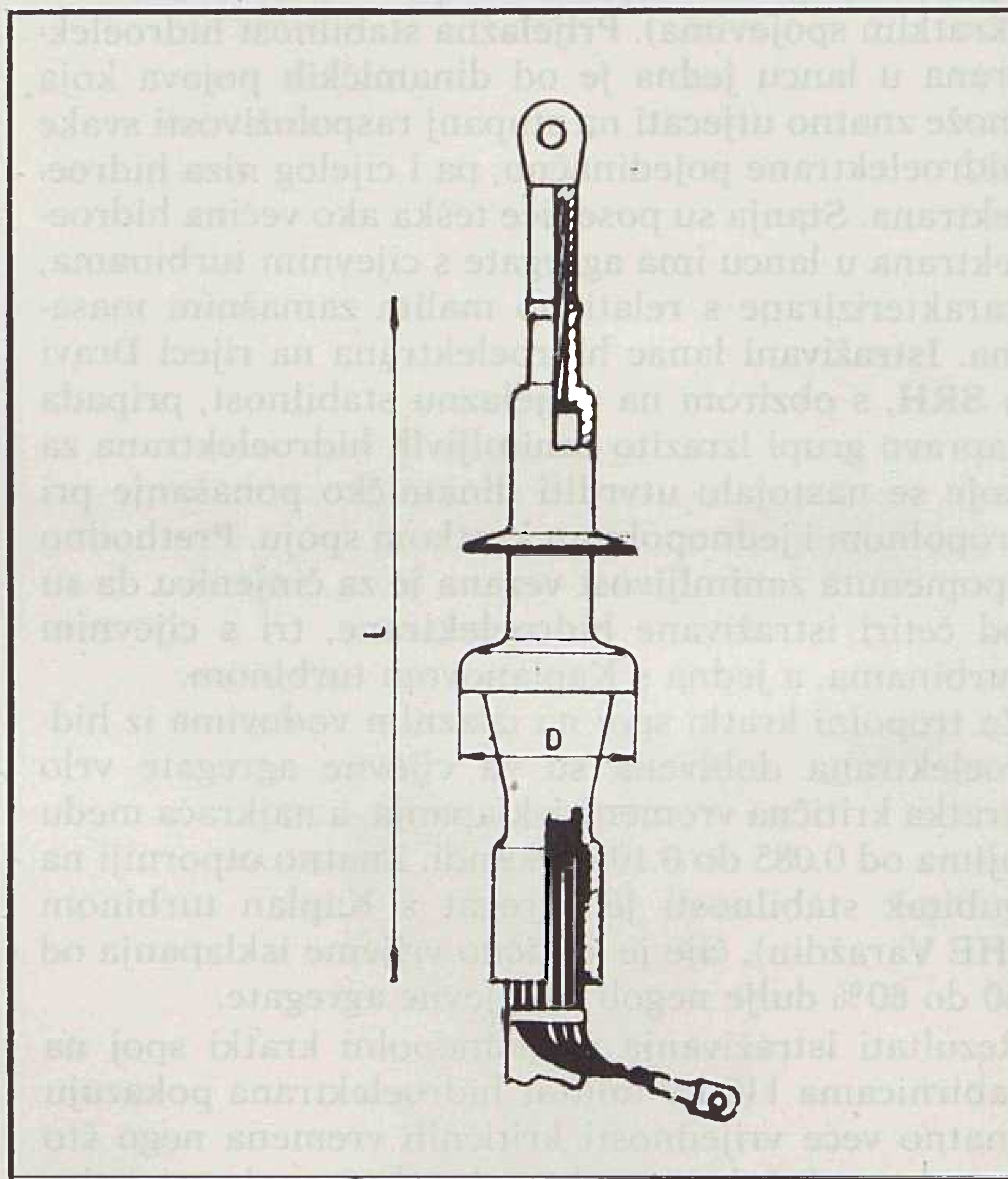
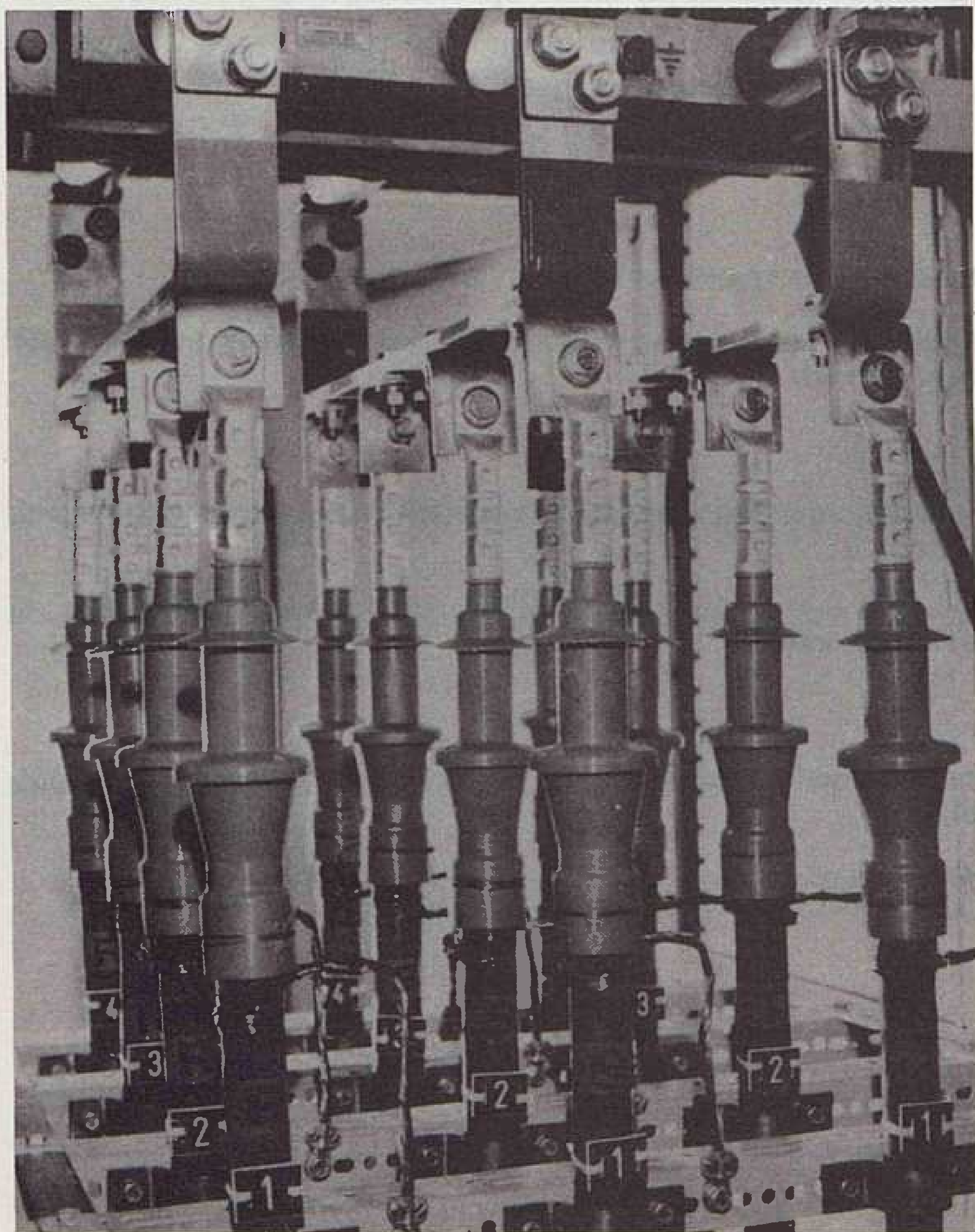
Анализируется проблематика переходной устойчивости гидроэлектростанций в цепи при возникновении тяжелых повреждений.

Naslov pisaca:

**Doc. dr. Srđan Babić, dipl. inž.**  
**Doc. dr. Sejid Tešnjak, dipl. inž.**  
**Ivica Pavić, dipl. inž.**  
 Elektrotehnički fakultet Zagreb  
 Zavod za visoki napon i energetiku  
 Unska 3 — 41000 Zagreb  
 Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:  
 1990–03–09

# KABELSKE GLAVE IZ SILIKONA ZA UNUTARNJU MONTAŽU U TEHNICI NAVLAČENJA KGI 10, KGI 20, KGI 35



POSTROJENJE 110/20 kV TS — VOLOVČICA  
opremljeno s TEP-ovim silikonskim glavama

## Namjena

Kabelske glave KGI 10, KGI 20 i KGI 35 koriste se za završavanje jednožilnih kabela s izolacijom od PE-a, UPE-a i EPDM-a za unutarnju montažu. Primjenjive su za kabel s bakrenim i aluminijskim vodičima, te za kabele s grafitnim i ekstrudiranim slabovodljivim slojem.

## Izvedba

Kabelska glava je izrađena iz silikona dobrih električnih i mehaničkih osobina te velike otpornosti na puzne struje. U izolator je ugrađen dio za oblikovanje polja, a polje se oblikuje geometrijskim načinom.

## Montaža

Montaža kabelske glave je brza i jednostavna, a vrši se prema tvorničkoj uputi.

## Podaci za narudžbu

Kabelske glave isporučuju se kao slog od tri silikonska izolatora s priborom za montažu. U narudžbi navesti tipnu oznaku kabelske glave ili tip kabela, materijal i presjek vodiča.

NAZIVNI NAPON kV	TIP	MAKSIMALNI PRESJEK (mm <sup>2</sup> )	D (mm)	L (mm)	PROMJER PREKO IZOLACIJE (mm)
10	KGI 10/1	35-50	55	205	16-17,5
	KGI 10/2	70-95	55		19-20,5
	KGI 10/3	120-150	62		22-24
	KGI 10/4	185-240	62		25,5-28,5
	KGI 10/5	300	62		29,5-32
20	KGI 20/0	20-50	64,5	240	19-21,5
	KGI 20/1	70-95	70,5		23-24,5
	KGI 20/2	129-150	70,5		26-28
	KGI 20/3	185-240	78		29-32,5
	KGI 20/4	300	78		34-36,5
35	KGI 35/1	50-95	83	318	27,5-32
	KGI 35/2	120-185	83		32-38
	KGI 35/3	240-300	89,5		38-42

## ISPITIVANJE I ATESTIRANJE

Sav kabelski pribor ispitan je i atestiran u Institutu za elektroprivredu u Zagrebu, prema propisima VDE i IEC.

**tvornice elektrotehničkih proizvoda · zagreb**

41090 ZAGREB, Medarska 69 — Telefon: 041/156-522, Telex: 21361, Telefax: 041/156-539

**TEP**

# ODREĐIVANJE BRZINE PROCURIVANJA RADIONUKLIDA NA ODLAGALIŠTU RADIOAKTIVNOG OTPADA U REALNIM DINAMIČKIM USLOVIMA

Dr. Ilija Plećaš — Aleksandar Perić — Andreja Kostadinović, Beograd

UDK 621.039.5

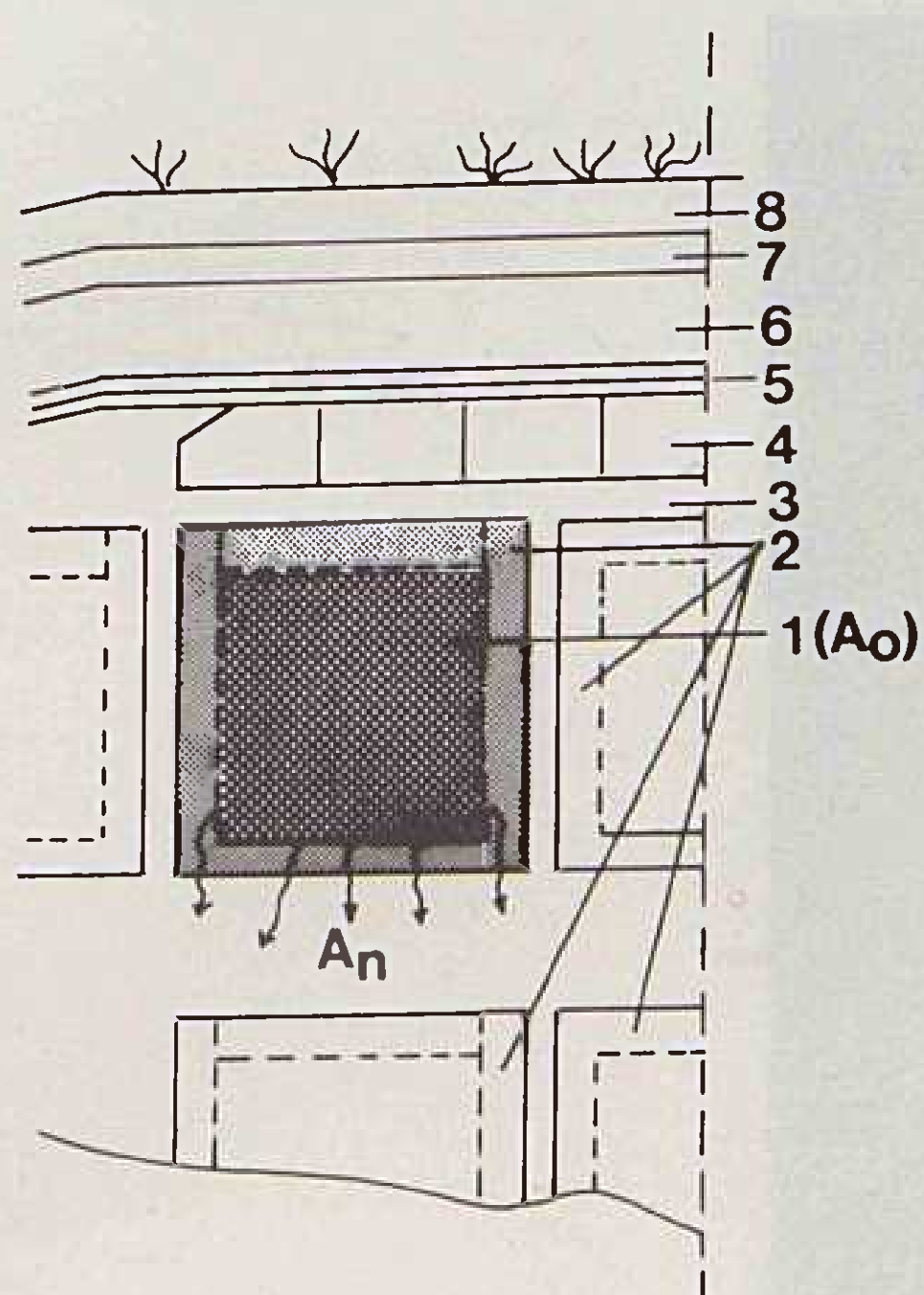
ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Prikazani su rezultati ispitivanja brzine procurivanja radionuklida Co-60 i Cs-137 u dinamičkim uslovima. Za radionuklide Co-60 i Cs-137 koji su imobilisani cementnim postupkom i kondicionirani u betonskim kontejnerima imitira se scenario odlaganja radioaktivnog otpada na odlagalištu tipa inženjerskih tranšeja. Eksperimenti su realizovani sa efluentima iz NE Krško: koncentrat Evaporatora, EB, i reaktorski hladilac, RCS, čiji su glavni radionuklidi Co-60 i Cs-137. Ovi rezultati će se koristiti za buduće jugoslovensko centralno odlagalište za radioaktivni otpad.

**Ključne riječi:** procurivanje radionuklida, odlagalište RAO, brzina izluživanja.

## UVOD

U našim ranijim radovima [1, 2, 3, 4, 5] dat je prikaz laboratorijskih i poluindustrijskih eksperimenata na području imobilizacije radioaktivnih otpadnih materijala iz nuklearne elektrane tipa PWR. Objasnjeni su termini: obrada radioaktivnih otpadnih materijala, stokiranje, kondicioniranje i konačno odlaganje. Data su objašnjenja zašto je izabran postupak imobilizacije nisko i srednje radioaktivnih otpadnih materijala, cementnim postupkom, kao i razlog optimizovanja sistema betonskih inženjerskih tranšeja za konačno odlaganje radioaktivnih materijala, koji treba da obezbedi sigurno čuvanje RAO materijala 300-500 godina (slika 1).



Slika 1. Shematski prikaz sistema inženjerskih tranšeja sa hipotetičkim prostorom oko jednog odloženog kontejnera (1 — malter, 2 — kontejner, 3 — kameni agregat, 4 — betonski blokovi, 5 — PVC folija, 6 — glina, 7 — betonska ploča, 8 — zemlja)

Za potrebe »Sigurnosnog izveštaja« centralnog odlagališta RAO materijala niske i srednje aktivnosti izvršeni su eksperimenti merenja brzine izluživanja radionuklida Co-60 i Cs-137 u dinamičkim uslovima odlagališta. Dinamički uslovi su definisani imitiranjem protoka vode kroz sistem betonskih inženjerskih tranšeja, na osnovu podataka o padavinama s područja koja bi mogla doći u obzir za lociranje odlagališta.

Eksperiment je oponašao scenario izluživanja radionuklida u dinamičkim uslovima i predstavljalo je kvalitativno proširenje standardne IAEA metode po Hespeu [6], koja se odnosi na statičke uslove. Da bi se u potpunosti razumeo smisao sistema inženjerskih barijera, razmotren je proces migracije radionuklida kroz beton.

## MIGRACIJA RADIONUKLIDA KROZ POROZNE SREDINE

Disperzija radionuklida kroz porozne sredine kakva je beton može se opisati jednodimenzionim diferencijalnim modelom [1, 2]:

$$D \frac{\partial^2 A}{\partial x^2} - V_v \frac{\partial A}{\partial x} - \left(1 + \frac{1-f}{f} \cdot \rho_T \cdot kd\right) \frac{\partial A}{\partial T} = 0 \quad (1)$$

gde je retardacioni faktor:

$$K_F = 1 + \frac{1-f}{f} \cdot \rho_T \cdot kd \quad (2)$$

Korišćenjem metode LAPLASOVIIH TRANSFORMACIJA dolazi se do rešenja diverencijalne jednačine:

$$\frac{A_n}{A_0} = \frac{1}{2} \operatorname{erf} z \left| \sqrt{\frac{V_v \cdot x}{4De}} \cdot \frac{\frac{V_v \cdot t}{K_F \cdot x}}{\sqrt{\frac{V_v \cdot t}{K_F \cdot x}}} \right| \quad (3)$$

odakle se može izračunati retardacioni faktor  $K_F$  i koeficijenti distribucije,  $kd$ :

$$kd = \frac{(K_F - 1) \cdot f}{(1 - f) \cdot \rho_T} (=) \text{ (ml/g)} \quad (2')$$

jer su poznate:  $V_v$ ,  $x$ ,  $\rho_T$ ,  $t$  i  $A_o$ .

$A_n$  i  $De$  se određuju eksperimentalno na osnovu LEACHING TESTA [1, 2, 3].

Efektivni koeficijent difuzije,  $De$ , se izračunava kao:

$$De = \frac{\pi}{4} \cdot m^2 \cdot \frac{V^2}{S^2} \text{ (cm}^2/\text{d)} \quad (4)$$

Nomenklatura:

- $V_v$  — brzina fluida (cm/d)
- $K_F$  — retardacioni faktor (=) 1
- $D$  — difuzioni koeficijent (cm<sup>2</sup>/d)
- $A$  — koncentracija radionuklida u tečnosti (Bq)
- $x$  — dužina puta (cm)
- $f$  — poroznost (=) 1
- $\rho_T$  — gustina betona (g/cm<sup>3</sup>)
- $kd$  — distribucioni koeficijent (ml/g)
- $t$  — vreme (d)
- $A_n$  — koncentracija radionuklida u izluženom fluidu (Bq)
- $A_o$  — početna koncentracija radionuklida u malteru (Bq)
- $V$  — zapremina uzorka, kontejnera (cm<sup>3</sup>)
- $S$  — površina uzorka, kontejnera (cm<sup>2</sup>)
- $t_n$  — period uzimanja uzoraka (d)
- $m$  — nagib prave  $\frac{\sum A_n}{A_o}$  versus  $\sqrt{t_n}$ , (d<sup>-1/2</sup>) iz LEACHING TESTA.

Brzina izluživanja radionuklida (INCREMENTAL LEACHING RATE) može se izračunati na osnovu jednačine:

$$R = \frac{\sum A_n}{A_o} \cdot \frac{V}{S} \cdot \frac{1}{t_n} \text{ (cm/d)} \quad (5)$$

## APARATURE

U institutu za nuklearne nauke »Boris Kidrič« u Vinči konstruisane su aparature za ispitivanje brzine izluživanja radionuklida iz betonskih kontejnera u kojima je imobilisan RAO materijal u malteru kao matriksu prema ranije opisanim recepturama [1, 2, 3] a u dinamičkim uslovima (sl. 2). Ostvaren je stalni protok vode ( $Q = 500$  ml/dan) odozgo nadole, okolo betonskih kontejnera, koji imitira dinamičke uslove ispiranja radionuklida putem podzemnih voda ili kiše. U određenim vremenskim periodima meri se koncentracija izluženih radionuklida iz kontejnera i proračunavaju migracioni parametri.

Izrađena su dva kontejnera ( $K_1$  i  $K_2$ ) sa karakteristikama:

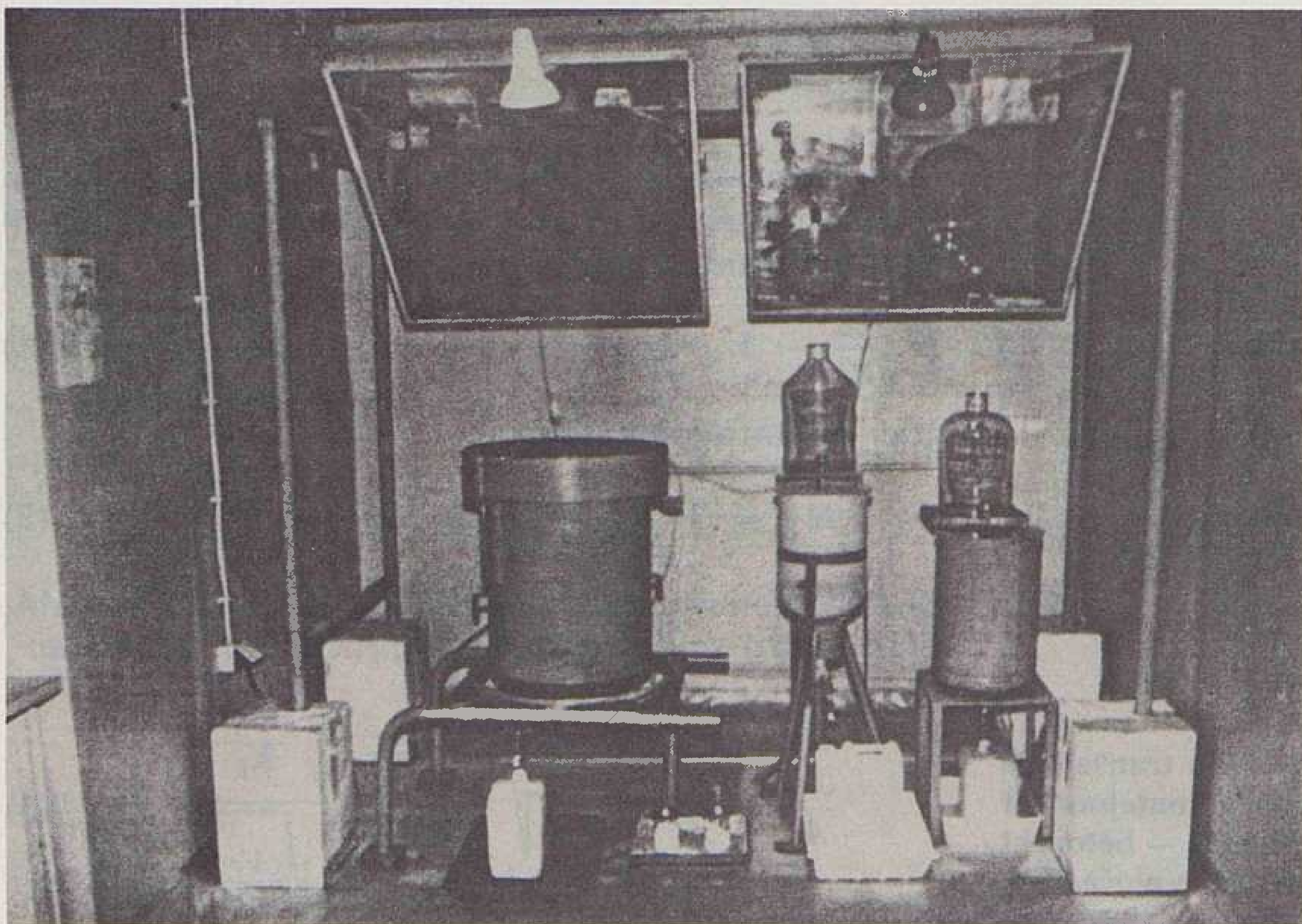
- prečnik kontejnera,  $\varnothing = 24/16$  cm
- visina kontejnera,  $H = 22$  cm
- debljina zida kontejnera,  $d = 4$  cm
- zapremina imobilisanog RAO materijala,  $V = 3$  l
- početna radioaktivnost u malteru u kontejneru:  
 $A_o = 3,7 \cdot 10^7$  Bq za Cs-137  
 $A_o = 3,7 \cdot 10^7$  Bq za Co-60
- protok vode,  $Q = 500$  ml/dan.

Kontejner  $K_2$  je pre ispune sa malterom (kao matriksom) iznutra premazan slojem epoksidne smole, oko 200  $\mu$ , kao dodatnom zaštitom.

Obe aparature su snabdevene rezervoarom koji obezbeđuje konstantan priliv vode (500 ml/dan). Na dnu aparature pomoću mikroslavine obezbeđeno je odstranjivanje vode sa izluženim radionuklidima iz kontejnera koji je potopljen u potpunosti.

## REZULTATI

Na tabeli I date su izračunate vrednosti difuzionih koeficijenata,  $D_e$  (cm<sup>2</sup>/d), retardacionih koeficijena-



Slika 2. Aparature za ispitivanje brzine izluživanja radionuklida u dinamičkim uslovima

Tabela I. Difuzioni koeficijenti,  $D_e$  (cm<sup>2</sup>/d), retardacioni faktori,  $K_F$ , koeficijenti distribucije,  $kd$  (ml/gr) i brzina izluživanja,  $R$  (cm/d), posle 405 dana za Co-60 i Cs-137,  $f=0,15$ 

radionuk. $t$ (d)	$D_e$		$K_F$		$kd$		$R$	
	Co-60	Cs-137	Co-60	Cs-137	Co-60	Cs-137	Co-60	Cs-137
207	$2,3 \times 10^{-14}$	$8,7 \times 10^{-14}$	$1,52 \times 10^3$	$1,48 \times 10^3$	105	98	$6,5 \times 10^{-8}$	$8,2 \times 10^{-8}$
214	$2,0 \times 10^{-14}$	$6,8 \times 10^{-14}$	$1,58 \times 10^3$	$1,52 \times 10^3$	106	99	$4,20 \times 10^{-8}$	$7,80 \times 10^{-8}$
230	$1,8 \times 10^{-14}$	$6,3 \times 10^{-14}$	$1,62 \times 10^3$	$1,56 \times 10^3$	109	100	$2,70 \times 10^{-8}$	$5,17 \times 10^{-8}$
300	$1,5 \times 10^{-14}$	$6,0 \times 10^{-14}$	$1,73 \times 10^3$	$1,62 \times 10^3$	111	102	$1,38 \times 10^{-8}$	$2,76 \times 10^{-8}$
405	$1,2 \times 10^{-14}$	$5,2 \times 10^{-14}$	$1,79 \times 10^3$	$1,66 \times 10^3$	119	104	$8,63 \times 10^{-9}$	$1,79 \times 10^{-8}$

ta,  $K_F$ , koeficijenata distribucije,  $kd$  (ml/gr) i incrementalnu brzinu izluživanja,  $R$  (cm/d), posle 205 dana, za Co-60 i Cs-137, za kontejner  $K_1$ , a na osnovu jednačina: (3), (2'), (4) i (5) i eksperimentalnih podataka  $A_n$ ,  $t_n$  i  $V_v$ .

Nakon 405 dana, na aparaturi u kojoj je ispitivano izluživanje radionuklida iz  $K_2$ , kontejnera, nije konstatovano prisustvo radionuklida Co-60 i Cs-137, što ukazuje da je nanošen sloj epoksidne smole od 200 $\mu$  dovoljan da u periodu od 405 dana ne dozvoli procurenje radionuklida iz kontejnera. Epoksidna smola je jedina uvozna komponenta u sistemu inženjerskih barijera.

## ZAKLJUČAK

Analizirajući rezultate prikazane na tabeli I, može se zaključiti da su parametri: difuzioni koeficijenti,  $D_e$ ,  $\sim 5 \times 10^{-14}$  (cm<sup>2</sup>/d), retardacioni faktori  $K_F \sim 2 \times 10^3$ , koeficijenti distribucije,  $kd \sim 100$  (ml/gr) i brzine izluživanja,  $R \sim 5 \times 10^{-8}$  (cm/d), zadovoljavajućih vrednosti, što garantuje da radionuklidi neće iz sistema inženjerskih barijera izaći u periodu od 300 do 500 g, što je bio osnovni cilj, kao i da se jednodimenzioni model migracije može uspešno primeniti pri određivanju migracionih parametara.

Takođe, još jednom se potvrdila pretpostavka da se jugoslovenski materijali (cement, pesak, granulati, aditivi, voda) mogu uspešno koristiti za izradu elemenata betonskih inženjerskih tranšeja za buduće jugoslovensko skladište radioaktivnog otpada niske i srednje aktivnosti.

## LITERATURA

- [1] PLEĆAŠ I. et al., »Optimization of Concrete Containers composition in Radioactive Waste Technology«, RWMADW, 6(2) (1985)
- [2] PLEĆAŠ I., »Comparative Study of French and Yugoslav Radioactive Waste Forms«, Waste Management '83, Tucson, Arizona, USA, 2 (1983)
- [3] PLEĆAŠ I., »Optimization of Concrete Container composition in Radioactive Waste Management«, Scientific Basis for Nuclear Waste Management, Stockholm, (1985)
- [4] PLEĆAŠ I., DRLJAČA J., KOSTADINOVIĆ A., PERIĆ A., GRADIŠAR Lj., »Co-60 leaching from Various Formu-

- lations of Concrete in Shallow Land Disposal System«, Waste Management '87, Tucson, Arizona, USA, 3 (1987)
- [5] PLEĆAŠ I., »Karakteristike betona za izradu kontejnera u tehnologiji kondicioniranja radioaktivnih otpadnih materijala«, Primenjena nauka 3, (1985)
- [6] HESPE E., »Leach Testing of Immobilized Radioactive Waste Solids«, At. Energy Rev., 9 (1971).
- [7] PLEĆAŠ I., »Proračunavanje brzine procurivanja radionuklida iz betonskog sistema odlagališta za radioaktivni otpad«, Primenjena nauka, 13/14 (1988).

### DETERMINATION OF THE RADIONUCLIDE LEAKAGE RATES FROM THE WASTE DISPOSAL IN REAL DYNAMIC CONDITIONS

In the article are presented experimental results of the radionuclide Co-60 and Cs-137 leakage rates in real dynamic conditions. The radionuclides are immobilised by cement in concrete containers and waste disposal conditions are simulated.

### DAS BESTIMMEN DER GESCHWINDIGKEIT DES HERAUSRINNENS DER RADIONUKLIDE AUF DER ATOMMÜLL DEPONIE UNTER REALEN DYNAMISCHEN BEDINGUNGEN

Man berichtet über die Ergebnisse der Geschwindigkeit des Ausfließens der Radionuklide Co-60 und Cs-137 unter dynamischen Bedingungen. Für die Radionuklide Co-60 und Cs-137 die durch das Zementverfahren immobilisiert und in Betonkontainern konditioniert wurden wird ein Szenario der Ablage des radioaktiven Mülls auf Mülldeponien imitiert.

Die Experimente wurden mit Efluenten aus dem KW Krško: Konzentrat des Evaporators, EB und Reaktor-Kühler, RCS deren Hauptnuklide Co-60 und Cs-137 realisiert. Diese Ergebnisse wird man für die zukünftige jugoslawische Zentrale Deponie für radioaktiven Müll verwenden.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПРОСАЧИВАНИЯ РАДИОНУКЛИДА В ОТВАЛАХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ПРИ РЕАЛЬНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Представлены результаты исследования скорости протекания радионуклидов Co-60 и Cs-137 при динамических условиях. Для радионуклидов Co-60 и Cs-137, содержащихся цементным способом и кондиционированных в бетонных контейнерах, имитируется сценарий укладки радиоактивных отходов в овалы типа инженерных траншей.

Опыты выполнены со стоками на АЭ «Кршко»: концентрат Эвaporатора, EB и охладителями реакторов, RCS главными радионуклидами которых являются Co-60 и Cs-137.

Данные результаты будут использованы в будущем для югославского центрального отвала радиоактивных отходов.

Naslov pisaca:

Dr. Ilija Plećaš, dipl. inž.  
Aleksandar Perić, dipl. inž.  
Andreja Kostadinović, dipl. inž.  
Institut za nuklearne nauke  
»Boris Kidrič« — Vinča,  
11001 Beograd,  
P. fah 522, Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:  
1990-01-23



# EMO OHRID

## Elektroindustrija i inženjering

96000 Ohrid

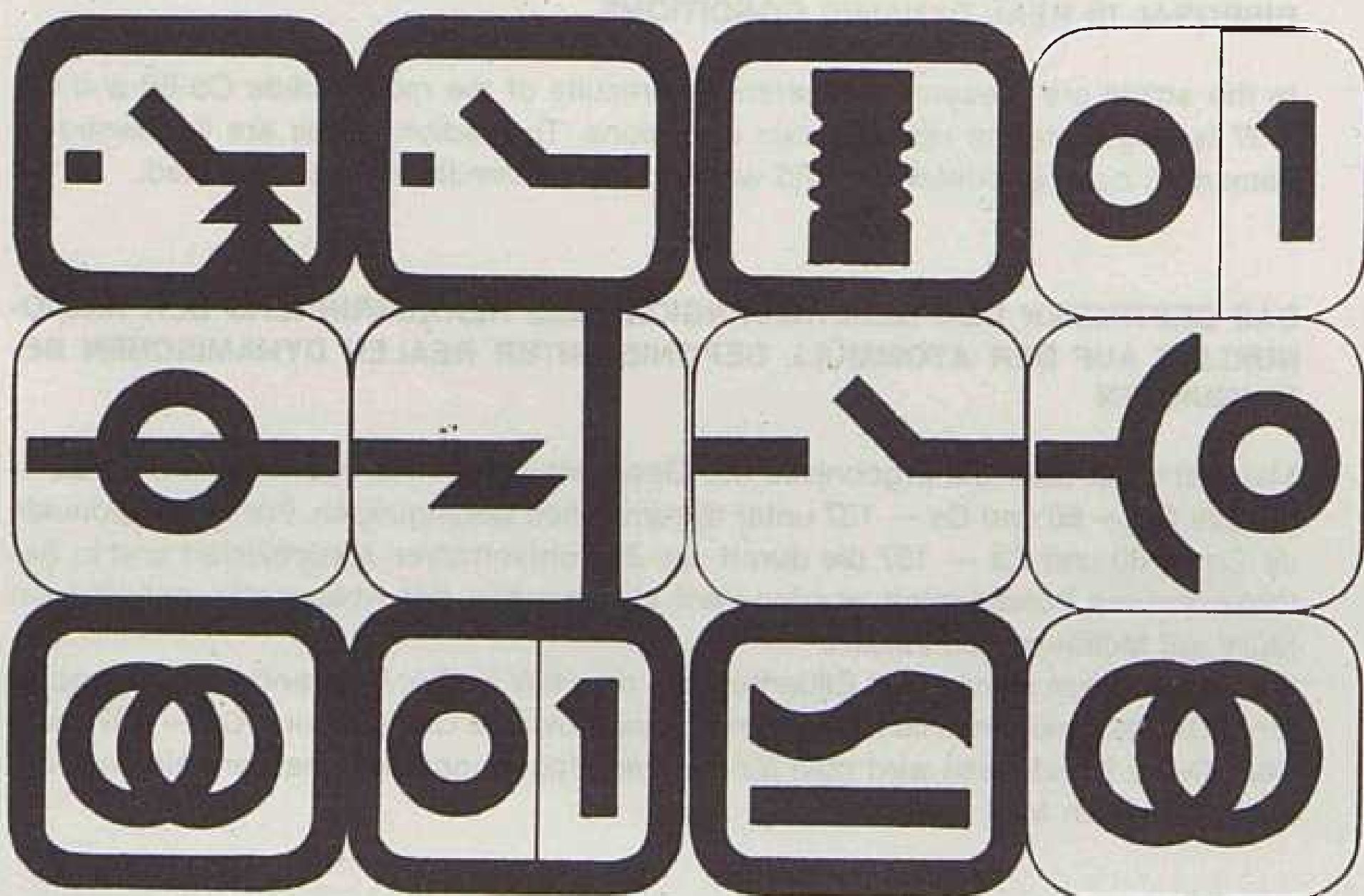
P. Fah 118

telefon: 096/34-944

telex: 53829 YU EMOOH

telefax: 33690

- Elektropostrojenja za srednji napon, do 36 kV
- Elektropostrojenja za niski napon
- Modularni niskonaponski sistemi
- Distributivni transformatori do 10000 kVA
- Mjerni strujni transformatori za srednji i niski napon
- Naponski mjerni transformatori
- Potporni i provodni izolatori od epoksidnih smola, do 36 kV
- Rasklopni aparati za srednji i niski napon
- Automatika i elektronika
- Fleksibilni sistemi
- Stupovi za javnu rasvjetu
- Čelično rešetkasti stupovi, do 400 kV
- Ovjesa i spojna oprema za dalekovode, do 400 kV
- Elektrostatski filteri
- Površinska zaštita i limeni proizvodi
- Hladnooblikovani profili i metalni proizvodi



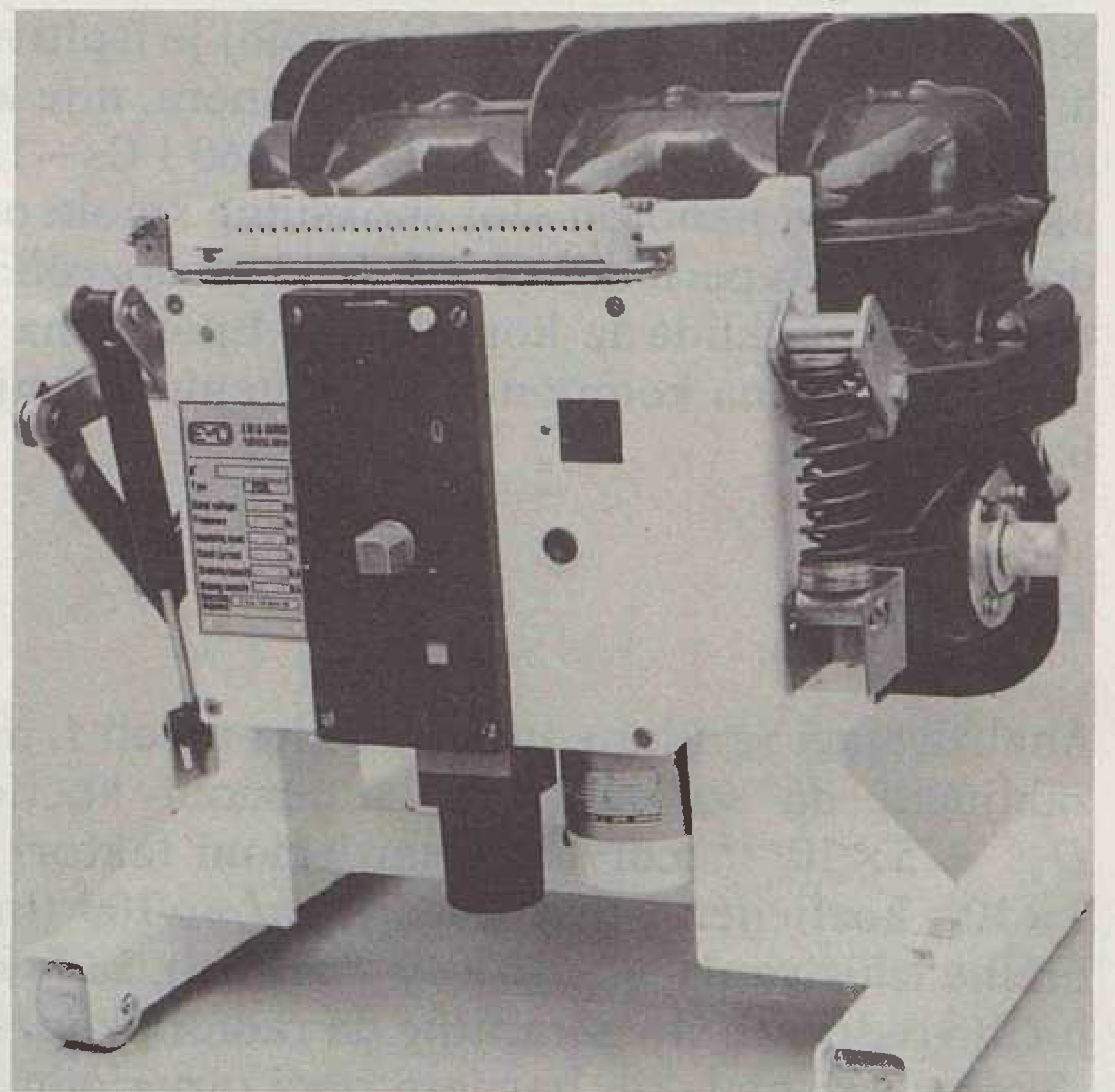
## INŽENJERING

— Preuzimanje kompletnih radova po sistemu »ključ u ruku«, odnosno projektiranje, proizvodnja i nabavka materijala i opreme, transport, montaža, ispitivanje i puštanje u pogon:

- Dalekovode svih napona
- Visokonaponske i niskonaponske mreže
- Elektroinstalacije (motorski razvod, automatika, instalacije za unutrašnje i vanjsko osvjetljenje, gromobranske instalacije i dr.)
- Elektrostatske filtere za suho prečišćavanje otpadnih plinova
- Metalne konstrukcije za tvorničke hale, mostove, visokonaponska razvodna postrojenja i dr.
- Cjevovode, naftovode, plinovode i dr.
- Hidro i termoelektrane, rafinerije, skladišta, silosa, objekte za crnu i obojenu metalurgiju, kemijsku industriju i dr.



Kelija sa izvlačivim SF6 prekidačem, 12 kV



SF6 prekidač, 12 kV, 1250 A



Suhi transformator, 630 kVA  
Termička klasa izolacije H

# TRENDOVI U PRIMJENI RAČUNALA ZA NADZOR PROCESA U NUKLEARNOJ ELEKTRANI

Mr. Boris Kalan, Zagreb

UDK 621.311.25.621.039

STRUČNI RAD

Strogi zahtjevi za pouzdanost i sigurnost rada NE odražavaju se i na zahtjevima na računarski sistem za nadzor procesa. Moderna koncepcija nadzora osniva se uz klasične funkcije i na primjeni triju nezavisnih metoda, i to redukcije informacija, nadzora stanja i nadzora odvijanja procesa radi pouzdanijeg i selektivnijeg prikaza informacija pogonskom osoblju.

**Ključne riječi:** računarski sistem, nadzor procesa, nuklearna elektrana, pouzdanost i sigurnost.

## 1. UVOD

Strogi zahtjevi na pouzdanost i sigurnost rada nuklearnih postrojenja, kao i novi USA propisi (npr. NUREG SPDS [1] — Safety Parameter Display System) odražavaju se i na zahtjevima na računarske sisteme za nadzor procesa u nuklearnim elektranama. Komandna prostrojica u nuklearnoj elektrani opremljena je odgovarajućim mjerenim instrumentima, signalnim i upravljačkim elementima u sklopu centralnog sistema nadzora, regulacije i upravljanja. Siguran pogon nuklearne elektrane u svim pogonskim režimima kao i tranzijentnim stanjima omogućen je pomoću sistema automatske zaštite, kao i sistema za nadzor kritičnih pogonskih stanja.

Procesno računalo za nadzor tehnološkog procesa u nuklearnoj elektrani ima funkciju da kao dodatni sistem uz konvencionalnu instrumentaciju brzo i jednoznačno obavijesti pogonsko osoblje o svim normalnim, tranzijentnim i havarijskim pogonskim stanjima, kao i o svim kvarovima u samom sistemu automatike.

## 2. KLASIČNE FUNKCIJE RAČUNALA ZA NADZOR

Klasične funkcije nadzora procesa u nuklearnim elektranama riješene su na istom nivou kao i u termoelektranama uz primjenu »on-line« računala s modom rada u otvorenoj petlji.

Procesno računalo s kojim operater komunicira putem zaslona i funkcijske tastature sastoji se od [2]:

- 16-bitnog centralnog procesora
- aritmetičkog koprocesora za klizni zarez (floating point)
- jedinice sata realnog vremena
- jedinice disk-memorije
- jedinice zaslona s funkcijskim tastaturama
- tiskala.

Funkcije računala za nadzor procesa su sljedeće:

- analogni ulazni signali: očitavanje signala po određenom redoslijedu, konverzija signala u inženjerske jedinice, nadzor signala s obzirom na granične vrijednosti i pohranjivanje u bazu podataka
- binarni ulazni signali: očitavanje signala po određenom redoslijedu, momentalno očitavanje »interrupt« signala i pohranjivanje u bazu podataka
- alarmiranje: usporedba analognih i binarnih signala s konstantnim ili varijabilnim postavnim vrijednostima, ispis alarma na zaslonu i tiskalu sa zvučnim signalom te unošenje u listu alarma
- ispis trend krivulja: za potrebe analiza tranzijentnih stanja ispisuje se određeni broj analognih signala, digitalnih signala ili izračunatih vrijednosti kroz određeni vremenski period i za određeni broj mjernih točaka
- vizualni prikaz na zaslonu momentalnih analognih i digitalnih signala kao i računskih vrijednosti
- formiranje trend-liste određenih analognih ili binarnih signala kroz određeno razdoblje prije i poslije pogonskog događaja (Post mortem review)
- kronološka registracija događaja: pohranjivanje i ispis na tiskalu sekvence promjene stanja važnih binarnih signala (tj. uklopnog stanja izvršnih uređaja) za potrebe analize uzroka i posljedica pojedinih pogonskih događaja (npr. ispad reaktora) s vremenskom rezolucijom manjom od 10 ms
- formiranje pogonskih dnevnih i mjesečnih protokola koji sadrže potrebne vrijednosti za praćenje stanja tehnološkog procesa
- formiranje protokola broja radnih sati pojedinog pogona
- formiranje protokola broja uklopa pojedinih pogona
- formiranje protokola stanja procesnog računala
- omogućavanje komunikacije operatera s procesnim računalom u obliku dijaloga

- izvođenje specifičnih programa za nadzor procesa nuklearne elektrane ili za razne proračune (npr. nadzor postavnih vrijednosti važnih procesnih varijabli, provjere točnosti pojedinih mjerenja, nadzor sistema zaštite reaktora, nadzor redundantnih mjerenja, provjera nuklearnih mjernih kanala, proračuni toplinskog učinka reaktora i generatora pare, proračun i nadzor sekundarnih parametara itd.).

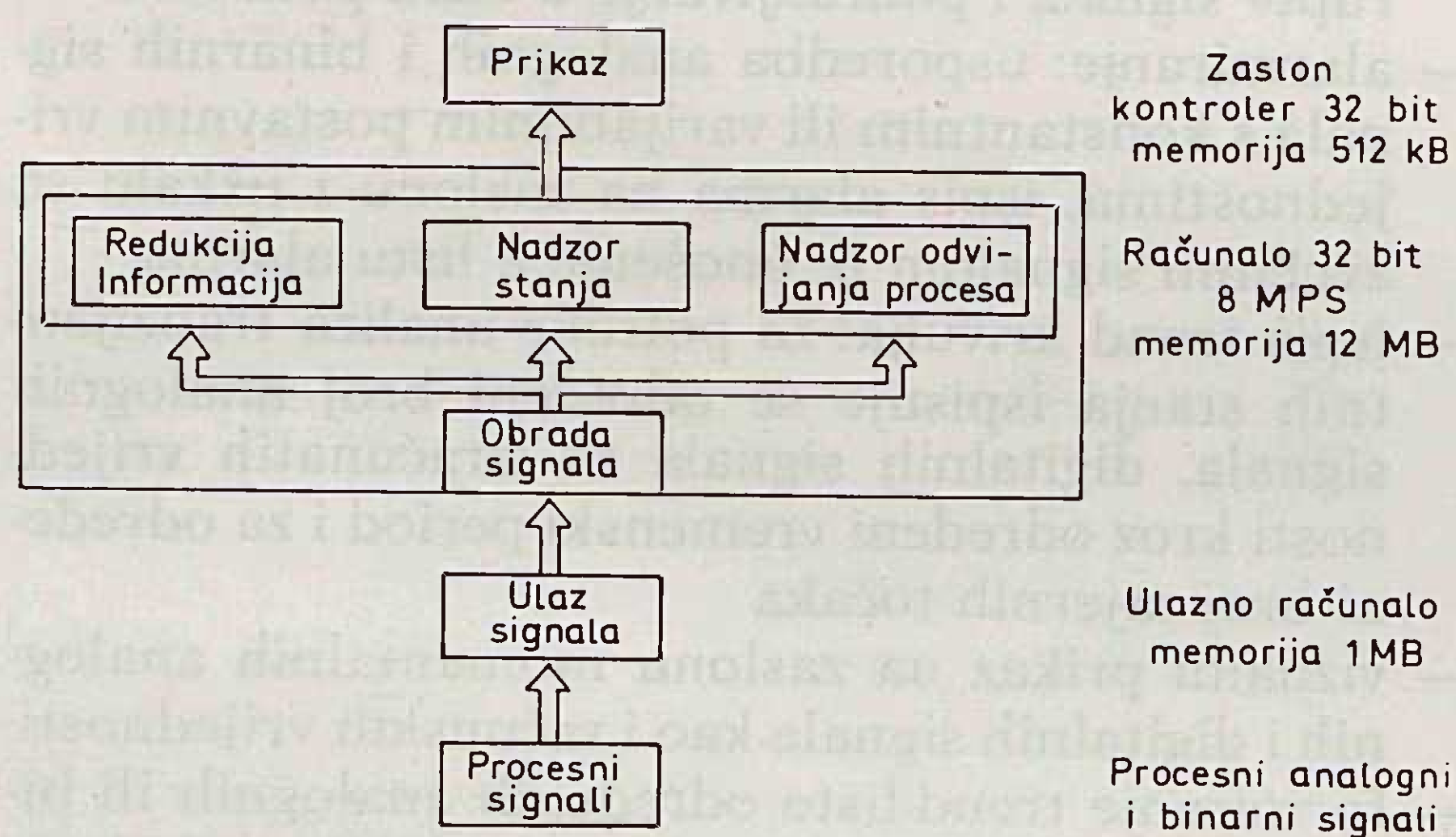
### 3. MODERNA KONCEPCIJA SISTEMA NADZORA U NUKLEARNIM ELEKTRANAMA

Moderna koncepcija sistema nadzora u nuklearnim elektranama osniva se na zahtjevima USA-regulative [1] za prikazivanje dodatnih informacija o stanju procesa, kao i sistema automatike pogonskom osoblju u komandnoj prostoriji. Nadzorni sistem treba s visokom pouzdanošću i u realnom vremenu prikazati niz pogonskih parametara, tzv. vektor-stanja, koji definiraju sigurnosno stanje nuklearne elektrane.

Moderna koncepcija nadzora osniva se na primjeni triju nezavisnih metoda, i to:

- redukcije informacija
- nadzora stanja
- nadzora odvijanja procesa.

Na osnovi takve koncepcije je KWU u suradnji s Motor-Columbus [3] izradio programe za 32-bitno računalo koji se sada nalaze u fazi probnog ispitivanja u NE Philippsburgh (slika 1).



Slika 1.

#### 3.1. Redukcija informacija

Za dostizanje visoke pouzdanosti rada nuklearne elektrane potrebno je primijeniti opsežnu instrumentaciju, tj. mjerenja, indikacije i alarme, kako bi se i mali pogonski poremećaji mogli pravovremeno, prije nego nastanu veći efekti, detektirati. Tako opsežna instrumentacija rezultira u primjeni velikog broja pojedinačnih informacija u komandnoj prostoriji. U slučaju većih pogonskih smetnji, kod kojih se nuklearno postrojenje nalazi izvan normalnog radnog područja, dolazi do privremene pojave velikog broja raznih informacija (signala upozorenja i alarma) kako u dijelu postrojenja gdje je došlo do poremećaja, tako i u ostalim tehnološki povezanim po-

strojenjima. U takvim situacijama pogonsko osoblje treba provesti naknadne analize radi detektiranja uzroka nastalih poremećaja, a što zahtijeva određeno vrijeme.

Broj nastalih informacija kod pojedinog poremećaja u ovisnosti je o samom uzroku poremećaja, njegovu djelovanju na postrojenje, kao i o početnom pogonskom stanju nuklearne elektrane.

Metoda za dinamičko reduciranje informacija osniva se na dva principa, i to:

- na osnovi analize signala koji su posljedica odvijanja samog tehnološkog procesa, blokiraju se daljnje nastali signali
- blokiranje ne važnih signala, tj. na osnovi definiranih pogonskih događaja blokiraju se oni signali koji nisu nužni, kroz određeni vremenski period, za pogonsko osoblje (npr. kod pogonskog režima skokovite ili uzlazno/silazne promjene opterećenja mogu se neki signali blokirati u trajanju od nekoliko sekundi pa do nekoliko minuta).

Reducirane informacije prikazuju se na zaslonu u tekstovnoj formi, dok se cijeli opseg svih informacija izlistava u odgovarajućem protokolu događaja.

Primjenom metode za redukciju informacija moguće je u pojedinim pogonskim stanjima smanjiti broj informacija za faktor 10.

#### 3.2. Nadzor stanja

Metoda za nadzor stanja daje pogonskom osoblju informacije o pogonskoj raspoloživosti pojedinih komponenti, pogona, sistema i cijelog nuklearnog postrojenja.

Putem programa za nadzor stanja generira se na osnovi ulaznih analognih i binarnih signala iz tehnološkog postrojenja, nova kvaliteta informacije, tzv. signal stanja.

Program nadzora stanja prikazuje na tehnološkoj shemi postrojenja, putem različitih boja i formi, sljedeće informacije o pogonskom stanju (klasifikacija pogonskih stanja i oznaka bojom je u skladu sa zahtjevima njemačke regulative [5]):

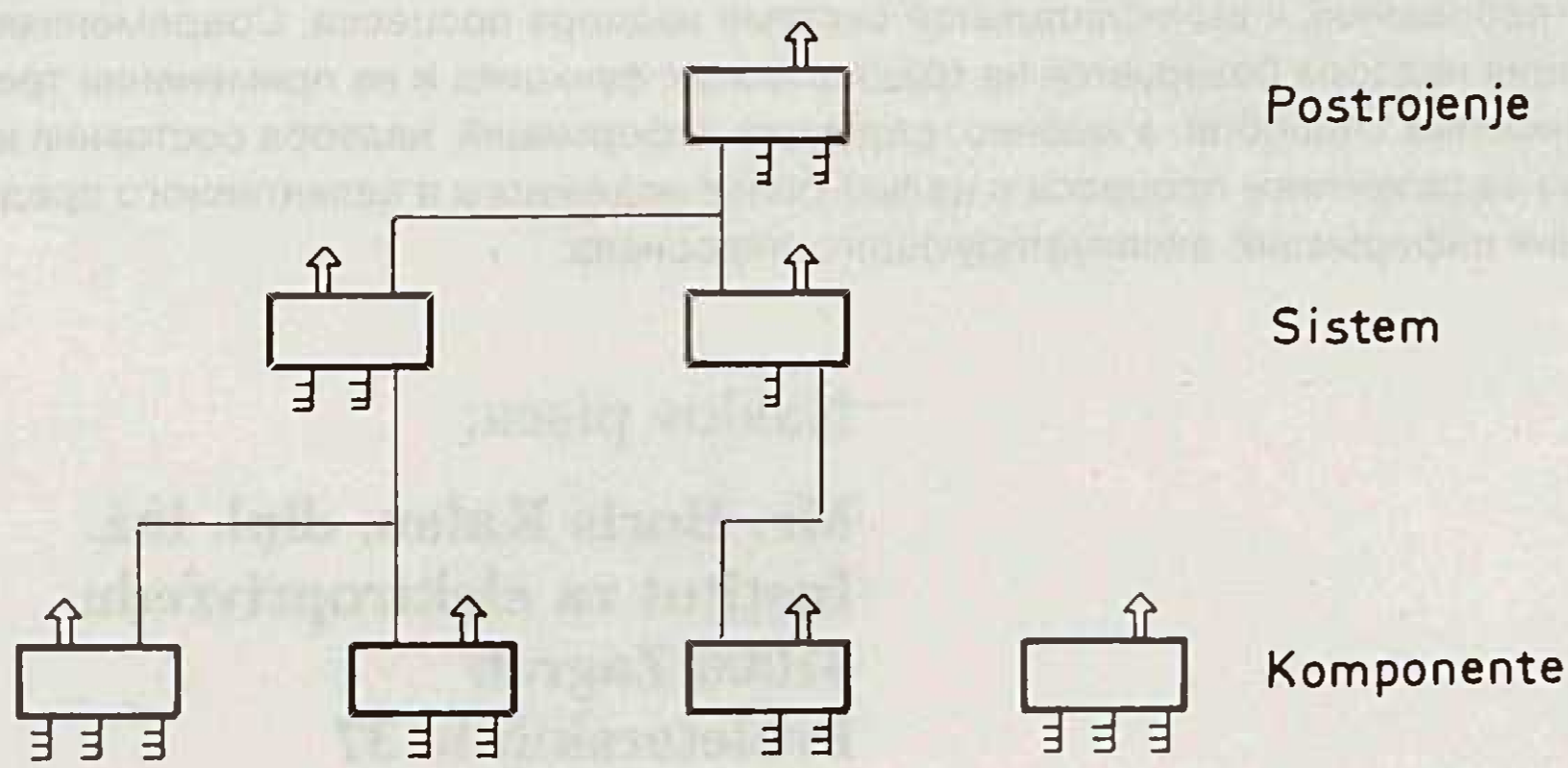
- pogon uključen (zelena boja)
- pogon isključen (bijela boja)
- lokalno ograničena smatnja koja ne ometa funkciju sistema (plava boja)
- lokalno ograničena smetnja koja može ometati funkciju sistema (žuta boja)
- gubitak funkcije sistema (crvena boja).

Algoritam programa za nadzor stanja ekvivalentan je algoritmu sekvencijalnog upravljanja, tj. na ulaze standardnih programskih elemenata priključuju se procesni analogni i binarni signali, a izlazni signali povezuju se sa sljedećim elementima. Signali stanja se hijerarhijski povezuju od pojedine komponente preko sistema pa do cijelog postrojenja (slika 2).

Tako npr. na primjeru povišene temperature jednog ležaja (PP2) napojne pumpe (FW PMP) na tehnološkoj shemi pumpe bit će označeno mjesto smetnje odgovarajućom bojom i porukom. Isto tako na tehnološkim shemama napojnog sistema kao i cijelog po-



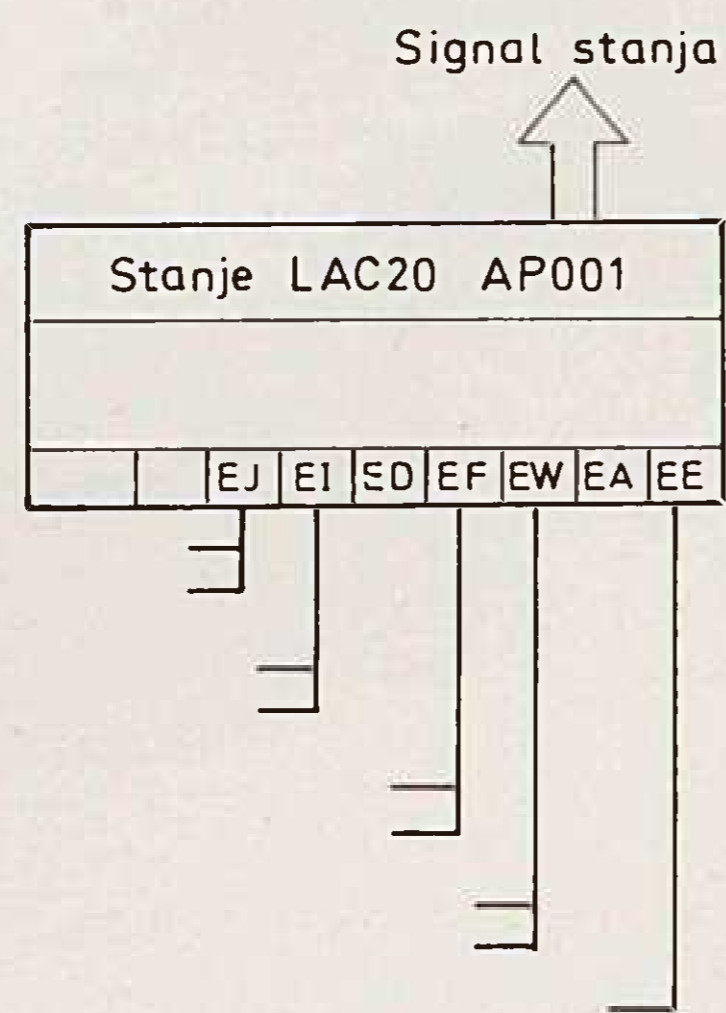
strojenja bit će bojom i porukom označeno mjesto smetnje (slika 3).



Slika 2.

EJ = vanjska smetnja  
EI = ispad vanjska smetnja  
EF = ispad unutarnja smetnja  
EW = smetnja na komponenti  
EA = mirovanje  
EE = pogon

Blokada 1  
Blokada 2  
Razina predgr. L 13M  
HP predgr. A5 L 4M  
Namot motora PP2 T 140C  
Klizni ležaj PP2 T 85C  
FW FCV 1 NO  
FW FCV 2 NO  
FW PMP ON



Slika 3.

### 3.3. Nadzor odvijanja procesa

Pomoću metode za nadzor odvijanja procesa automatski se u toku tranzijentnih pojava kontrolira odvijanje pojedinih važnih pogonskih događaja, i to s obzirom na vremensko trajanje pojedinih stanja, kao i na odstupanja od projektom predviđenih sekvenci automatskog upravljanja.

Program nadzora odvijanja procesa analizira na osnovi liste ulaznih signala pojedine procesne funkcije i redoslijed odvijanja pogonskih stanja. Ulazna lista signala sastoji se od signala starta i stanja pojedinih pogona, kao i signala automatskih kontrolnih akcija sa zahtijevanim vremenima za nadzor odvijanja pojedinih procesa.

Kao primjer procesa koji se može nadzirati jest automatsko odvijanje funkcije hlađenja reaktorske jezgre u nuždi ili funkcija brzog zaustavljanja turbine.

Za svaku automatsku akciju koja nije provedena u određenom periodu javlja se signal pogreške u odgovarajućoj tablici na zaslonu, i istovremeno se taj signal bilježi u listi događaja. Na osnovi tako dobivene informacije pogonsko je osoblje oslobođeno vremenski izdašne analize sekventnih signala iz liste događaja.

Kao što se iz opisa metode redukcije informacija i nadzora stanja vidi, te su metode međusobno komplementarne. Težište metode za redukciju informacija je na boljem prikazu informacija u toku samog poremećaja, tj. na detaljnijim informacijama o pojedinim promjenama, dok je težište metode za nadzor stanja na prikazu trenutnog pogonskog stanja koje je

rezultat prethodnih pogonskih stanja, tj. na preglednoj informaciji rezultata pogonskih promjena. Metoda za nadzor odvijanja procesa dopunjuje metodu za redukciju informacija s dodatnim sažimanjem prezentiranih informacija za potrebe pogonskog osoblja.

### 4. ZAKLJUČAK

Moderna koncepcija nadzora procesa u nuklearnim elektranama osniva se ne samo na aktualnim zahtjevima svjetske regulative već i na potrebi za poboljšanje komunikacije pogonskog osoblja sa sistemom. Za procjenu kvalitete sistema nadzora potrebno je u pogonskim uvjetima provjeriti ispunjenje sljedećih kriterija:

- važnosti predočene informacije za pogonsko osoblje
- preglednosti predočenih informacija
- mogućnosti komunikacije s procesnim računalom
- efikasnosti definiranih kriterija nadzora u usporedbi s konvencionalnim rješenjima
- efikasnosti pojedinih programa u realnim uvjetima.

Primjenom modernih programa za nadzor procesa na instaliranim 32-bitnim procesnim računalima omogućuje dodatnu podršku pogonskom osoblju za sigurno vođenje pogona nuklearne elektrane.

Potrebno je također napomenuti da se u NE »Krško« u skladu sa zahtjevima i preporukama nuklearne regulative priprema projekt zamjene postojećeg procesnog računala novim sistemom.

U projektu se predviđa ugradnja procesnog računala složene systemske arhitekture baziranog na 32-bitnom procesoru i u redundantnoj konfiguraciji. Aplikacijski programi koriste se za opsežan nadzor tehnološkog procesa, nadzor sistema procesnog računala, održavanje opsežne baze podataka i izvođenje specifičnih proračuna.

### LITERATURA

- [1] NRC NUREG-0585: TMI-2 Lessons Learned Task Force Final Report
- [2] NEK: P2500 Plant Computer System
- [3] G. WOEHRLE, M. KRAFT: »Zukunftsorientiertes Rechnerinformations-system fuer die Kraftwerksprozessfuehrung als Pilot-Projekt im Kernkraftwerk Philippsburg«, VGB Kraftwerkstechnik 68, Heft 4, April 1988
- [4] DIN 19235: Meldungscodierung durch Farben
- [5] NEK: Design Basis and Requirements Specification for the Pilot Project of the Process Computer Replacment in Krško NPP

**TRENDS IN COMPUTER APPLICATION FOR PROCESS MONITORING IN NPP**

Rigid requirements on reliability and safety of NPP are reflected on requirements for computer systems for process monitoring. The modern concept is based beside classical functions, on three independent methods: information reduction, state monitoring and monitoring of process sequences due to reliable and selective presentation of plant parameters to operators.

**НАПРАВЛЕНИЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН ПРИ НАДЗОРЕ ЗА АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ**

Строгие требования обеспечения надежности и безопасности АЭС отражаются и на требованиях к вычислительной системе надзора процесса. Современная концепция надзора базируется на традиционных функциях и на применении трех независимых способов, а именно: редукции информации, надзора состояния и надзора за развитием процесса с целью более надежного и селективного представления информации эксплуатирующего персонала.

**TRENDS BEI DER ANWENDUNG DER RECHNER FÜR DIE UBERWACHUNG DER PROZESSE IM KERNKRAFTWERK**

Die strengen Ansprüche auf Zuverlässigkeit und Sicherheit beziehen sich nicht auf das Rechnersystem für die Prozessüberwachung. Die moderne Konzeption der Überwachung gründet neben klassischen Funktionen auch auf der Anwendung dreier unabhängigen Methoden und zwar Reduktion der Information, Überwachung der Lage und Überwachung der Prozessentwicklung wegen zuverlässiger und selektiver Schilderung der Informationen für das Betriebspersonal.

Naslov pisca:

**Mr. Boris Kalan, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu**  
**41000 Zagreb**  
**Proleterskih b. 37**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
1990-01-19

**AMSTERDAM EWEC '91**  
*Conference of European Wind Energy Association*  
*Organized by the Dutch Wind Energy Association*

U Amsterdamu će se od 14 – 18. studenoga 1991. održati Konferencija i izložba evropske organizacije za energiju vjetra.

Mjesto održavanja: RAI Congress Centre, Amsterdam, The Netherlands

Informacije: Van Namen Westerlaken Congress Organization  
Services

P. O. box 1558

6501 BN Nijmegen, The Netherlands

Telephone + (31) (0) 80 234471

Fax + (31) (0) 80 601159

# DOPRINOS PRORAČUNU IMPULSNIH IMPEDANCIJA SLOŽENIH UZEMLJIVAČA

Dr. Srđan Žutobradić, Zagreb

UDK 621.316.99

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U članku je obrađena metodologija za proračun impulsnih karakteristika uzemljivača. Za razliku od većine publiciranih radova, razvijeni model omogućava proračun složenih uzemljivača kakvi se izvode u stvarnosti. Pritome je uvažena frekvencijska ovisnost parametara uzemljivača u različitim uvjetima. Bez takvog pristupa ne bi se dobili korektni rezultati.

Na kraju su dani konkretni primjeri proračuna.

**Ključne riječi:** uzemljivači, impulsna impedancija uzemljivača.

## 1. UVOD

Pri odvođenju struje groma u zemlju uzemljivač treba drugačije promatrati nego pri odvođenju struja industrijske frekvencije. Razlog je impulsni karakter struje groma. Zbog toga dolazi do izražaja induktivitet uzemljivača (naročito na terenima niže otpornosti tla), te kapacitet uzemljivača (na terenima više otpornosti tla). Osim toga, pri odvođenju velikih struja groma dolazi do ionizacije tla u okolišu uzemljivača. Zbog navedenog procesa formira se vodljiva zona oko elemenata uzemljivača, pa se smanjuje impedancija uzemljivača.

Osnovna veličina koja karakterizira uzemljivač pri odvođenju struje groma u zemlju jest impulsna impedancija  $Z$ , koja je funkcija vremena. Obično se za potrebe projektantskih proračuna definira tzv. konvencionalna impedancija uzemljenja:

$$Z = \frac{V_{\max}}{I_{\max}} \quad (1)$$

Odnos navedene impedancije i stacionarnog otpora uzemljenja definira se kao impulsni koeficijent:

$$\alpha_i = \frac{Z}{R} \quad (2)$$

Impulsni koeficijent može poprimiti veoma različite vrijednosti (veće ili manje od 1), ovisno o geometrijskim karakteristikama uzemljivača, vrsti tla, te karakteristikama struje groma (trajanju čela strujnog vala i amplitudi). Prema tome, impulsna impedancija uzemljivača razlikuje se u većoj ili manjoj mjeri od otpora uzemljivača pri odvođenju struja industrijske frekvencije.

U ovom radu bit će izložen matematički model za proračun impulsnih impedancija uzemljivača složenih oblika. Osnovna značajka modela upravo i jest mogućnost proračuna uzemljivača složenijih oblika, za razliku od većine dosad publiciranih modela koji

omogućavaju isključivo proračun uzemljivača izvedenih u obliku horizontalno ukopanih traka ili užadi, tj. najjednostavnijih uzemljivača.

## 2. FORMULACIJA PROBLEMA

Osnovne postavke za razvoj modela jesu:

- Ulazna impulsna struja («uzbuda») modelira se pomoću dvostruke eksponencijalne funkcije koja se onda aproksimira primjenom Fourierova integralnog teorema.
- Složeni uzemljivač rastavlja se na tanke pravocrtne elemente kružnog presijeka.
- Uzemljivač je ukopan u jednoslojno ili dvoslojno tlo.
- Pravocrtni elementi na koje se rastavlja uzemljivač modeliraju se pomoću uzdužnog otpora ( $r$ ), udužnog induktiviteta ( $L$ ), odnosno reaktancije, zatim poprečne vodljivosti ( $g$ ) i poprečnog kapaciteta ( $C$ ), odnosno susceptancije.
- Tako rastavljeni uzemljivač za svaku frekvenciju tretira se kao mreža, te se dalje proračun obavlja primjenom uobičajenih metoda za analizu mreža.
- Uvažava se frekvencijska ovisnost parametara ( $r$ ,  $L$ ), što u većini dosadašnjih radova nije urađeno.

Problem ionizacije tla u okolišu uzemljivača nije moguće u ovom modelu egzaktno riješiti jer se radi o nelinearnom procesu. Međutim, taj problem je riješen aproksimativnim putem (povećanjem ekvivalentnog polumjera) koji daje dobre rezultate za praktičnu upotrebu.

## 3. MATEMATIČKI MODEL

Pri postavljanju matematičkog modela za proračun impulsne impedancije valja na odgovarajući način

modelirati ulaznu struju (tj. struju groma), te pravocrtne elemente na koji je rastavljen uzemljivač. Razvijeni modeli ukratko će se izložiti u ovom poglavlju.

### 3.1. Aproximacija struje groma

Uobičajeni način analitičkog modeliranja struja groma jest primjena dvostruke eksponencijalne funkcije:

$$i(t) = I_0 \cdot (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}), \quad (3)$$

Parametri  $\alpha$  i  $\beta$ , koji definiraju gornju funkciju, određuju se iz vremena trajanja čela i repa groma. Primjenom Fourierova integralnog teorema funkcija (3) može se prikazati u kontinuiranom frekventnom spektru pomoću transformacije:

$$i(\omega) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_{-\infty}^{\infty} i(t) \cdot e^{-j\omega t} \cdot dt \quad (4)$$

S obzirom na to da nema »negativnog« vremena, integracija u izrazu (4) radi se u granicama  $0 - \infty$ . Uvrštavanjem izraza (3) u (4) dobiva se relacija:

$$i(\omega) = \frac{I_0}{2 \cdot \pi} \cdot \left( \frac{1}{\alpha + j\omega} - \frac{1}{\beta + j\omega} \right) \quad (5)$$

Struja groma u vremenskom području određuje se kao:

$$i(t) = \int_{-\infty}^{\infty} i(\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega \quad (6)$$

Nakon uvrštavanja izraza (5) u (6) dobiva se sljedeća relacija:

$$i(t) = \frac{I_0}{\pi} \int_0^{\infty} \left( \left( \frac{\alpha}{\alpha^2 + \omega^2} - \frac{\beta}{\beta^2 + \omega^2} \right) \cdot \cos \omega t + \left( \frac{\omega}{\alpha^2 + \omega^2} - \frac{\omega}{\beta^2 + \omega^2} \right) \cdot \sin \omega t \right) d\omega \quad (7)$$

Jednostavnosti radi, izraz (7) dade se napisati u obliku:

$$i(t) = \frac{I_0}{\pi_0} \int_0^{\infty} F(\omega) d\omega \quad (8)$$

Primjenom Simpsonova pravila integral iz izraza (8) može se zamijeniti sumom od konačnog broja sinusnih i kosinusnih članova. Pritome broj dijelova na koje se dijeli konačni interval u frekventnom opsegu ( $0 - \omega_{\max}$ ) jest  $N$ . Taj broj mora biti paran.

Pri upotrebi Fourierovoga integralnog teorema treba uzeti u obzir međusobnu ovisnost veličina u vremenskome i frekventnom području. Prema [1] potrebno je zadovoljiti ove uvjete:

$$\Delta t \approx \frac{1}{2 \cdot f_{\max}} \quad \Delta f \approx \frac{1}{T_{\max}} \quad (9)$$

Prema tome, ukupan broj ciklusa koji se računaju jest:

$$N_u = \frac{f_{\max} \cdot T_{\max}}{\Delta f \cdot \Delta t} \quad (10)$$

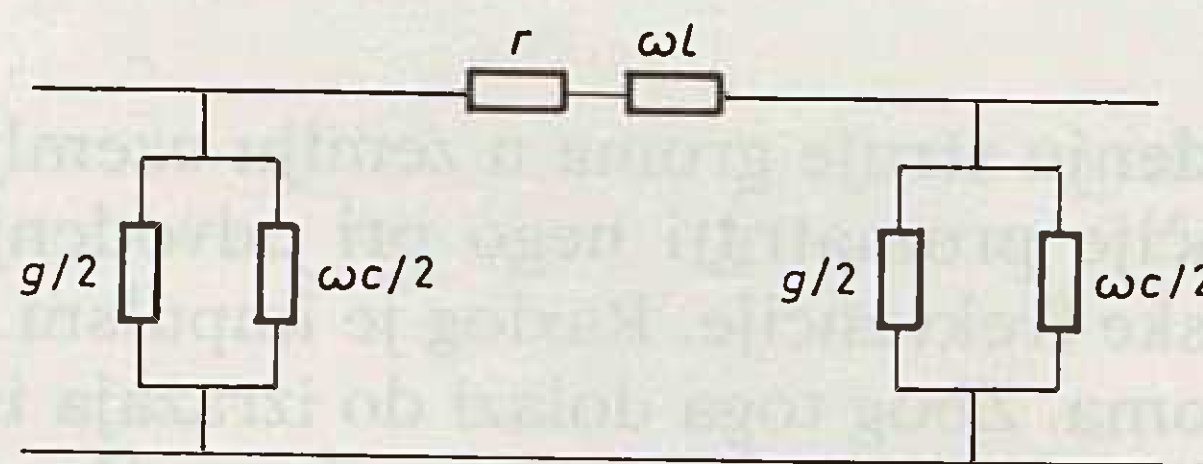
Striktном primjenom izraza (9) dobiva se veoma velik broj ciklusa, što znači dugačko vrijeme izvođenja programa na elektroničkom računalu. Međutim, za

praktične proračune broj računskih ciklusa može se smanjiti. U prvom redu, mahom nas zanimaju prilike na uzemljivaču u vremenu dok struja groma ne dostigne tjemenu vrijednost, jer amplituda napona prethodi amplitudi struje groma. Osim toga, moguće je postići zadovoljavajuću aproksimaciju struje groma pomoću sinusnih i kosinusnih članova, uzimajući u obzir znatno manji frekventni opseg  $f_{\max}$  od onoga iz (9). Time se dobiva nešto lošija aproksimacija, no to nije presudno s obzirom na druge nepoznanice koje se javljaju pri proračunu impulsnih karakteristika uzemljivača (otpornost tla, dielektričnost tla, električka čvrstoća itd.).

Istraživanja u [2] pokazuju da za praktične proračune nije potrebno odabrati graničnu frekvenciju veću od 1,5 MHz.

### 3.2. Modeliranje pravocrtnih elemenata uzemljivača

Razmatrani uzemljivač rastavlja se na određeni broj pravocrtnih elemenata koji se onda modeliraju pomoću  $\pi$  — shema (sl. 1). Pritome se tlo ekvivalentira na temelju rezultata mjerenja kao jednoslojno homogeno.



Slika 1. Nadomjesna shema pravocrtnog elementa

Parametri  $\pi$  — sheme (uzdužna impedancija i poprečna admitancija) računaju se za svaku pojedinu frekvenciju iz spektra.

U [2] je provedena detaljna analiza parametara pravocrtnih elemenata uzemljivača. Na temelju analiza predložen je točniji način modeliranja tih parametara, koji je rezultirao korektnijim proračunom impulsnih karakteristika uzemljivača. U ovisnosti o konkretnim uvjetima koriste se sljedeće formule za određivanje vanjskog induktiviteta, te poprečne admitancije pravocrtnih elemenata:

$$a1) \quad L_v = \frac{\mu l}{2\pi} \left( -j \frac{\pi}{4} + \ln \frac{1,85}{|\gamma a|} \right) \quad (11)$$

(formula se odnosi na dugačke pravocrtne elemente, uz zanemarivo prigušenje potencijala duž elementa)

$$a2) \quad L_v = \frac{\mu l}{2\pi} \left( \ln \frac{2l}{a} - 1 \right) - \frac{\mu}{6\pi} \cdot \rho \cdot \gamma \quad (12)$$

(formula se odnosi na kratke pravocrtne elemente uzemljivača, uz zanemarivo prigušenje potencijala duž elementa)

$$a3) \quad L_v = \frac{\mu l}{2\pi} \left( -j \frac{\pi}{4} + \ln \frac{1,51}{|\gamma a|} \right) \quad (13)$$

(formula se odnosi na pravocrtne elemente uzemljivača duž kojih je izraženo prigušenje potencijala)

$$b1) \quad y = (1 + j \omega \epsilon \rho) \sum_{j=1}^n g_{ij} \quad (14)$$

(formula se odnosi na uzemljivače koji se mogu smatrati približno ekvipotencijalnim;  $g_{ij}$  su koeficijenti potencijala između razmatranog ( $i$ -tog) elementa i ostalih  $n$  elemenata)

$$b2) \quad y = (1 + j \omega \epsilon \rho) \cdot \frac{\pi \cdot l}{\rho \cdot \left| \ln \frac{2l}{\sqrt{2ha}} - 1 \right|} \quad (15)$$

(formula se odnosi na uzemljivače koji se ne mogu smatrati približno ekvipotencijalnim, ali se zato razmatrani pravocrtne elementi mogu smatrati približno ekvipotencijalnim)

$$b3) \quad y = (1 + j \omega \epsilon \rho) \cdot \frac{\pi \cdot l}{\rho \cdot \ln \frac{1,58}{\sqrt{2ha}}} \quad (16)$$

(formula se odnosi na pravocrtne elemente duž kojih je izraženo prigušenje potencijala).

Analiza prigušenja potencijala u različitim uvjetima provedena je u [2]. U istom radu definirani su kriteriji za primjenu pojedinih formula u ovisnosti o veličini  $|\gamma_1|$ .

Konstanta  $\gamma$  definirana je izrazom:

$$\gamma = \sqrt{j \omega \mu \cdot (\sigma + j \omega \epsilon)} \quad (17)$$

a  $l$  predstavlja dužinu elementa uzemljivača.

Što se tiče ostalih parametara pravocrtnih elemenata, utvrđeno je da se uzdužni radni otpor te unutrašnji induktivitet mogu zanemariti bez gubitka na točnosti proračuna.

### 3.3. Model za proračun složenih uzemljivača

U prethodnom poglavlju (3.2) opisan je način određivanja uzdužnih i poprečnih parametara pravocrtnih elemenata na koje se rastavljaju složeni uzemljivači. Ti se parametri računaju za svaku frekvenciju na koju se rastavlja struja groma. Na temelju tako izračunatih parametara određuju se parametri točne  $\pi$ -sheme [3]:

$$Z_n \cong Z_0 \sin \gamma_s l; \quad y = \frac{2}{Z_0} \cdot \tanh \frac{\gamma_s \cdot l}{2} \quad (18)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{z}{y}}; \quad \gamma_s = \sqrt{\frac{zy}{l}} \quad (19)$$

Nakon toga, za svaku frekvenciju formira se matrica admitancija mreže. Uzemljivač proizvoljne konfiguracije razmatra se na isti način kao elektroenergetska mreža. Pritome su čvorovi počeci i završeci pravocrtnih elemenata na koje se rastavlja uzemljivač. Takva mreža (za svaku pojedinu frekvenciju) opisuje se matricnom jednadžbom:

$$|Y_c| \cdot |V_c| = |I_c| \quad (20)$$

Matrica dmitancija  $|Y_c|$  popunjava se na uobičajeni način:

- **vandijagonalni članovi:**  $Y_{ij} = -1/Z_{ij}$ ;  $Z_{ij}$  je uzdužna impedancija između čvorova  $i-j$ ;
- **dijagonalni članovi:**  $Y_{ii}$  je suma svih koncentriranih admitancija vezanih na čvor  $i$ .

Stupna matrica ulaznih struja u čvorove  $|I_c|$  za svaku pojedinu frekvenciju je zbroj odgovarajuće sinusoide i kosinusoide (pogl. 3.1). Nepoznati naponi čvorova određuju se inverzijom matrice admitancije:

$$|V_c| = |Y_c|^{-1} \cdot |I_c| \quad (21)$$

Napon čvora  $j$  za određenu frekvenciju ( $\omega_k$ ) dobiva se u obliku:

$$v_{j,k} = V_{j,k} \sin(\omega_k t + \phi_{j,k}) \quad (22)$$

Napon čvora  $j$  u trenutku  $t$  računa se kao:

$$v_j(t) = \sum_{k=0}^N V_{j,k} \sin(\omega_k t + \phi_{j,k}) \quad (23)$$

Impulsna impedancija uzemljenja u čvoru  $g$  u koji se uvodi struja groma računa se pomoću izraza:

$$z(t) = \frac{v_g(t)}{i(t)} \quad (24)$$

Konvencionalna impulsna impedancija određuje se kao:

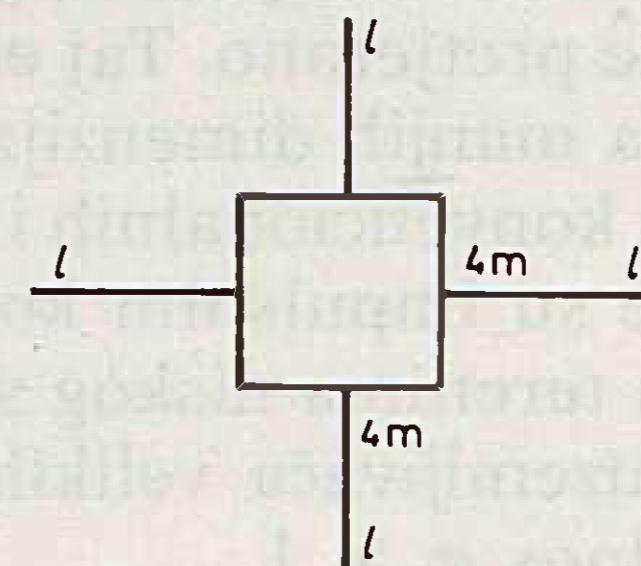
$$Z = \frac{V_{\max}}{i_{\max}} \quad (25)$$

## 4. PRIMJER PRORAČUNA

Na osnovi izložene metodologije razvijen je program za elektroničko računalo — UZIMP. Prednost tog programa jest i u tome što su proračuni mogući i na računalima PC(AT) koja imaju matematičke koprocesore. Samim time izvođenje proračuna impulsnih karakteristika uzemljivača postaje dostupno širem krugu projektanata.

Za analizu odabran je uzemljivač stupa nadzemnog voda prikazan na sl. 2. Kao ulazni parametri varirane su sljedeće veličine:

- specifični otpir tla ( $\rho$ )
- dužina krakova uzemljivača ( $l$ )
- amplituda struje groma ( $I_0$ )
- trajanje čela groma i repa groma.

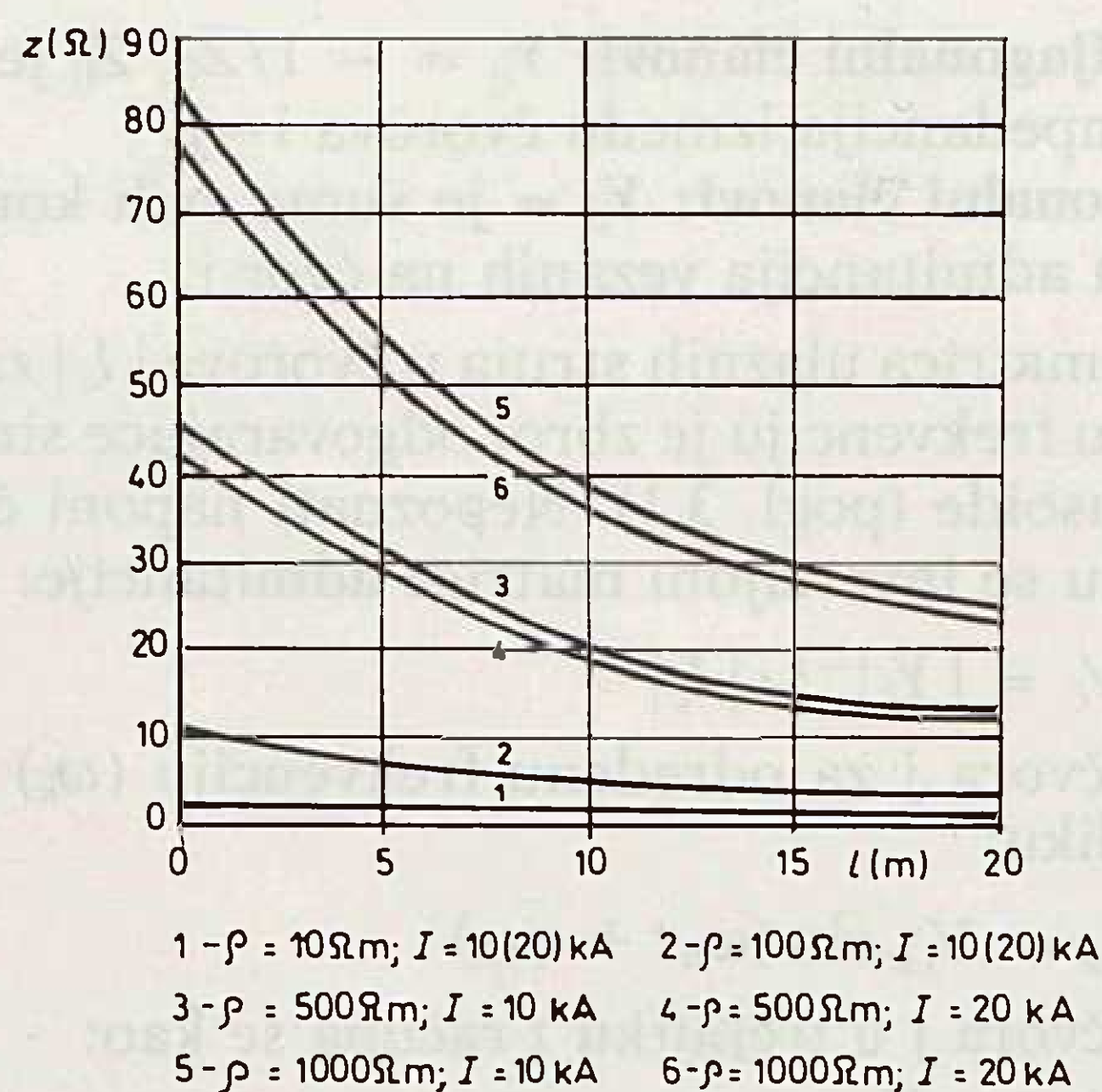
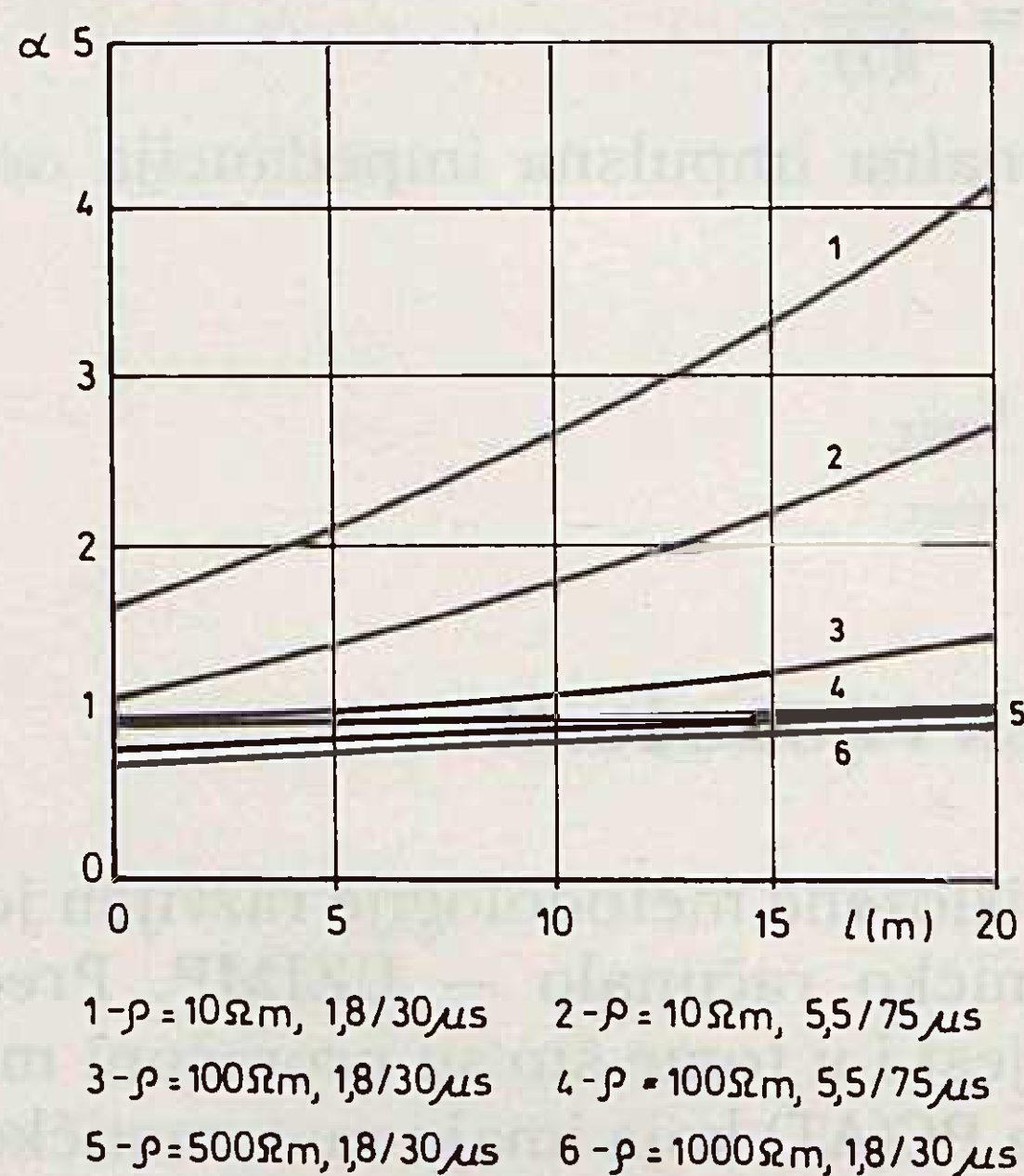


Slika 2. Analizirani uzemljivač

Kritična jakost električnog polja nakon koje nastupa ionizacija tla odabrana je iz [4]:

$$E_k = 1\,200 \text{ kV/m.}$$

Dobiveni rezultati proračuna prikazani su na sl. 3 i 4. Najznačajniji zaključci koji slijede s prikazanih dijagrama su sljedeći:

Slika 3. Impedancije uzemljivača  $K + 4xl$ Slika 4. Impulsni koeficijenti uzemljivača  $K + 4 \times l$ 

- Povećavanjem dimenzija uzemljivača smanjuje se impulsna impedancija, no značajnije smanjivanje nastaje samo na terenima višeg specifičnog otpora tla.
- Na terenima višeg specifičnog otpora tla smanjuje se veličina impulsnih impedancija zbog utjecaja ionizacije, ali ne pretjerano. Taj efekt je izraženiji kod uzemljivača manjih dimenzija.
- Razlike između konvencionalnih i stacionarnih otpora definirane su impulsnim koeficijentom ( $\alpha_i$ ), a najveće su na terenima niskog specifičnog otpora tla, te kod uzemljivača velikih dimenzija kod kojih vrijedi odnos  $\alpha_i \gg 1$ .
- Impulsni koeficijenti i konvencionalne impedancije uzemljenja su, uz iste ostale uvjete, veći za struju kraćeg trajanja čela. To opet vrijedi za terene niskog specifičnog otpora tla, te uz veće dimenzije elemenata uzemljivača.
- S porastom specifičnog otpora tla impulsni koeficijenti se smanjuju. Na terenima visokog specifičnog otpora tla oni postaju manji od 1, zbog utjecaja ionizacije tla.

## 5. ZAKLJUČAK

U članku je izložen matematički model koji opisuje ponašanje uzemljivača prilikom odvođenja impulsnih struja (struja groma) u zemlji. Matematički model zasnovan je na rastavljanju uzemljivača na pravocrtne elemente, te na primjeni Fourierova integralnog teorema, kojim se struja groma aproksimira kao suma konačnog broja sinusnih funkcija različitih frekvencija. Primjena Fourierova teorema omogućava dalje proračune karakteristika uzemljivača primjenom metode čvorova.

Izloženi model omogućava proračune složenih uzemljivača kakvi se u praksi najčešće susreću.

Razvijeni program za elektroničko računalo može se izvoditi na računalu PC AT pa je samim tim dostupan širokom krugu korisnika.

Dakako, razvijeni model ima i određenih nedostataka. To se u prvom redu odnosi na proračun impulsnih karakteristika u vremenskom području neposredno nakon ulaska struje u uzemljivač, odnosno na vremenski interval  $0-0,5 \mu s$ . Za većinu praktičnih proračuna to nije osobito značajno. Međutim, ako se ipak želi izvršiti korektan proračun u navedenom području, potrebno je koristiti znatno složenije modele, kao npr. [5], koji su u stvarnosti teško primjenjivi za proračun realnih uzemljivača.

## 6. POPIS OZNAKA

- $C$  — kapacitet (F)
- $E_k$  — kritična jakost električnog polja nakon koje dolazi do ionizacije tla (V/m)
- $F$  — podintegralna funkcija
- $I_0$  — amplituda struje groma (A)
- $I_c$  — članovi matrice struja čvorova (A)
- $L$  — induktivitet (H)
- $L_v$  — vanjski induktivitet (H)
- $N$  — broj intervala u frekventnom području
- $R$  — stacionarni otpor uzemljivača ( $\Omega$ )
- $T_{max}$  — granica vremenskog područja u kojem se računaju impulsne impedancije (s)
- $V_{j,k}$  — amplituda napona frekvencije  $\omega_k$  u čvoru  $j$  (V)
- $V_c$  — članovi matrice napona čvorova (V)
- $Y_c$  — članovi matrice admitancija (S)
- $Z$  — konvencionalna impulsna impedancija ( $\Omega$ )
- $Z_0$  — karakteristična impedancija ( $\Omega$ )
- $Z_\pi$  — korigirana uzdužna impedancija ( $\Omega$ )
- $Z_{i-j}$  — impedancija između čvorova  $i-j$  ( $\Omega$ )
- $a$  — polumjer elementa uzemljivača (m)
- $f$  — frekvencija (Hz)
- $f_{max}$  — maksimalna vrijednost frekvencije (Hz)
- $\Delta f$  — korak u frekventnom području (Hz)
- $g$  — poprečna vodljivost elementa uzemljivača (S)
- $h$  — dubina ukopavanja horizontalnog uzemljivača (m)
- $i(t)$  — struja groma (A)
- $l$  — duljina elementa uzemljivača (m)
- $r$  — uzdužni radni otpor elementa uzemljivača ( $\Omega$ )

- $t$  — vrijeme (s)  
 $\Delta t$  — korak u vremenskom području (s)  
 $V_{\max}$  — tjemena vrijednost napona na mjestu uvođenja struje groma u uzemljivač (V)  
 $V_{j,k}$  — napon frekvencije  $\omega_k$  u čvoru  $j$  (V)  
 $y$  — poprečna admitancija elementa uzemljivača (S)  
 $y_{\pi}$  — korigirana poprečna admitancija elementa uzemljivača (S)  
 $z$  — impulsna impedancija uzemljivača; uzdužna impedancija elementa uzemljivača ( $\Omega$ )  
 $\alpha, \beta$  — konstante dvostruke eksponencijalne funkcije ( $s^{-1}$ )  
 $\alpha_i$  — impulsni koeficijent  
 $\gamma$  — konstanta širenja tla (1/m)  
 $\gamma_s$  — konstanta širenja voda (1/m)  
 $\varepsilon$  — dielektrična konstanta zemlje (F/m)  
 $\mu$  — permeabilitet zemlje (H/m)  
 $\tau$  — specifična vodljivost zemlje (S/m)  
 $\varphi_{j,k}$  — fazni pomak napona frekvencije  $\omega_k$  u čvoru  $j$  (rad)  
 $\omega$  — kružna frekvencija ( $\text{rad}^{-1}$ )  
 $\omega_{\max}$  — maksimalna vrijednost kružne frekvencije ( $\text{rad}^{-1}$ )  
 $\rho$  — otpornost (specifični otpor) tla ( $\Omega\text{m}$ )

## LITERATURA

- [1] M. CHARI, P. SILVESTER, »Finite Elements in Electrical and Magnetic Field Problems«, J. Wiley, New York, 1980.  
 [2] S. ŽUTOBRADIĆ, »Doprinos istraživanju impulsnih karakteristika uzemljivača«, Sveučilište u Zagrebu, 1989. (doktorska disertacija)  
 [3] B. STEFANINI, »Prijenos električne energije — I«, Elektrotehnički fakultet, Zagreb, 1968.  
 [4] E. RYABKOVA, »Uzemljenje u postrojenjima visokog napona«, Energia, Moskva, 1978.  
 [5] L. GRČEV, Z. HAZNADAR, »A Novel, Technique of Numerical Modeling of Impulse Current Distribution in Grounding Systems«, 19. ICLP, Graz, 1988.

- [6] S. ŽUTOBRADIĆ, Z. HAZNADAR, »Modeliranje parametara uzemljivača prilikom odvođenja impulsnih struja u zemlju«, »Elektrotehnika« 3–4, Zagreb, 1989.  
 [7] E. SUNDE, »Earth Conduction Effects in Transmission Systems«, New York, D. Van Nostrand, 1949.

### A CONTRIBUTION TO CALCULATION OF IMPULSE IMPEDANCES OF COMPLEX GROUNDING SYSTEMS

In the article is elaborated a methodology for calculation of impulse characteristics of grounding systems. As a difference to published papers, the developed model provides calculations of the real model complex grounding systems. The method is based on frequency characteristic of grounding system parameters. It is also presented an example of calculation.

### BEITRAG ZUR BERECHNUNG DER IMPULSIMPEDANZEN DER KOMPLEXEN ERDER

Im Artikel behandelt man die Methodologie für die Berechnung der Impulscharakteristiken der Erder. Zum Unterschied zu den meisten veröffentlichten Arbeiten ermöglicht das entwickelte Modell die Berechnung der komplexen Erder die in Wirklichkeit ausgeführt werden. Dabei nimmt man die Frequenzabhängigkeit der Parameter der Erder unter verschiedenen Bedingungen in Betracht. Ohne eines solchen Zutritts bekäme man keine konkreten Ergebnisse. Am Ende gibt man konkrete Beispiele der Berechnung.

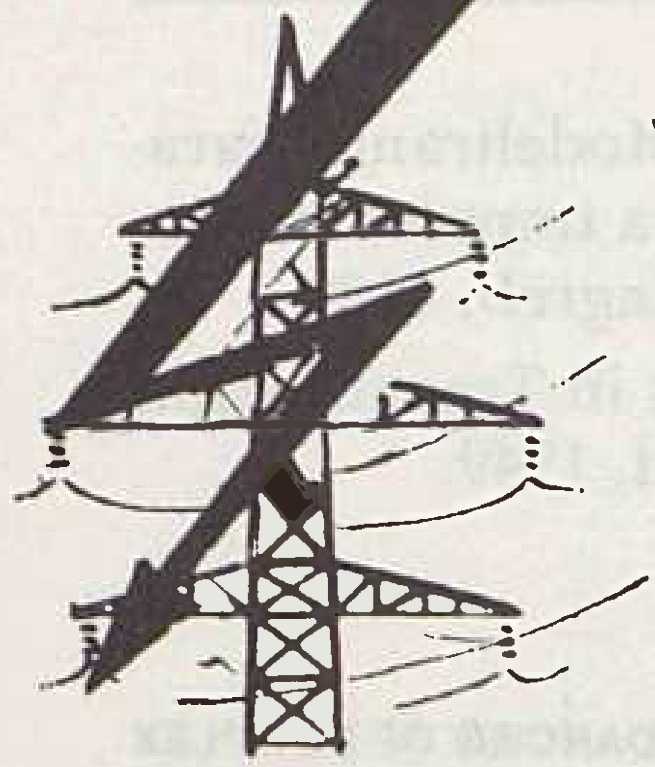
### ЛЕПТА РАСЧЕТУ ИМПУЛЬНЫХ ИМПЕДАНС СЛОЖНЫХ ЗАЕМЛИТЕЛЕЙ

В статье разработана методология расчета импульсных характеристик заземлителей. В отличие от большинства опубликованных работ развернутая модель дает возможность расчета сложных заземлителей, выполняемых в действительности. При этом учтена частотная зависимость параметров заземлителей в разных условиях. Без такого подхода не были бы получены корректные результаты. В конце приводятся конкретные примеры расчета.

Naslov pisca:

**Dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb, Proleterskih b. 37,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1990 – 02 – 20



# STRUJA

**ELEKTROTEHNIČKA ZADRUGA P. O.**  
tel. centrala: 420791, 420786 **ZAGREB**  
direktor: 273-909 **GUNDULIĆEVA 16**

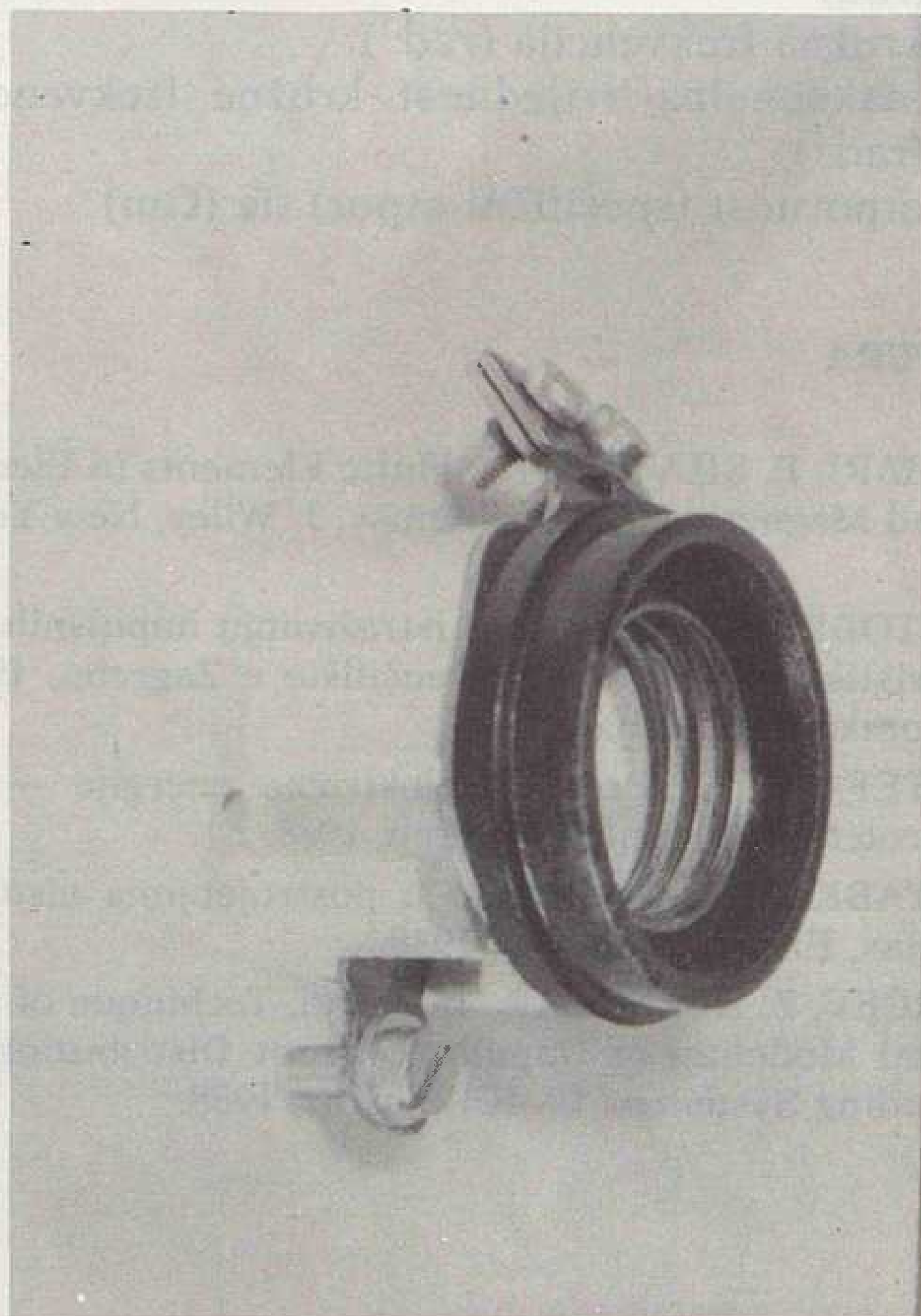
## A T E S T

Osigurači tipa D III-a, nazivne struje 63 A i nazivnog napona 500 V.

Proizvođač: Elektrotehnička zadruga »STRUJA«, Gundulićeva 16

Ispitivanje proveli: »Rade Končar« OOUR Elektrotehnički institut, Zagreb

Ispitivanja provedena u skladu s: JUS N.E 5.005; JUS N.E 5030; DIN 49510;  
VDE 0636 dio 1/8.76; VDE 0636 dio 3/4.77



Izvršena su sljedeća ispitivanja:

- provjera nazivnih vrijednosti i dimenzija
- provjera kliznih i zračnih staza, te izolacijskih razmaka
- provjera dielektrične čvrstoće
- provjera otpora izolacije
- provjera zagrijavanja
- provjera mehaničke čvrstoće
- provjera otpornosti prema toploti.

Na temelju ovih ispitivanja priložen je izvještaj o ispitivanju br. LA 1067/23.07.86.

»RADE KONČAR« — Razvoj proizvoda i proizvodnje

OOUR Elektrotehnički institut — Zagreb

Sektor za aparate i sklopna postrojenja



# FIZIKA ELEKTRIČNOG LUKA U SKLOPNIM APARATIMA

Dr. Rusmir Mahmutćehajić, Osijek — Silvio Hajdin, Belišće

UDK 621.316.545:537.3

STRUČNI RAD

Članak daje osvrt na činioce koji se mogu smatrati relevantnim u razmatranju uvjeta nastanka, gorenja i gašenja električnog luka u prekidačima. Razmotreni su električni lukovi u okruženju plina visokog tlaka i pojava rezanja struje.

**Ključne riječi:** električni luk, prekidač, rezanje struje.

## 1. UVOD

Električni luk predstavlja vrstu samostalnog izbijanja karakteriziranu visokom temperaturom i velikom gustoćom struje, pojavom usijane katodne mrlje s jakom termoelektronskom i fotoelektronskom emisijom te padajućom strujnonaponskom karakteristikom. U jednom od svojih manifestacijskih oblika električni luk u sklopnim aparatima konstantno je predmetom širokog naučnog interesa. Od prvih spoznaja o luku (V. V. Petrov, 1802) izvršena su brojna istraživanja lučnih procesa i dobivena saznanja koja su tokom godina predstavljala osnovu projektiranja i izvedbe sklopnih aparata.

### 1.1. Električni luk u sklopnim procesima

Polazeći od činjenice da se ni jedna električna veličina ne može trenutno promijeniti s početne vrijednosti na konačnu, na osnovi prisutnosti induktiviteta i kapaciteta u električnim krugovima, pri sklapanju u kontaktnim aparatima doći će do pojave električnog luka.

U zbiru prednosti i nedostataka pojave i prisutnosti luka u procesima sklapanja može se konstatirati da bi s aspekta dosadašnjega tehničkog razvoja bilo teško pronaći prikladnije sredstvo za kontrolu impedancije. Razvoj sklopnih aparata na principima bezlučnog i beskontaktnog sklapanja (otporski prekidači, sinhroni prekidači, poluvodičke sklopke, aparati na principu transduktora, aparati na principu tiratrona) zasada je, barem za područje visokih vrijednosti struja i napona, u teorijskoj domeni.

Treba također konstatirati da za mnoga pitanja iz teorije električnog luka do danas ne postoje jednoznačno određena rješenja, primjerice kod zadovoljavajućeg modela električnog luka.

Intenzivna istraživanja lučnih procesa u vakuumskim sklopnim aparatima (M.P. Reece i dr.) dovela su do situacije da je razmatranje fizike luka potrebno posebno provesti za električne lukove u plinovima pri visokom tlaku, a posebno za vakuumski elek-

trični luk jer postoje bitne razlike među njima. Ovaj se rad namjerava ponajprije baviti fizikom električnog luka u okruženju visokog tlaka.

Poseban osvrt dan je pojavi rezanja struje, koja također predstavlja značajan činilac u razumijevanju lučnih procesa, a neposredan je pratilac električnog luka.

### 1.2. Uzajamnost električnog luka i sklopnih operacija

Pri djelovanju prekidača u električnom krugu zahtijevaju se dva stabilna stanja — zatvoreni položaj, pri čemu prekidač treba imati što manju impedanciju, te otvoreni položaj, pri čemu je potrebno ostvariti vrlo visoku impedanciju. Na osnovi toga prekidač treba u međukontaktom prostoru imati mogućnost promjene impedancije u skladu s parametrima kruga u kome se vrši sklapanje.

Impedancija električnog luka u prekidačima ima omski karakter utoliko što se nul-točke struje i napona vremenski podudaraju. S obzirom na takav karakter impedancije vrlo je značajna brzina njene promjene. Bude li brzina promjene mala, doći će do oslobađanja znatne količine toplinske energije, što će komplicirati praktičnu provedbu sklopnog sistema. S druge strane, ako se impedancija mijenja prebrzo, na osnovi prisutnosti induktiviteta u svakom električnom krugu, u toku sklapanja doći će do generiranja prenapona koji mogu ugroziti izolacijsku čvrstoću.

Ova okolnost pri sklapanju istosmjernih krugova nameće potrebu prethodnog određivanja maksimalne dozvoljene brzine promjene impedancije.

U krugovima izmjenične struje, s obzirom na postojanje dvije strujne nule u svakoj periodu, teorijski bi bilo moguće gotovo trenutno promijeniti impedanciju prekidača bez generiranja opasnih prenapona u trenutku prolaska struje kroz nultu vrijednost. Praktična provedba ovakvog procesa, kako je uvedeno spomenuto u 1.1. (sinhroni prekidači), teško je provesti zbog različitih tehničkih ograničenja.

Razmatranje električnog luka u procesu sklapanja izmjenične struje pokazuje da on mijenja svoju impe-

danciju vrlo brzo, pri čemu je ta promjena u sinhronizmu s promjenom izmjenične struje. Pri prekidanju javljaju se nadalje dva osnovna zahtjeva. Prvi je zahtjev eksponencijalno povećanje otpora lučne plazme u području oko prirodne nulte vrijednosti struje, kako bi nastupajuće vrijednosti struje bile još niže i zatim prekinute. Drugi je zahtjev osiguranje da dielektrična čvrstoća lučne staze nakon nulte vrijednosti struje raste brže nego električno naprezanje uzrokovano mrežnim naponom, izbjegavajući na taj način ponovno paljenje. Na osnovi optimalnog zadovoljavanja ovih zahtjeva izvode se svi tipovi prekidača izmjenične struje, koristeći pritom širok spektar kontrolnih naprava baziranih na parametrima kao što su tekućine, plinovi, tlak, vakuum, turbulencije, kretanje luka i/ili kontakata.

Poznavanje osobina električnog luka predstavlja stoga jednu od temeljnih pretpostavki razumijevanja procesa sklapanja u električnim krugovima. Električni luk posjeduje sljedeća unutrašnja svojstva koja su od pomoći u procesima sklapanja:

- lučna plazma nema gornje granice u mogućnosti vođenja struje, elastična je i može se rastezati;
- lučna plazma posjeduje otpor koji je moguće povećati bilo produljenjem, bilo zadržavanjem plazme magnetskim poljem.

Time se, usprkos nekim negativnim osobinama, električni luk nameće kao vrlo prikladno sredstvo za kontrolu impedancije.

## 2. ELEKTRIČNI LUK U OKRUŽJU PLINA VISOKOG TLAKA

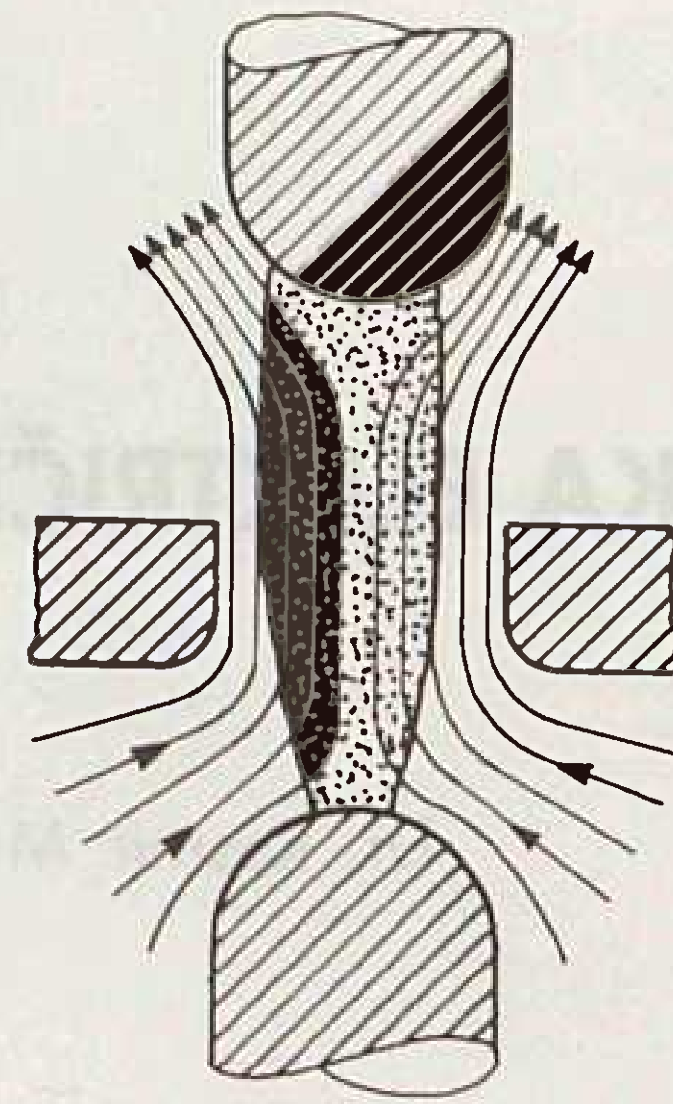
### 2.1. Karakteristike električnog luka

Medij u kome nastaje, gori i u kome se gasi električni luk u svim tipovima prekidača u kojima se u toku sklapanja javlja pretlak jest plin koji struji, najčešće zrak ili sumporheksafluorid u prekidačima s komprimiranim plinom te vodik u malouljnim prekidačima. Osim sastavu tih plinova, u teorijskim razmatranjima posebno značenje daje se i geometriji elektroda, pri čemu je moguće razlikovati dva osnovna tipa geometrije i pripadnog strujanja. Prvi tip (slika 1), korišten kod pneumatskih i SF<sub>6</sub> prekidača primjenjuje strujanje plina uzduž osi luka upotrebom dvomlaznog sistema [1].

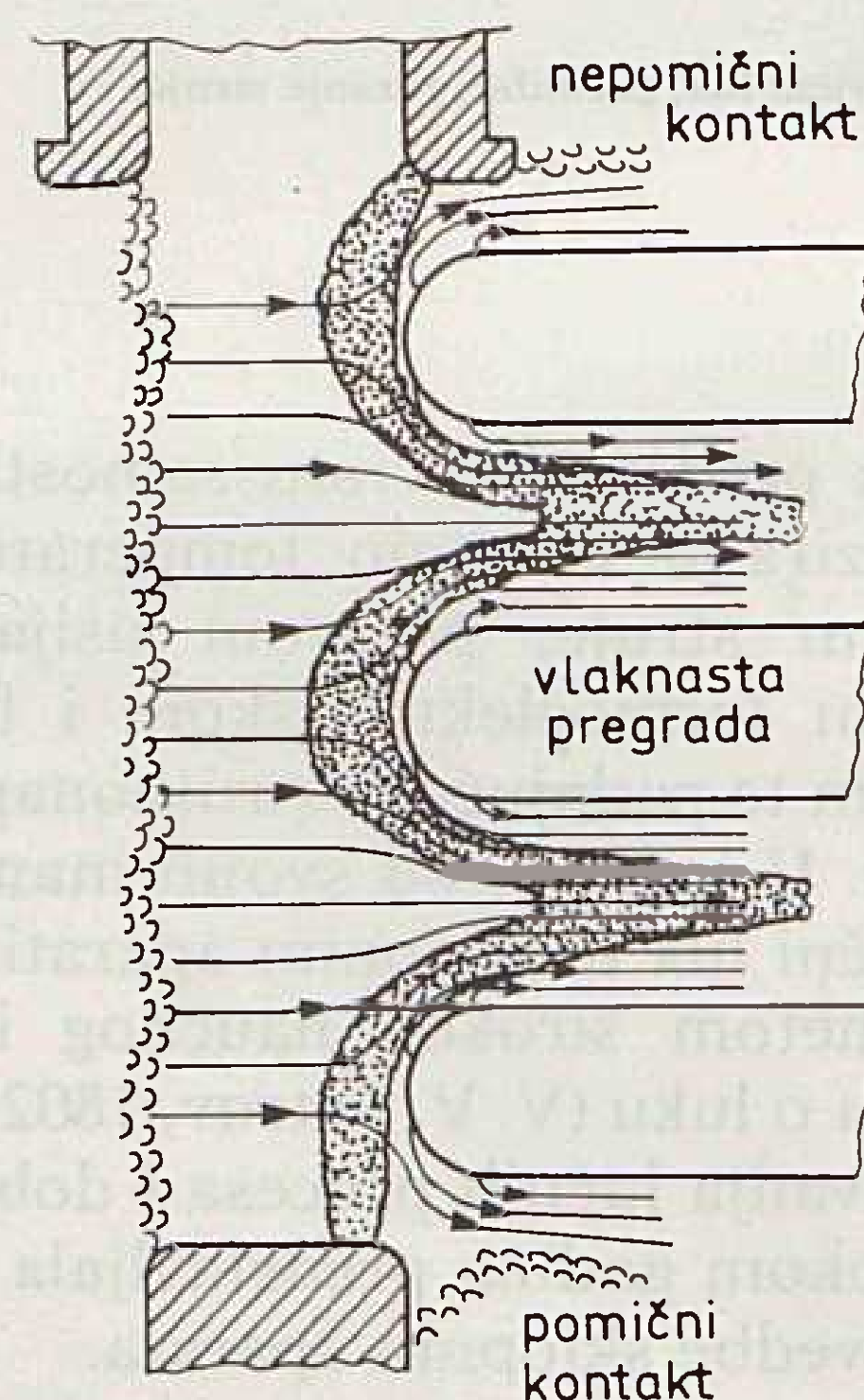
Drugi tip (slika 2), korišten u malouljnim prekidačima, primjenjuje prividno poprečno strujanje u komori s bočnim pregradama, čime se ostvaruje razbijanje luka na veći broj parcijalnih lukova.

Oko takvih lukova, kako pokazuju razmatranja, plin u zasebnoj pregradi ipak struji uzduž osi parcijalnog luka. Ovo u konačnici pokazuje da se razmatranje geometrije/načina strujanja može ograničiti na uzdužno strujanje plina uz os luka.

U takvim okolnostima može se konstatirati da se električni luk sastoji od katodnog područja s katodnom mrljom, s kojeg dolazi do emisije elektrona i metalnih isparenja u plazmu bilo emisijom polja ili termoionizacijskom emisijom, stupca luka pod-



Slika 1. Strujanje plina kroz luk u prekidaču s komprimiranim plinom



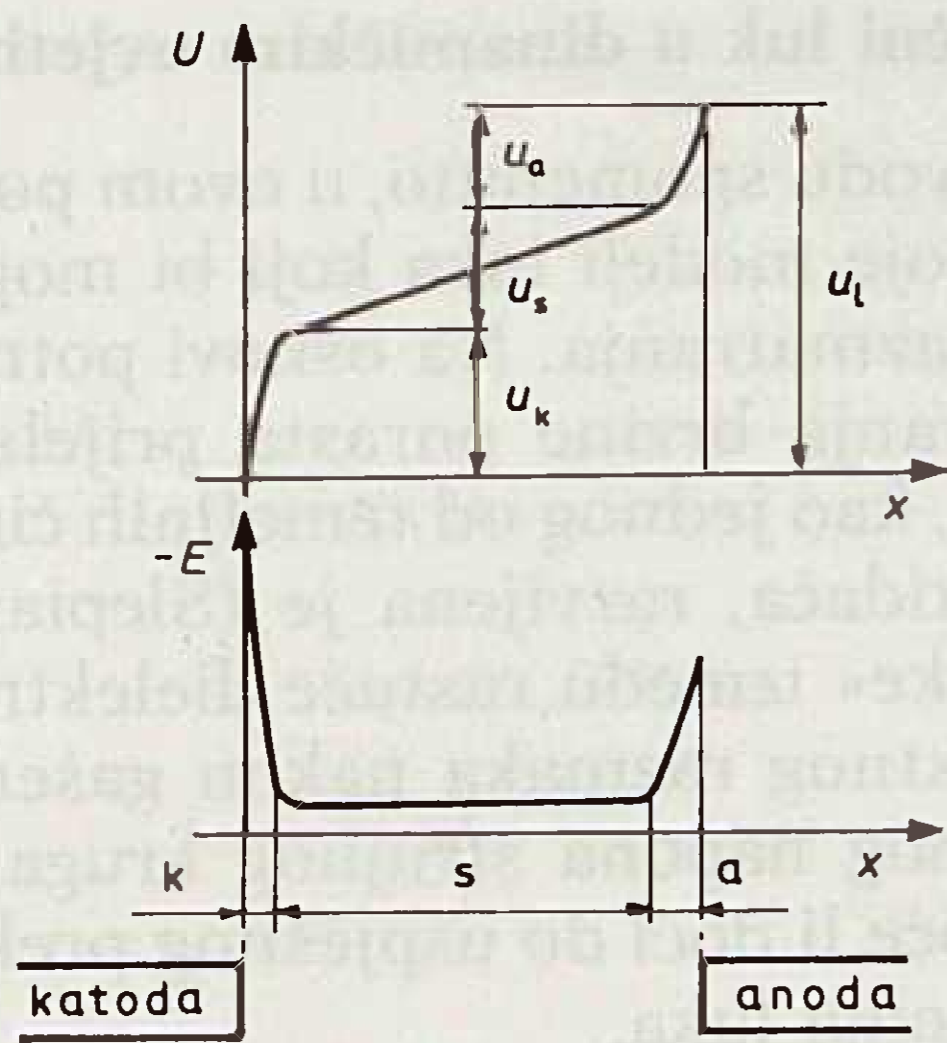
Slika 2. Nastanak i strujanje plina kroz luk u malouljnom prekidaču

vrgnutog uzdužnom strujanju plina, a kroz koji se vodi struja kretanjem elektrona i iona, te anodnog područja.

### 2.2. Područje elektroda

Najznačajniji efekt katodnih mrlja u prekidačima u kojima vlada visoki tlak jest ubacivanje određenih količina metalnih para u luk, sa značajnim utjecajem na ionizaciju i termičke uvjete u stupcu luka.

Pad napona uz katodu iznosi samo 10 do 20 volta no, budući da je on koncentriran na vrlo tanku zonu od  $10^{-5}$  do  $10^{-6}$  cm, to odgovara električnom polju od  $10^3$  do  $2 \cdot 10^4$  kV/cm [3]. Ovako snažno polje potpomaže ubrzavanje pozitivnih iona koji usijavaju katodu te podržava udarnu ionizaciju pri niskim vrijednostima struje luka. Slika 3. shematski pokazuje razdiobu potencijala u luku, gdje je k katodna zona, s stupac luka i a anodna zona [3].



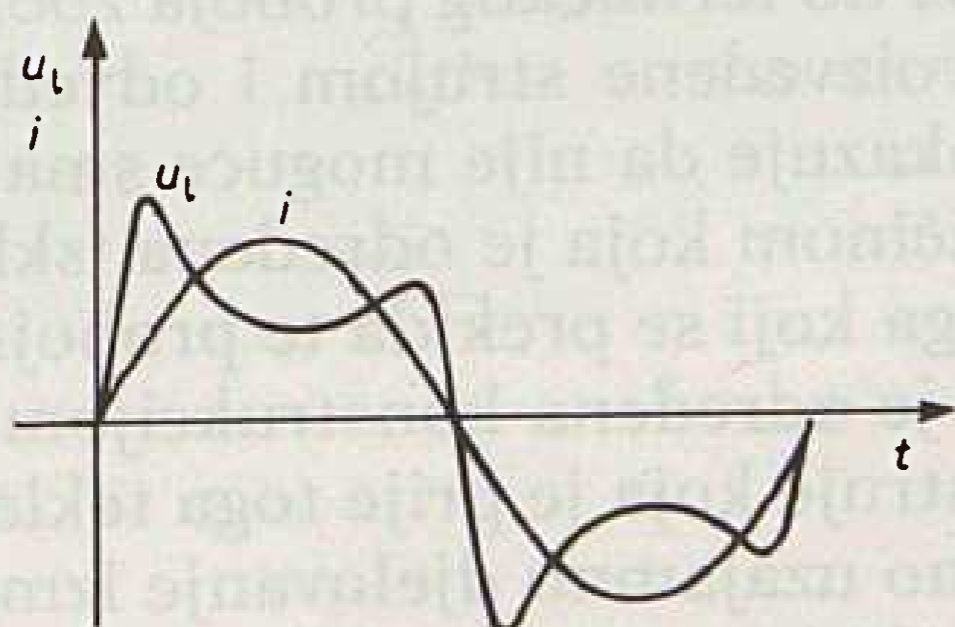
Slika 3. Prostorna razdioba napona i gradijenta u luku

### 2.3. Stupac luka

Stupac luka u električnom luku jest cilindrično područje u kome ionizirani plin daje gotovo jednaku raspodjelu pozitivnog i negativnog naboja, pa je tako moguće da vrlo visoke gustoće struja budu praćene relativno niskim uzdužnim električnim poljima. Ionizacija u stupcu luka podržavana je energijom koja se predaje luku i, kako konstantno traje proces odvođenja topline s rubnih područja luka, stalno dolazi do prilagođavanja luka tako da topline sadržana u luku i topline predana okolini odgovara unosu topline u luk. Pokazano je [2] da promjeri i temperature luka u stacionarnom stanju poprimaju vrijednosti koje osiguravaju minimalan gubitak energije.

### 2.4. Ionizacija u lukovima

Kod lukova u prekidačima veće je značenje dvaju ionizacijskih procesa. U toku trajanja luka kojim teku više vrijednosti struja ionizacija je gotovo u cijelosti termička zbog miješanja vrlo vrućih dijelova plina. Također, protjecanjem struja viših vrijednosti, ionizacija lučne plazme je intenzivnija, a time i padanje otpora luka. Ova promjenjivost otpora luka deformira krivulju lučnog napona [3], kako se može vidjeti na slici 4.



Slika 4. Karakteristike luka izmjenične struje

S druge strane, pri vrijednostima struje u blizini nulte točke javlja se udarna ionizacija djelovanjem elektrona usmjerenih i ubrzanih snažnim električnim poljem.

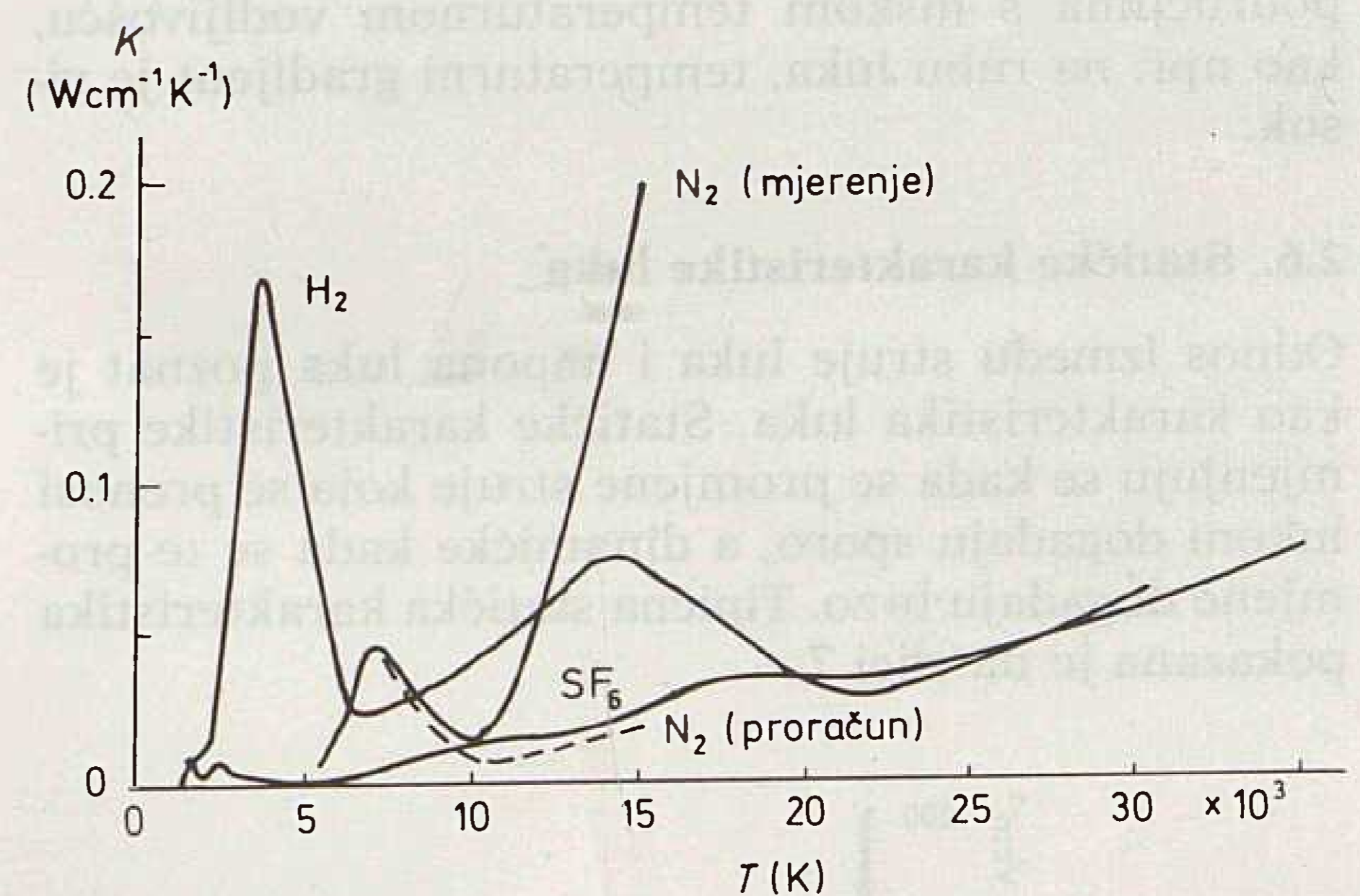
### 2.5. Termički fenomeni u luku

U razmatranju termičkih fenomena u luku pojavljuju se dva osnovna interesna područja pri prijenosu

topline u luku. To su prijenos topline unutar luka i gubitak topline s »površine« luka. Iako nije moguće jasno razgraničiti ta dva fenomena u određenoj mjeri to je moguće za luk u mirnom plinu, dok je za luk koji gori u struji plina situacija znatno složenija.

S obzirom na činjenicu da je termička vodljivost i gustoća vrlo vrućih plinova mnogo veća nego kod hladnih plinova, električni se luk do određene granice ponaša kao zagrijani metalni vodič. Slika 5. pokazuje karakteristične krivulje termičke vodljivosti za dušik, vodik i SF<sub>6</sub>.

Može se vidjeti da krivulje termičke vodljivosti poprimaju vršne vrijednosti na različitim temperaturama. Ove se vrijednosti javljaju na temperaturama gdje je brzina promjene disocijacije ili ionizacije maksimalna [2]. Treba imati na umu da, u ovisnosti o uvjetima ispitivanja, vrijednosti termičke vodljivosti mogu varirati od izvora do izvora.



Slika 5. Termička vodljivost

Temperaturnu razdiobu preko stabilnog luka moguće je proračunati uz poznate uvjete u okruženju luka (poznata temperatura na poznatom radijusu te naponski gradijent), pomoću Elenbaas – Hellerove jednadžbe za cilindrično simetrični luk prema

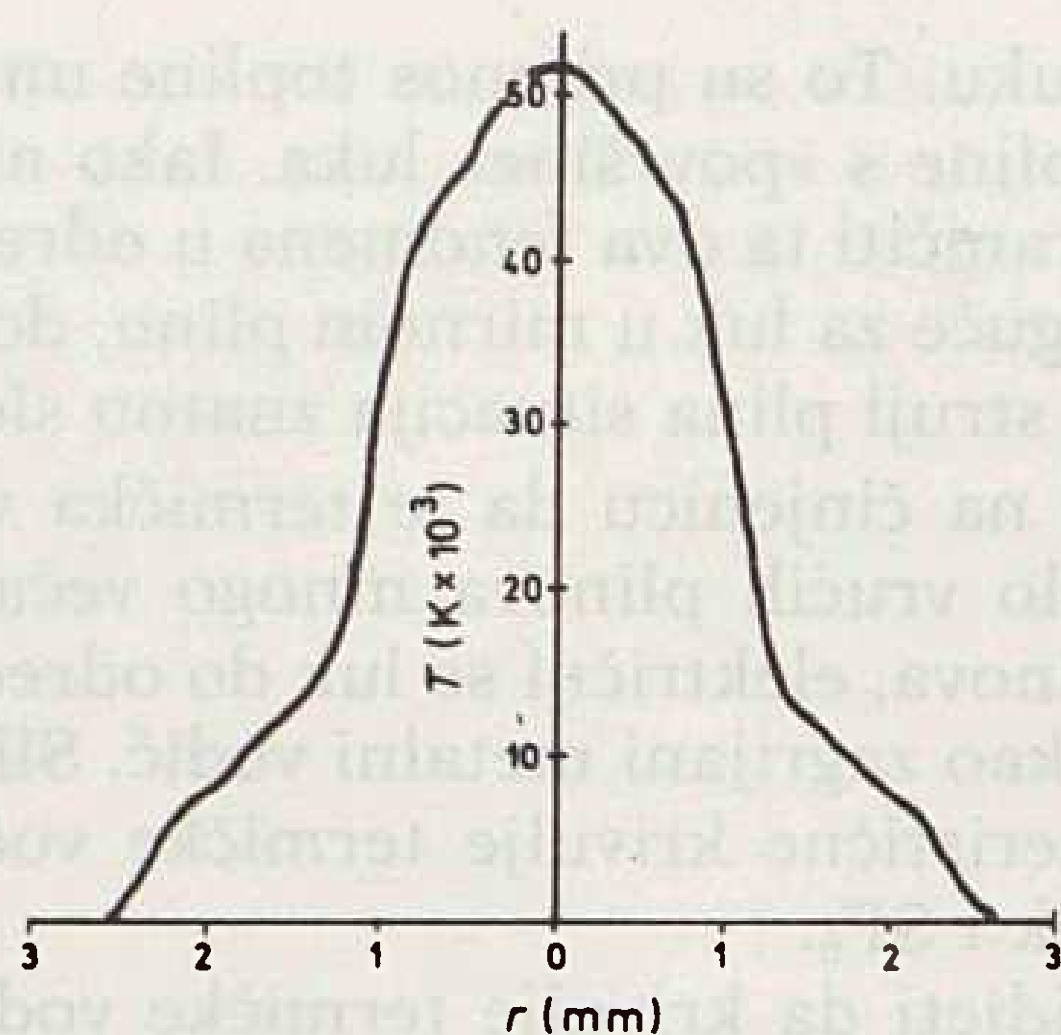
$$\sigma E^2 = \frac{1}{r} \frac{d}{d_r} r \left( -K \frac{dT}{d_r} \right)$$

gdje je

- $\sigma$  — električna vodljivost
- $E$  — naponski gradijent
- $r$  — radijus
- $K$  — termička vodljivost
- $T$  — temperatura luka.

Ova je jednadžba izvedena osnovom razmatranja po kome toplina koja se radijalno širi iz svakog elementarnog prstena luka predstavlja sumu topline koja ulazi u prsten iz područja luka koje je obuhvaćeno tim prstenom i topline nastale unutar samog prstena.

Budući da  $\sigma$  i  $K$  znatno variraju u ovisnosti o temperaturi, za razmatranje temperaturne razdiobe potrebno je brojčano izraziti rješenje ove jednadžbe. Slika 6. pokazuje tipičnu temperaturnu razdiobu u ovisnosti o polumjeru luka koji gori u aksijalnom strujanju dušika, pri jakosti struje od 1 kA [2].

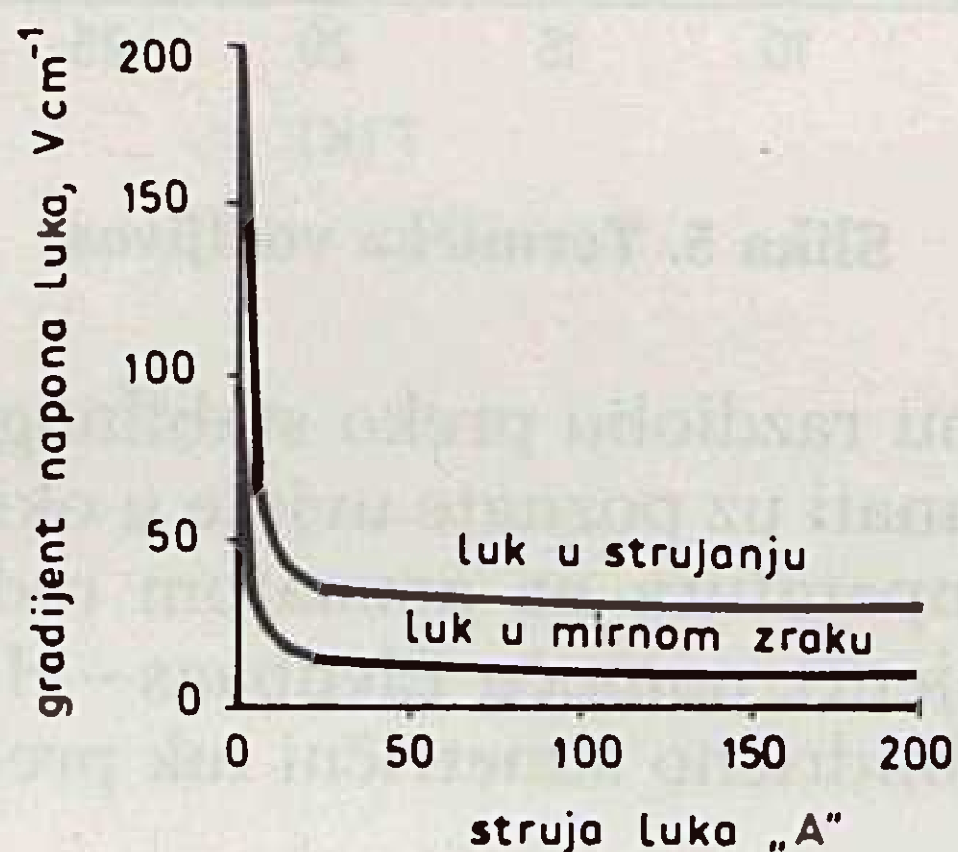


Slika 6. Teorijska T/r razdioba

U temperaturnim područjima s visokom termičkom vodljivošću plina, temperaturni gradijent je nizak jer se toplina bez poteškoća radijalno širi prema van. U područjima s niskom temperaturnom vodljivošću, kao npr. na rubu luka, temperaturni gradijent je visok.

## 2.6. Statičke karakteristike luka

Odnos između struje luka i napona luka poznat je kao karakteristika luka. Statičke karakteristike primjenjuju se kada se promjene struje koja se prenosi lukom događaju sporo, a dinamičke kada se te promjene događaju brzo. Tipična statička karakteristika pokazana je na slici 7.



Slika 7. Statičke karakteristike luka

Oblik statičke karakteristike zavisi od uvjeta u kojima luk gori. Za slučaj luka koji gori u zraku pri malim strujama ta je ovisnost izražena opadajućom krivuljom. Kod velikih struja ova krivulja prelazi u pravac paralelan osi struje. Kod vrlo velikih gustoća struje na elektrodama, strujnonaponska karakteristika može biti rastuća. Budući da luk predstavlja i električni i toplinski proces, prirodno je da će uvjeti hlađenja luka utjecati na njegove osobine, pa tako i na strujnonaponsku karakteristiku. Različiti plinovi imaju različitu toplinsku vodljivost, pa će se luk različito hladiti za određene vrste plinova, što će opet utjecati na njegov napon. Povećava li se hlađenje luka da bi se održala stabilnost luka na određenoj struji, morat će se povećati razvijanje topline unutar luka, što je moguće samo na račun povećanja napona luka.

## 2.7. Električni luk u dinamičkim uvjetima

Kako je u uvodu spomenuto, u ovom području do danas ne postoje modeli luka koji bi mogli zadovoljiti sve uvjete razmatranja. Na osnovi potrebe temeljitijeg proučavanja brzine porasta prijelaznog povratnog napona, kao jednog od temeljnih činilaca projektiranja prekidača, razvijena je (Slepian, 1930) koncepcija »utrke« između rastuće dielektrične čvrstoće međukontaktne razmaka nakon gašenja i prijelaznog povratnog napona strujnog kruga, čiji rezultat određuje hoće li doći do uspješnog prekidanja ili ponovnog paljenja luka.

Na osnovi takve koncepcije razvijene su brojne teorije luka, od kojih su šire prihvaćene Cassiejeve (1939.) i Mayrova (1943).

Cassiejeva metoda pretpostavlja volumno hlađenje luka s konstantnim odvodom topline po jedinici volumena te jednakost i konstantnost temperature u svim točkama luka, dok Mayrova metoda pretpostavlja površinsko hlađenje luka iz kojeg se odvodi konstantna snaga. Na osnovi takvih pretpostavki smatra se da Cassiejeva teorija vjernije opisuje luk jake struje kojemu je gradijent praktički neovisan o struji, dok je Mayrova teorija prikladnija za područje manjih struja.

Teorija luka još uvijek nije zamjena za iskustvene pokazatelje, na osnovi čega se u praktičnom izvođenju još uvijek u određenoj mjeri koriste empirijski izrazi.

## 2.8. Zbivanja nakon gašenja luka

Zbog termičke tromosti lučna plazma zadržava još i kratko vrijeme nakon gašenja luka određenu vodljivost, te kroz preostali stupac ugašenog luka prolazi tzv. rezidualna struja. Ona traje 10–1000 ms i dostiže nekoliko promila vrijednosti isklopne struje [3]. Rezidualni otpor stupca u normalnim okolnostima raste vrlo brzo i time ograničava trajanje rezidualne struje. Ipak, može se dogoditi da se zbog rezidualne struje stupac počne sve jače ugrijavati, što mu povećava vodljivost i konačno uzrokuje ponovno paljenje luka, tj. dolazi do termičkog proboja zbog neravnoteže topline proizvedene strujom i odvedene topline. Ta pojava pokazuje da nije moguće smatrati povratni napon veličinom koja je određena isključivo parametrima kruga koji se prekida te probojni napon veličinom koja je određena konstrukcijom prekidača i vrijednošću struje koja je prije toga tekla lukom, već postoji složeno uzajamno djelovanje između mreže i prekidača. Prekidač mijenja oblik povratnog napona svojim naponom luka i rezidualnom vodljivošću, dok mreža utječe svojim povratnim naponom na ugrijavaње rezidualnog stupca, a time i na promjenu njegove dielektrične čvrstoće [3].

## 3. REZANJE STRUJE

Izraz »rezanje struje« koristi se za opisivanje pojave naglog smanjenja struje u prekidaču na nultu vrijednost u trenutku različitom od »prirodne« nulte vri-

jednosti struje. Pažljiva mjerenja otkrila su uvjete pod kojima u prekidačima s plinom visokog tlaka može doći do rezanja. Prekidač je u struji s induktivnim krugom, pri čemu obično ima velik induktivitet. Kako struja mrežne frekvencije u luku pada prema nuli, promjer luka se smanjuje, kao i vremenska konstanta, tako da luk poprima negativni otpor statičkih karakteristika na višim i višim frekvencijama. Negativni otpor luka (na rezonantnoj frekvenciji lokalnog LC kruga), koji je praktički jednak nuli pri visokim vrijednostima struje, postaje sve veći kako opada struja mrežne frekvencije. Na određenom stupnju negativni otpor luka postaje veći do pozitivnog dinamičkog otpora lokalnog LC kruga, pa tako otpor cijelog kruga postaje negativan. Kada ukupni otpor kruga promijeni predznak u negativno, visokofrekventne oscilacije struje u luku rastu i kada vršna vrijednost takve struje bude jednaka trenutnoj vrijednosti struje mrežne frekvencije, pojavit će se umjetna strujna nula, pri čemu može doći do generiranja prenapona koji mogu ugroziti izolacijsku čvrstoću komponenti prekidne komore.

Ta pojava znatno opterećuje izvedbu visokonaponskih prekidača s komprimiranim plinom, jer je intenzitet deionizacije jednak kako u području visokih vrijednosti struje, tako i pri vrijednostima u blizini prirodne strujne nule. Stalno pritjecanje svježeg plina u međukontakti prostor uzrokovat će pri niskim vrijednostima struje dodatno povećanje otpora lučne plazme i raniji pad struje na nultu vrijednost uz generiranje visokih prenapona. Rezanje struje jedna je od nepoželjnih »specijalnosti« pneumatskih prekidača i čini nužnom primjenu otpornika za kontrolu prenapona [1].  $\text{SF}_6$  prekidači se uspješno nose s tom pojavom ponajprije zahvaljujući visokoj dielektričnoj čvrstoći i vrlo brzom uspostavljanju dielektrične čvrstoće nakon gašenja luka.

Kod prekidača sa strujno ovisnom karakteristikom gašenja ta pojava nije toliko izražena s obzirom na činjenicu da je intenzitet deionizacijskih procesa razmjerni veličini struje luka i nema pojave prisilnog povećanja otpora lučne plazme u području niskih vrijednosti struje.

Rezanje struje pratilo je i prve generacije vakuumskih prekidača, ali je odgovarajućim izborom legura za kontakte vrlo uspješno otklonjeno [4].

#### 4. ZAKLJUČAK

Električni luk je temeljna komponenta u procesima sklapanja jer poznavanje njegovih fizikalnih osobina u različitim uvjetima primjene uvelike određuje izvedbu prekidača. Iako mnoga pitanja iz teorije električnog luka do danas ne dobivaju zadovoljavajuća rješenja, u određenim područjima ostvareni su teorijski modeli koji se vrlo dobro podudaraju s iskustvenim pokazateljima i bitno pridonose razumijevanju pojava u luku kvalitativnim upoznavanjem s odnosima između električnih i toplinskih veličina u toku procesa sklapanja.

Na osnovi široke primjene električnog luka kao sredstva za kontrolu impedancije prekidača i donekle, u ovom trenutku obeshrabrujućih perspektiva sistema na principima bezlučnog i beskontaktnog sklapanja, s jedne strane i korištenja snažnih elektroenergetskih računarskih sistema s druge strane, treba očekivati nova značajna saznanja u proučavanju prijelaznih pojava u elektroenergetskim sistemima.

#### 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] C. H. FLURSCHEIM, »Power circuit breaker — theory and design«, Peter Peregrinus Ltd., London, 1985.
- [3] B. BELIN, »Uvod u teoriju električnih sklopnih aparata«, Školska knjiga, Zagreb, 1978.
- [4] R. MAHMUTĆEHAJIĆ, »Vakuumski prekidač«, Sveučilište u Osijeku, Studij elektrotehnike, 1987.

#### PHYSICS OF ELECTRIC ARC IN BREAKERS

In the article is presented a review of relevant facts for generation, burning and extinguishing of the electric arc in breakers. Discussed are electric arcs in conditions of high gas pressures and phenomena of cutting current.

#### PHYSIK DES ELEKTRISCHEN BOGENS IN SCHALTAPPARATEN

Im Artikel bespricht man relevante Tatsachen bezüglich des Entstehens der Bedingungen des Ein und Ausschaltens des elektrischen Bogens in den Schaltern. Besprochen wurden elektrische Bogen in der Zone des Hochdruckgases und das Phänomen des Stromschneidens.

#### ФИЗИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ ВЫКЛЮЧАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В статье высказано мнение о фактах, которые можно считать важными при изучении условий возникновения, во пламенения и погашения электрической дуги в выключателях. Рассмотрены электрические дуги в диапазоне газа высокого давления и явления перерыва тока.

Naslov pisaca:

**Prof. dr. Rusmir  
Mahmutćehajić, dipl. inž.  
Studij elektrotehnike  
Istarska 3  
54000 Osijek  
Silvio Hajdin, inž.  
DP »Kombinat Beliše«  
Energetika  
Titov trg 1  
54551 Beliše**

Uredništvo primilo rukopis:  
1990-01-10.

**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**

# OSVRT NA SAVJETOVANJE O RAZVOJU ELEKTROPRIVREDE JUGOSLAVIJE OD 1991. DO 2000. GODINE

Dr. Zorko Cvetković, Zagreb

UDK 621.31(497.1)

PREGLEDNI RAD

Daje se osvrt na osnovne teme Savjetovanja i prikaz pratećih referata. Savjetovanje je prikazalo mogućnosti budućeg razvoja elektroprivrede Jugoslavije, ali osnovni plani razvoja nisu doneseni. Preduvjeti za takvu odluku su definiranje energetske politike zemlje, definiranje uvjeta ulaganja u izgradnju na drugim područjima, definiranje ekonomskog položaja elektroprivrede uključujući i cijenu električne energije i općenito razvoju tržišne privrede.

**Ključne riječi:** razvoj, energetska politika, ekonomski položaj, potrošnja, izvori, prijenos.

## UVOD

Na Ohridu je od 23. do 26. travnja ove godine održano savjetovanje o razvoju elektroprivrede Jugoslavije od 1991. do 2000. godine. Savjetovanje je održano u organizaciji Jugela uz stručnu suradnju istaknutih članova JUKO CIGRE. Na Savjetovanju je obrađeno osam tema čime je pokrivena kompletna problematika daljeg razvoja elektroprivrede. Svaka tema je obrađena u uvodnom pozivnom referatu i u stanovitom broju slobodno izabranih referata iz dotične tematike.

Teme su bile sljedeće:

1. Potrošnja i racionalno korištenje električne energije
2. Proizvodnja električne energije, ugljena i urana
3. Prijenos električne energije
4. Distribucija električne energije
5. Ekologija i zaštita čovjekove okoline
6. Ekonomija i financiranje razvoja elektroprivrede
7. Informatika
8. Oprema, obnavljanje i nove tehnologije.

U daljnjim poglavljima bit će razmotrene prije svega postavke iz uvodnih referata, kao i neke osnovne ideje koje su bile dominantne u pojedinim tematskim oblastima.

## POTROŠNJA I RACIONALNO KORIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Opća zapažanja uvodnog referata svode se na sljedeće:

Proizvodnja energije kao preduvjet privrednog razvoja i standarda stanovništva pripada po važnosti u grupu bitnih djelatnosti kao što su proizvodnja hrane i sirovina odnosno osiguranje vode. Elektroenergetski sistem dio je energetskog sistema, pa se nje-

gov razvoj i eksploatacija mogu razmotriti samo u okviru ukupne energetske problematike. Osnovna je zadaća u razvoju tog sistema kako osigurati potrošačima dovoljne količine sigurne i kvalitetne električne energije uz pristupačne cijene. Ta zadaća je međutim otežana nizom ograničenja koji proizlaze iz političkog sistema, zakonskih normativa, zaštite okoline, međunarodne situacije i sl.

Potrošnjom električne energije po stanovniku Jugoslavija se još uvijek nalazi na začelju Evrope sa 3 221 kWh u 1985. godini. Radi usporedbe u istoj godini potrošnja po stanovniku u Norveškoj iznosila je 24 772 kWh, a u SR Njemačkoj 6 772 kWh.

Polazne osnove za planiranje razvoja elektroprivrede jesu poznavanje razvoja potrošnje. Bez obzira na upotrijebljenu metodu predviđanja potrošnje tim je točnije što se radi o većem elektroenergetskom sistemu. Jugoslavenski EES čini doduše tehnološko-tehničku cjelinu, ali je u ekonomsko financijskom smislu kompletno razjedinjen pa autarkičnost u razvoju parcijalnih sistema i međusobno ponašanje odstupa od svake tržišne logike i traženja zajedničkog optimuma, već svaki partner bez milosti želi iskoristiti onoga drugoga. Obavezne bilance o međusobnim isporukama električne energije ustvari nikog ne obavezuju jer za to ne postoje objektivne mogućnosti, pogotovo zbog nepredviđenih hidroloških situacija. Zajedničko planiranje razvoja potrošnje koje je samo po sebi otežano cijelim nizom nepoznanica u ovakvim je konkretnim uvjetima, naravno, još teže.

Kad je riječ o racionalnoj potrošnji i štednji električne energije, treba ponajprije ukazati na nedostatak zacrtane energetske politike u zemlji s odgovarajućim odnosom cijena pojedinih energenata. To je, naime, osnovni uvjet za razvoj i korištenje električne energije na racionalni način. Ostalo se svodi na stručno održavanje postrojenja i trošila, kao i na školovanje potrošača.

Korištenje novih tehnologija bazira na znanstvenois-traživačkom radu. Kod nas nije, nažalost, riješen status toga rada, pa je u pogledu razvoja i primjene tehnologije u energetici situacija u Jugoslaviji znatno slabija od situacije u razvijenom svijetu.

Osim uvodnog referata predloženo je još 8 referata koji su obradili razne metode, predviđanje potrošnje, karakteristike potrošnje i smjernice za racionalno korištenje električne energije.

## PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE UGLJENA I URANA

Osnovni moto uvodnog referata u ovoj tematici bio je: A kako sutra?

Električna energija i zdrava okolina podjednako su potrebne čovjeku danas i sutra, a to su dva zahtjeva međusobno konfliktna. Razina konfliktnosti može se smanjiti racionalizacijom potrošnje i adekvatnim mjerama zaštite okoline, no taj cilj je jednostavnije opisati nego realizirati. On, naime, pretpostavlja funkcioniranje privrednopravnog sistema, dobru organiziranost na svim nivoima i efikasnu ekonomsku politiku.

Električna energija nije samo uvjet razvoja društva već i civilizacijsko dostignuće, a potreba za njom povećava se iz dana u dan. Istovremeno proizvodnja električne energije ugrožava životnu okolinu, ljudski život i kvalitetu življenja. Na pitanje kako sutra u našoj zemlji, još se nadovezuje kompletno nedefinirani društveno-politički i privredni trenutak, bez jasnog pogleda u budućnost što ima i imat će vrlo negativne (skupe) posljedice na elektroenergetiku. Što se racionalizacije potrošnje električne energije tiče, nju valja promatrati isključivo kao trajni proces ili kao filozofiju svakodnevnog življenja u kojoj i mogućnosti i ekonomske prisile nužno navode svaki subjekt u tom procesu na dobre gospodarske odluke.

Primarni izvori energije za proizvodnju električne energije, energetske resursi, nisu u Jugoslaviji raspoređeni proporcionalno potrebama. Najveći nesklad potreba i mogućnosti je u Hrvatskoj.

Osnovni ugljeni resursi nalaze se u Srbiji i u BiH, dok su mogućnosti proizvodnje u hidroelektranama razmjerno ravnopravno raspoređeni, ali s energetske i ekološkim ograničenjima.

Očito, ubuduće je nužno koristiti i hidropotencijal i ugljen i nuklearna goriva. Ovakvom programu je na putu prije svega podjela u ukupnim političkim i ekonomskim odnosima među republikama, zbog čega je elektroprivredni razvoj prerastao u politički problem. Do danas ni bilateralni pregovori među republikama ni akti Saveznih organa nisu dali rezultate.

Rješenje »energetskog prostora Jugoslavije« mora prije svega riješiti kako na jedinstvenom jugoslavenskom tržištu jasno definirati uvjete na koji način republike koje nemaju resurse mogu koristiti resurse na područjima onih republika koje ih imaju. To zahtijeva zakonske i ekonomske pretpostavke uključujući i sigurnost realizacije projekta. To, dakle, podrazumijeva ravnopravno tretiranje resursa i kapitala

koji će omogućiti iskorištenje najpovoljnijih lokacija u korist vlasnika resursa i ulagača iz drugih republika.

Budući da je nuklearni program neizbježiv za rješavanje energetske budućnosti, teba ga depolitizirati i razmotriti sa stručnog, ekološkog, sigurnosnog, političkog i ostalih aspekata.

Konačno, za dio rješenja energetske probleme svakako je prisutna i opcija uvoza, a sve u sklopu opće evropske i svjetske energetske politike.

Osim ovog uvodnog razmatranja predloženi su referati iz područja metodologije planiranja, ekonomsko-energetske valorizacije novih elektrana, kombiniranih procesa za proizvodnju električne i toplinske energije, mogućnosti izgradnje elektroenergetskih objekata u pojedinim područjima naročito na Kosovu.

## PRIJENOS ELEKTRIČNE ENERGIJE

Uvodni referat naglašava da se i jugoslavenska mreža razvija u skladu s opće poznatim principima baziranim na stopi porasta potrošnje i na lokaciji izvora i potrošačkih centara. U posljednjim dekadama planiranje razvoja te mreže razvijalo se regionalno u republičko-pokrajinskim elektroprivredama, a ti planovi su služili kao baza za pronalaženje integralnih rješenja za cijelu zemlju.

Aktualne nejasnoće u daljnjem privrednom razvoju i osjetan pad porasta potrošnje električne energije (0,7% u razdoblju 1988/1989) bitno utječe na dalji razvoj prijenosne mreže.

Tri su ključna problema vezana za razmatranje prijenosne mreže:

- koncepcija oblikovanja s aspekta iznalaženja optimalnih etapnih rješenja izgradnje i sigurnosti eksploatacije
- iznalaženje optimalnih parametara vodova i postrojenja
- iznalaženja optimalnih uvjeta vođenja mreže uz primjenu odgovarajućih regulacionih, zaštitnih i drugih nužnih uređaja.

Izgradnjom I. i II. etape 400 kV mreže i povezivanjem sa susjednim zemljama, naročito sa zemljama UCPTA-a, omogućena je šira razmjena električne energije i povećana sigurnost sistema.

Od uočenih slabosti mreže treba navesti nedovoljnu povezanost istočnog i zapadnog dijela sistema, nedovoljnu kompenzaciju jalove snage u zapadnim dijelovima, isključivu gradnju jednosistemskih vodova umjesto dvosistemskih, eventualno prevelik broj transformatorskih stanica u nekim područjima, projektiranje provodnika za temperaturu od 40°C umjesto 70°C u slučaju kraćih dionica i sl.

Problemi koje će trebati rješavati u budućem razvoju vezani su za dobivanje novih trasa dalekovoda, za veće presjeke vodiča, za korištenje postojećih trasa vodova 110 kV i 220 kV za nove vodove 400 kV, izbor jediničnih snaga transformatora veće snage 500 do 600 MVA, izbor većih struja kratkog spoja odnosno cijepanja mreže, rješenja mreža velikih gradova, za



kompenzaciju reaktivne snage, za poboljšano upravljanje mrežom.

Također se kao važan moment nameće daljnje povezivanje sa susjednim zemljama, pa i eventualne podmorske kabelaške veze istosmjernog napona.

U razdoblju do 2000 g. ne očekuje se prijelaz na viši naponski nivo, no mnogo više pažnje trebat će posvetiti problemu pouzdanosti i sigurnosti prijenosne mreže.

Kao osnovni uvjet za dalji razvoj mreže svakako treba definirati lokacije novih izvora, buduću potrošnju i povezanost sa susjedima, uključujući i tranzit električne energije među susjedima preko našeg sistema. Budući da je to planiranje vezano za dosta nepoznata, bit će nužna razrada raznih scenarija da bi se odabralo optimalno rješenje.

U ostalim referatima dat je prikaz revitalizacije starih dalekovoda, položaj naše mreže između istočne i zapadne Evrope, mogućnost prijenosa postojeće mreže u smjeru istok-zapad i nužna pojačanja, problematika ultravisokih napona, metodologije planiranja vezane na aktivne snage, reaktivne snage i povećanje sigurnosti.

Kao značajan zadatak u budućem razdoblju naglašen je također problem dalje sudbine 220 kV mreže, ekološki problemi vezani za izgradnju i pogon mreže, unapređenje metoda održavanja filozofije zaštite i sve prisutniji kadrovski problem u domeni prijenosa električne energije.

## DISTRIBUCIJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

U uvodnom referatu naglašeno je da distributivni sistem kao integralni dio EES-a ima svoje specifičnosti, kao što su naponski nivoi, postojanje mješovitih i kabelaških mreža, radijalni oblik mreža, izuzetno velik broj objekata na malom prostoru, osjetna ograničenja zbog okruženja i sl. I tu djelatnost muče pitanja kao što su prognoza potrošnje, optimalno planiranje razvoja, kvaliteta energije, sigurnost napajanja, gubici električne energije i dr.

U planiranju distributivnih mreža specifičnu težinu imaju urbanistički planovi, razvoj toplinskih i plinskih mreža te tarifna politika. Upravljanje potrošnjom nameće se kao važan zadatak u »peglanju« dnevnih dijagrama potrošnje, a i problem eliminiranja viših harmoničkih komponenata napona i struje postaje sve prisutniji.

Da bi zadovoljila svoju zadaću usklađivanje razvoja distributivne mreže s razvojem privrede i široke potrošnje s jedne strane, a razvoja proizvodnje i prijenosa s druge strane, distribuciju čekaju značajni zadaci, npr. unapređenje suradnje s isporučiocima opreme, unapređenje razvojno-istraživačkih poslova, stalna inovacija znanja, dalja primjena elektronike u energetici, unapređenje propisa i standarda, povećanje stupnja iskorištenja mreže, smanjenje gubitaka, tipizacija, uvođenje rada pod naponom, primjena novih tehnoloških rješenja pri gradnji vodova, kabela i postrojenja, a sve to uz pojačano uvažavanje ekoloških ograničenja.

Uz uvodni referat u slobodnim obradama predočeno je određivanje optimalnog uklopnog stanja distributivne mreže, analiza stanja u postojećim mrežama i njihov dalji razvoj, suvremena transformatorska stanica za napajanje urbanih sredina, sistem mrežne telekomande i ostali problemi srednjonaponskih mreža.

## EKOLOGIJA I ZAŠTITA ČOVJEKOVE OKOLINE

Uvodni referat predočio je vrlo zorno sve suprotnosti koje se pojavljuju u istovremenom zadovoljenju porasta energetske potrošnje i zaštite čovjekove okoline.

Poseban naglasak dan je emisijama pepela,  $SO_2$ ,  $NO_x$ , te  $CO_2$  kod rada termoelektrana na fosilna goriva, te prijetnji da nastanu katastrofalne posljedice zbog promjene klimatskih uvjeta. To je prisutno i kod nas gdje je zagađenje sa  $CO_2$  na nivou svjetskog prosjeka s tendencijom porasta. Najveće napore na polju smanjenja štetnih emisija svakako trebaju podnijeti najrazvijenije zemlje koje su i najveći zagađivači, no i mi bismo morali barem prepoloviti štetne emisije, a to traži znatna financijska sredstva i povisuje cijenu električne energije. Nuklearne elektrane su najmanji zagađivači, ali treba riješiti pitanje odlagališta nuklearnih otpada i opći strah javnosti od nuklearnih postrojenja. Ni hidroelektrane sa svojim utjecajem na okolinu nisu naivne i sve češći su zahtjevi da se ne grade.

U dodatnim referatima naročito su obrađeni problemi smanjenja zagađenosti od termoelektrana na fosilna goriva.

## EKONOMIJA I FINANCIRANJE RAZVOJA ELEKTROPRIVREDE

Uvodni referat analizira prvenstveno situaciju u elektroprivredi koja se uvodi na jedinstveno tehničko-tehnološki sistem, ali i na osam samostalnih ekonomskih republiko-pokrajinskih sistema. Takva situacija bit će i u budućnosti, s razlikom da će djelovati šest takvih sistema s obzirom na jedinstvenu elektroprivredu u Srbiji. Ovakvo stanje organiziranosti smanjivalo je mogućnosti za optimizaciju rada EES-a, a pogotovo na nacionalni razvoj.

Kako prirodni resursi nisu ravnomjerno raspoređeni, to su elektroprivrede, prvenstveno Hrvatske i Slovenije, ulagale u izgradnju novih kapaciteta u drugim područjima. Za takva ulaganja nisu međutim postojali realni ekonomski interesi, pa su ona i svedena na niski nivo, a prednost su imala ulaganja na svom području bez obzira na teorijske komparativne prednosti ulaganja na drugim područjima. Ipak, i u tim uvjetima ostvaren je značajan razvoj elektroprivrede koji je bio u skladu sa rastom potrošnje. U posljednjim godinama, međutim, usporavan je razvoj ponajviše zbog nedostatka financijskih sredstava. Takva situacija samo zahvaljujući općoj stagnaciji u razvoju konzuma još nema negativnih posljedica, ali prije-

ti da postane kočnica daljeg društvenog razvoja u skorijoj budućnosti.

Elektroprivreda ne može sama osigurati ekonomske pretpostavke za svoj razvoj, već joj kao infostrukturnoj grani država mora osigurati pretpostavke razvoja kako je to praksa i ostalim zemljama tržišne privrede. Danas se, međutim, ne vide način i mogućnosti kako to postići.

Sigurno je da prije svega treba usvojiti strategiju razvoja energetike i energetske politike, zatim politiku realnih cijena električne energije, principe zajedničke izgradnje elektroenergetskih objekata i dr. Trebalo bi, naime, stvoriti uvjete za primjenu trotrećinskog pravila financiranja izgradnje:

- vlastite akumulacije elektroprivrede
- sredstva s tržišta kapitala
- sredstva koje osiguravaju mjere društveno-političkih zajednica.

Treba naglasiti da sredstva s tržišta kapitala, naročito sredstva Svjetske banke za obnovu i razvoj, ovise ponajprije o akumulativnoj sposobnosti same elektroprivrede.

U ostalim referatima prikazana je varijanta zajedničkog ulaganja u izgradnju velikih hidrosistema, problemi financiranja razvoja elektroprivrede u Sloveniji gdje je odnos investicije i društvenog proizvoda pao sa 5,25% u 1976. godini sa svega 0,98% u 1988 g. Nadalje je opisan utjecaj države na rad i razvoj elektroprivrede u devet evropskih zemalja, te analitički prikaz tri načina formiranja cijene električne energije, s naglaskom da je npr. u elektroprivredi Hrvatske od 1981. do 1988. godine prosječna reproduksijska cijena električne energije bila viša od prosječne prodajne cijene, što je ne samo svelo akumulativnu sposobnost elektroprivrede na nulu već uzrokovalo i znatne gubitke.

## INFORMATIKA

Uvodni referat naglašava nužnost uvođenja informatike u sve pore rada elektroprivrede, jer ona omogućuje povećanje efikasnosti u domeni poslovanja, planiranje razvoja, vođenje EES i njegovog održavanja. Poseban naglasak dan je na organiziranje baza podataka s osvrtom na njihove prednosti i nedostatke kao i na sve veće korištenje ekspertnih sistema.

Napomenuta je i nužnost izgradnje jakog telekomunikacionog sistema, posebno u vezi s realizacijom projekta Tehničkog sistema upravljanja (TSU).

U pratećim referatima opisane su mjere za osiguranje kvalitete softvera, analizirana je potreba i mogućnost primjene ekspertnih sistema u planiranju razvoja EES, te prikazani rezultati razvoja informacijskog sistema pouzdanosti elemenata i objekata EES.

## OPREMA, OBNAVLJANJE I NOVE TEHNOLOGIJE

U uvodnom referatu naglašava se činjenica da je domaća elektrogradnja i strojogradnja u uvjetima stalnih financijskih poteškoća i jake konkurencije stranih proizvođača uspjela u suradnji s elektroprivredom Jugoslavije gotovo u potpunosti proizvoditi suvremenu elektroenergetsku opremu za potrebe razvoja EES. Danas naročito aktualna postaje nužda revitalizacije starih objekata i sve veći zahtjev na zaštitu čovjekove okoline. Naravno, u budućem razdoblju treba intenzivno pratiti razvoj novih tehnologija, pa i graditi demonstraciona postrojenja radi stjecanja vlastitih iskustava.

U pratećim referatima opisani su istražno-razvojni radovi u oblasti razvoja kotlovskih postrojenja za izgaranje jugoslavenskih ugljena, perspektivne tehnologije u prekidanju struje na području srednjeg napona, trendovi budućeg razvoja plinom SF<sub>6</sub> izoliranih sklopnih postrojenja visokog napona, proračunske metode za analizu procesa u ložištu, kotlovi s izgaranjem u cirkulacionom fluidiziranom sloju, kadrovska problematika vezana za razvoj jugoslavenske elektroprivrede, tendencije u izgradnji i eksploataciji transformatora i generatora, korištenje mikroprocesorske tehnike na području regulacije, razvoj novih tehnologija u budućnosti i iskustva u produženju radnog vijeka termoelektrana.

## UMJESTO ZAKLJUČKA

Što na kraju reći o ovom savjetovanju? Uzevši u obzir temu savjetovanja i datum održavanja, ovo je savjetovanje moralo definirati razvoj elektroprivrede Jugoslavije u sljedećem desetljeću, jer za to je već i krajnje vrijeme. Umjesto toga čule su se samo mogućnosti razvoja, dobio se dojam o visokoj stručnoj spremnosti kadrova elektroprivrede, industrije i znanstvenih ustanova da prate taj razvoj, ali osnove plana razvoja nisu donesene i ostaje bez odgovora pitanje kako u budućnost. Očito da su uvjeti za taj odgovor prije svega u definiranju energetske politike zemlje, u definiranju uvjeta ulaganja u izgradnju objekata u drugim područjima, u definiranju ekonomskog položaja elektroprivrede, uključujući i cijenu električne energije i općenito u daljem razvoju tržišne ekonomije.

Bez tih preduvjeta ovakva savjetovanja bit će i nadalje sličnija Savjetovanju CIGRE, što se smatralo i ovom prilikom korisnim, ali ne i adekvatnim svrsi savjetovanja.

#### A REVIEW ON MEETING ABOUT DEVELOPMENT OF ELECTRIC POWER ENTERPRISES IN YUGOSLAVIA FOR PERIOD 1991 – 2000 YEAR

In the article is presented a review on meeting and discussed papers. Topics of meeting were development plans of electric power enterprises of Yugoslavia, but base plans were not agreed upon. Prerequisites for that decision are defined energy policy, defined investment conditions, defined economical position of enterprises as well as electric power prices.

#### RÜCKBLICK AUF DIE TAGUNG ÜBER DIE ENTWICKLUNG DER JUGOSLAWISCHEN ELEKTROWIRTSCHAFT VON 1991 bis 2000

Hier gibt man einen Rückblick auf die Grundthemen der Tagung und die Schilderung der begleitenden Referate. Die Tagung zeigte die Möglichkeit der zukünftigen Entwicklung der jugoslawischen Elektrowirtschaft, doch die Grundzüge des Entwicklungsplanes wurden nicht entworfen. Die Vorbedingungen für einen solchen Beschluß sind das Bestimmen der energetischen Politik des Landes, das Bestimmen der Bedingungen für die Investitionsarbeiten auf anderen Gebieten, das Bestimmen der wirtschaftlichen Lage der Elektrowirtschaft wobei man den Preis der elektrischen Energie und die allgemeine Entwicklung der Marktwirtschaft beachten muß.

#### СУЖДЕНИЕ О СОВЕЩАНИИ О РАЗВИТИИ ЭЛЕКТРОХОЗЯЙСТВА ЮГОСЛАВИИ С 1991 ПО 2000 ГОДЫ

Приводится суждение об основных темах Совещания и обзор сопутствующих докладов. Совещание представило возможности будущего развития электрохозяйства Югославии, однако о основы плана развития не выражены. Для такого решения необходимо уточнить энергетическую политику страны, определить условия капиталовложения строительства вразличных областях, определить экономическое состояние электрохозяйства, включая также стоимость электроэнергии, и вообще развитие торговой экономики.

Naslov pisca:

**Dr. Zorko Cvetković, dipl. inž.**  
**41000 Zagreb, Moše Pijade 65,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1990-05-21.

# Elektromaterijal Rijeka



35. godina

**TRGOVINA I USLUGE, DRUŠTVENO PODUZEĆE SA P.O.**  
**TRGOVINA NA VELIKO**  
**RIJEKA — Dimitrija Tucovića 13**  
**Žiro račun 33800-601-12386**

Telefon: centrala  
051/37-777

Telex: 24339  
24671

Telefax: 051/213-670

Obavljajući djelatnost prometa roba i usluga u trgovini 117-tom granom »Elektromaterijal« opskrbljuje sljedeće najznačajnije potrošače: Elektroprivredu, brodograđevnu i ostalu industriju, građevinske, montažerske, PTT i ostale radne organizacije i korisnike, kao i trgovinu na malo.

Koristimo suvremeno izgrađeni informacijski sistem. U moderno uređenim skladištima postignuta je efikasnost poslovanja, kako kroz sredstva unutarnjeg transporta, tako i uz praćenje snažnog vlastitog voznog parka. Sve to omogućuje da se roba u najkraćem vremenu otpremi upravo do Vas koji nam ukazujete povjerenje.

## **RADNE JEDINICE:**

### **RADNA JEDINICA ZAGREB**

Tel: 041/528-872  
041/520-484  
041/520-878

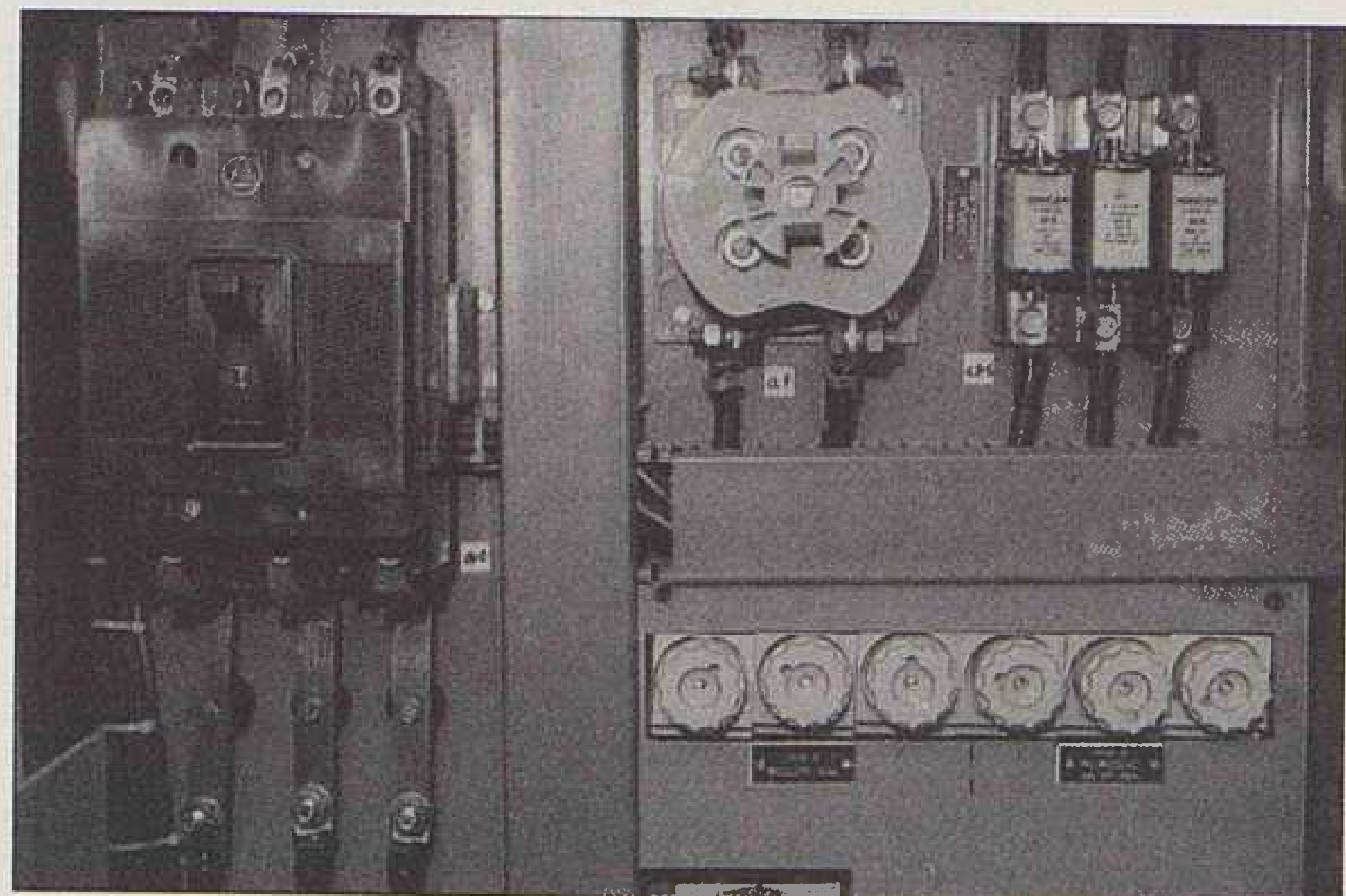
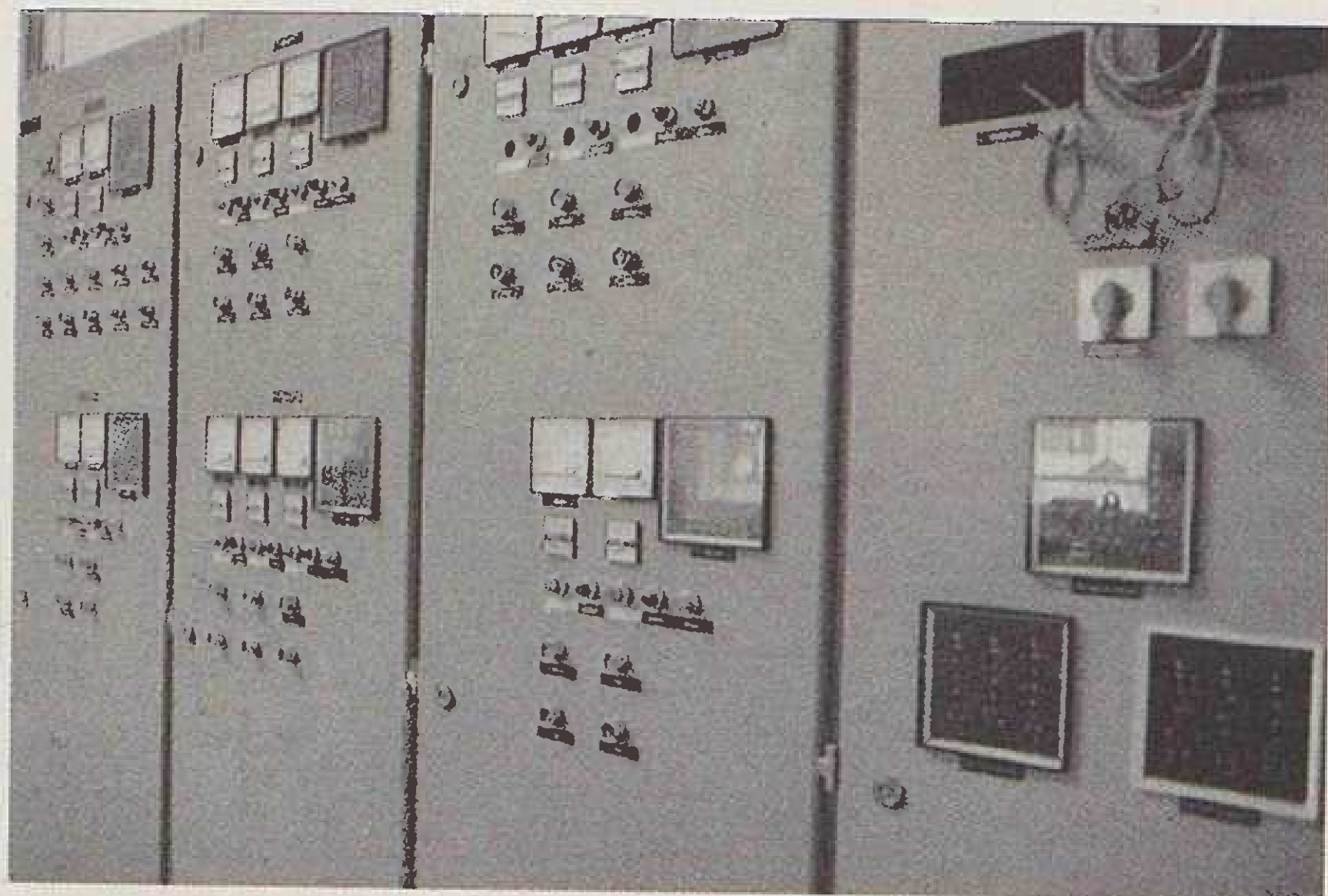
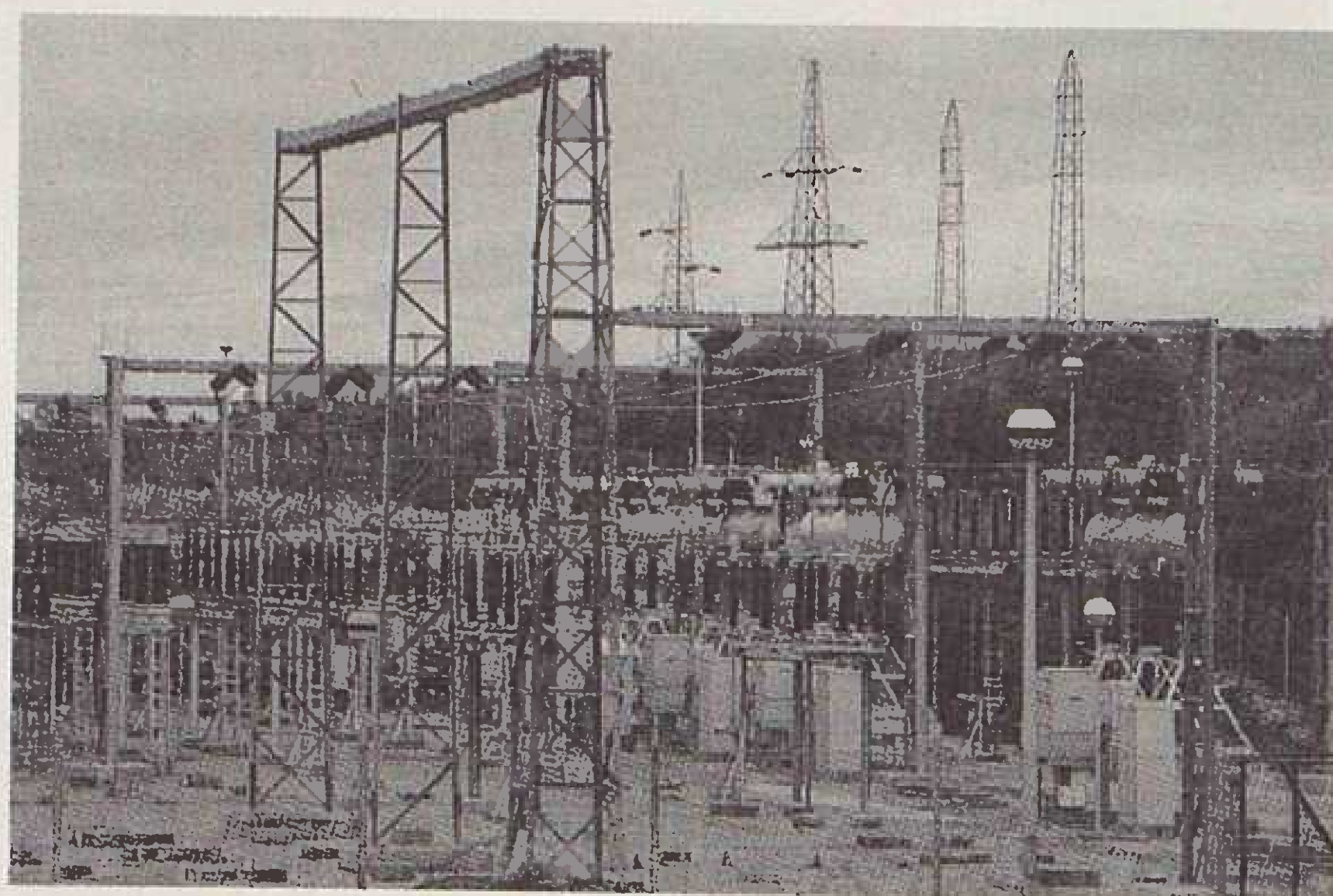
### **RADNA JEDINICA PODRAVSKA SLATINA**

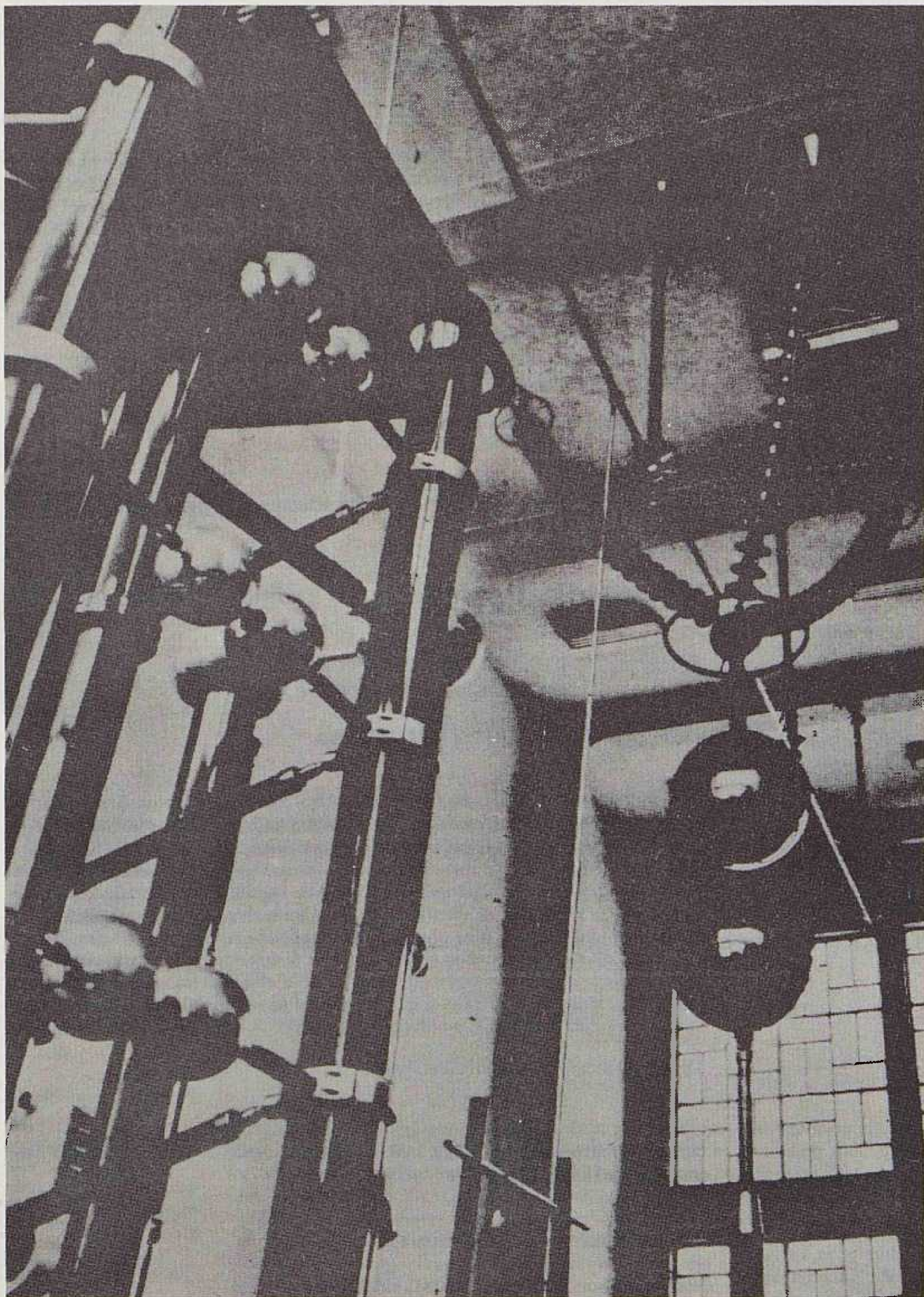
Tel: 054/751-010  
054/751-263  
054/751-481  
28-030

### **RADNA JEDINICA ZADAR**

Tel: 057/24-440  
057/24-844  
27-236

**OUR VELEPRODAJA, ELEKTROPRIVREDA I  
MONTAŽA**





## RAD INSTITUTA ZA ELEKTROPRIVREDU U 1989. GODINI

Institut za elektroprivredu u Zagrebu osnovan je sa zadatkom da znanstveno obrađuje probleme razvoja elektroprivrede i ostale energetike, i u tom području djeluje već tridesetpet godina.

Svojim razvojem i afirmacijom Institut je postao nosilac obrade važnih problema hrvatske i jugoslavenske elektroprivrede i energetike uopće. Naročito valja istaknuti aktivnost Instituta na znanstvenim istraživanjima metoda bilanciranja 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 unutar-njoj organizaciji, u nekoliko posebnih grupa, od kojih svaka ima svoj zaokruženi djelokrug rada:

Studijska radna jedinica za elektroenergetske sisteme i ekonomsku problematiku

Studijska radna jedinica za razdjelne, visokonaponske, n. n. mreže i za projektiranje

Studijska radna jedinica za termoenergetske sisteme  
Zavod za visoki napon i prijenosne mreže

Studijska radna jedinica za hidrotehničke sisteme.

U daljnjem tekstu prikazani su važniji radovi iz djelovanja ovih grupa u 1989. godini.

## STUDIJ ELEKTROENERGETSKIH SISTEMA

### Baza podataka elektroenergetskog sistema

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autori: Franjo Klečina, dipl. inž.  
mr. Mićo Klepo, dipl. inž.

Završeno u studenome 1989. godine

Ovaj rad je nastavak rada započetog studijom »Formiranje baze podataka o potrošnji električne energije za potrebe planiranja eksploatacije EES-a« i u verziji s programskom podrškom za automatizirano periodičko izvještavanje o radu EES-a.

Razvoj baze podataka potaknut je potrebom da se svi relevantni podaci (energetski, ekonomski, planirani, ostvareni, opći...) EES-a SR Hrvatske (Jugoslavija) značajni za rad sistema i službi ZEOH-a opišu na jedinstven način, tj. primjena jedinstvenog programskog paketa koji podržava relacijski model podataka — ORACLE.

Ona u svojoj osnovi obuhvaća električne i druge veličine vezane za proizvodnju i potrošnju električne energije (planirane i ostvarene), te podatke potrebne za opis strukture i djelovanja elektroenergetskog sistema.

Ova baza podataka u osnovi je razrađena kao off line baza podataka, tj. podaci se u bazi unose ručno putem ekranskih obrazaca, a razvijena je i radi podržana relacijskim sistemom za upravljanje bazama podataka ORACLE. U ovom radu u osnovi je opisan model podataka elektroenergetskog sistema, tj. ovaj rad predstavlja dokumentaciju baze podataka EES-a.

Opseg: 175 stranica.

### Uvođenje programskog paketa za godišnju elektroenergetsku bilancu

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autori: mr. Mićo Klepo, dipl. inž.  
mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.  
mr. Mladen Zeljko, dipl. inž.  
Davor Tomašić, dipl. inž.

Završeno u veljači 1989. godine.

Programski paket za izradu godišnje elektroenergetske bilance, tj. godišnjeg planiranja eksploatacije elektroenergetskog sistema, pripremljen je za korištenje i primjenu u svakodnevnoj praksi rada i upravljanja, tj. eksploatacije elektroenergetskog sistema. Pripremom su bili obuhvaćeni osnova modularne i organizacijske strukture svakog modula i operativnog programa u cjelini, način i uvjeti izvršavanja u nezavisnom i povezanom korištenju, struktura jedinstvene ulazne datoteke podataka s oblicima i sadržajima pojedinih ulaznih datoteka, odnosu podataka ovisno o načinu korištenja, oblici ulaznih i izlaznih informacija za izvršavanje pojedinih dijelova putem interaktivnog dijaloga s korisnikom, te upute i uvođenje u sam tijek izvođenja programa. Osnovni ulazni parametri, koeficijenti i ostali ulazni podaci pripremljeni su i organizirani za duže razmatranje korištenje programskog paketa. Detaljne specifikacije ulaznih podataka i njihove organizacije s uputama za rast dodatno olakšavaju rad korisniku s programa u različitim uvjetima analize i planiranja rada elektroenergetskog sistema.

Opseg: 42 stranice teksta + 17 stranica priloga, 29 tablica, 21 slika.

### Energija, izvori i pretvorbe energije, energetske bilance, energija, društvo i okolina (IV. dio — Energija i okolina)

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autor: prof. dr. Božo Udovičić, dipl. inž.

Završeno u veljači 1989. godine

Predmetni rad sastoji se od deset poglavlja u kojima se obrađuje problem korištenja energije na okolinu. U prvom dijelu obrađen je postanak Zemlje i atmosfere, te uloga kisika, dušičnih oksida, ugljičnih oksida, ozona i amonijaka na stvaranje i održavanje života na Zemlji. Nakon toga ograđeni su problemi ekologije i okoline, vrste zagađivača, rizik zagađenja, te globalni i lokalni problemi zagađenja.

U nastavku su opisani utjecaji na okolinu kod pridobivanja, prijevoza i pretvorbi oblika energije (rudarenjem, proizvodnja i prerada nafte i plina, proizvodnja električne energije itd.) te korištenja korisnih oblika energije (u industriji, domaćinstvima i prometnim sredstvima). Također su detaljno opisane mogućnosti zagađenja zraka, vode i tla, te zagađenja uvjetovana otpacima, stvaranjem buke i vibracijama, kao i promjenom estetskog izgleda okoline.

Vrlo interesantno područje su tzv. specifične pojave kod zagađenja okoline (ozonske rupe, efekt staklenika, kisele kiše, radioaktivnost, kemikalije, elementarne nepogode i nesreće uzrokovane ljudima).

Na kraju je obrađena veza između zagađenja okoline i razvoja, te zadaci i problemi na očuvanju okoline.

Opseg: 195 stranica i 53 slike.

### Promjena energije Sunčeva zračenja za proizvodnju električne energije

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: prof. dr. Hrvoje Požar, dipl. inž.  
prof. dr. Božo Udovičić, dipl. inž.

Završeno u siječnju 1989. godine.

U studiji su najprije obrađeni fizikalni zakoni Sunčeva zračenja (izravno i raspršeno zračenje) na horizontalnu, kosu i plohu koja prati gibanje Sunca. Na temelju raspoloživih podataka o dozračenim količinama energije (satnim dnevnim, mjesečnim i godišnjim) načinjene su mogućnosti korištenja Sunčeva zračenja korištenjem visokotempertaurne topline i direktne konverzije. Nakon toga navedene su prilike za stanje u tehnologijama izrade solarnih ćelija.

U posljednjem dijelu studije obrađeno je uklanjanje solarne elektrane u dnevni dijagram elektroenergetskog sistema, zatim proizvodna cijena (po današnjim tehnologijama) električne energije iz solarnih elektrana. Na kraju je načinjena usporedba solarnih elektrana s konvencionalnim termoelektranama, te mogućnost akumulacije energije u obliku vodika preko elektrolize vode.

Opseg: 40 stranica, 12 tablica i 38 slika.

### Energetsko-ekonomska valorizacija povećanja instalirane snage u HE Zeleni vir

Naručilac: Elektroprimorje, Rijeka

Autori: Nikola Bilčar, dipl. inž.  
mr. Slavko Alerić, dipl. inž.  
mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.  
Neda Komerički, ek.  
Ivica Posavec, teh.

Završeno u ožujku 1989. godine

HE Zeleni vir izgrađena je 1921. godine, te je samim time potrebna zamjena i rekonstrukcija nekih elemenata. U studiji je dan osvrt na dosadašnji rad HE Zeleni vir, kao i mogućnost povećanja instalirane snage u njoj. Budući da je to stari objekat (u pogonu je 70-ak godina) potrebno je bilo (kad se već mora odrediti dio zamijeniti) promotriti i povećanje instalirane snage. Ovakav zahvat isplati se ako je moguće kroz postojeće dovodne organe dozirati veće količine vode. S obzirom na to da obrađivači a i investitor nije raspolagao potrebnim ulaganjima za rekonstrukciju ni za povećanje snage, određena je tzv. granična vrijednost investicija do koje se isplati ulagati u povećanje instalirane snage.

Opseg: 28 stranica testa i 26 tablica.

### Energetsko-ekonomska valorizacija VS Đurđevac

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: mr. Slavko Alerić, dipl. inž.

Suradnici: mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.  
Neda Komerički, oec.  
Ivica Posavec, teh.

Završeno u svibnju 1989. godine.

Predviđena dokumentacija učinjena je za potrebe Elektroprivrede Zagreb. Nakon proračuna moguće proizvodnje VS Đurđevac (uvaženi su relevantni faktori), te njezina uklapanja u elektroenergetski sistem Hrvatske, moguće je bilo odrediti u njezine efekte koje postiže u sistemu. Postignuti efekti u elektroenergetskom sistemu Hrvatske su valorizirani, a oni pokazuju da je VS Đurđevac s elektroprivrednog stajališta kvalitetan objekt jer mu je parametar boniteta veći od alternativnog rješenja. Makar nisu vrednovani i drugi (sekundarni efekti vodoopskrbe, poljoprivrede, itd.) efekti, analiza je pokazala rentabilnost VS Đurđevca.

Opseg: 9 stranica teksta, 8 tablica i 5 slika.

### Zajedničko planiranje razvoja prijenosne mreže i proizvodnih postrojenja — II. dio

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autor: mr. Jakša Topić, dipl. inž.

Završeno u lipnju 1989. godine.

Istraživanja na makroprojektu »Zajedničko planiranje razvoja prijenosne mreže i proizvodnih postrojenja« započeta su prvim dijelom u kojem je instaliran i testiran programski paket za planiranje razvoja prijenosnih objekata. Budući da se programski paket u osnovnoj verziji temeljio na istosmjernom modelu točkova 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.

U drugom dijelu razvijen je i instaliran programski modul za ekonomske proračune, kao i modul za proračun sigurnosti odnosno neraspoložive električne energije.

Programski paket, u ovom obliku, omogućava da se utvrdi najpovoljnija varijanta izgradnje prijenosnih objekata (minimum troškova) uz zadovoljenje postavljenih tehničkih ograničenja. Funkcija troškova obuhvaća: investicijske troškove, pogonske troškove — troškove održavanja i gubitak te štete zbog neisporučene električne energije. Rad na ovom projektu se nastavlja.

Opseg: programski paket, izvještaj o završetku rada na ovom dijelu.

### Študija energetske odvisnosti SRS (Elektroenergetska odvisnost)

Naručilac: ISEP — Samoupravna interesna skupnost za elektrogospodarstvo in premogovništvo SR Slovenije, Ljubljana, Hajdrihova 2

Autori: Nikola Bilčar, dipl. inž.  
mr. Mladen Zeljko, dipl. inž.  
Institut za elektroprivredu, Zagreb

Rado Maković, dipl. inž.  
dr. Dušan Sajović, dipl. inž.  
Elektroinštitut »Milan Vidmar«

Završeno u rujnu 1989. godine.

U sklopu šire studije — Energetska zavisnost — analizirana je elektroenergetska zavisnost u zadanim okvirima. Naime, tražen je odgovor na pitanje u kojoj je mjeri moguće smanjiti izgradnju elektranu u Sloveniji na račun kupnje električne energije u Jugoslaviji i evropskim zemljama a da se pritom ne ugrozi sigurnost opskrbe potrošača električnom energijom. Ocijenjena je realnost nabave električne energije uz nužan stupanj elektroenergetske nezavisnosti.

Opseg: 77 stranica teksta, 25 tablica.

### Programska podrška za automatizirano periodičko izvještavanje o radu EES-a — Upute za korištenje operativnog programa »Periodičko izvještavanje o radu EES-a«

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autori: mr. Mićo Klepo, dipl. inž.  
Franjo Klečina, dipl. inž.

Završeno u kolovozu 1989. godine.

Operativni program periodičkog izvještavanja o radu elektroenergetskog sistema izraden je korištenjem programskog interfejsa PROFORTRAN u kojem dijelovi i izvori programskog jezika SQL za upravljanje relacijske baze čine zaokružene programske cjeline optimalno organiziranih naredbi SQL. Pri razvoju aplikacija iskorištena je najveća prednost ORACLE, a to je brza i jednostavna primjena, olakšavano komuniciranje i pristup podacima i informacijama uz interaktivni dijalog i višeslojni pristup. Pristup podacima potpuno je automatiziran, a zaštita od zloupotrebe izvedena iz sistema lozinki korisnika.

Opseg: 8 stranica teksta sa 20 stranica priloga.

### Formiranje baze podataka o potrošnji električne energije za potrebe planiranja eksploatacije EES-a

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autori: mr. Mićo Klepo, dipl. inž.  
Franjo Klečina, dipl. inž.

Završeno u travnju 1989. godine.

U sklopu ovog rada formirana je baza podataka o potrošnji električne energije za potrebe planiranja eksploatacije elektroenergetskog sistema, a u sklopu toga riješena je globalna struktura prikupljanja podataka, riješeni su osnovni tokovi prikupljenih i dijelom obrađeni podaci, a formiran je i jedinstveni programski sistem za rad s raspoloživim računarskim sistemom, odnosno za vizualnu i analitičku prezentaciju karakteristika ponašanja potrošnje električne energije. Problem formiranja baze podataka o potrošnji električne energije riješen je relacijskim sistemom za upravljanje bazom podataka ORACLE, odnosno sistemom za upravljanje relacijskom bazom podataka RDBUS koji omogućuju primjenu relacijske algebre ili relacijskog računa u radu s podacima.

Time je na području rada i planiranja rada elektroenergetskog sistema učinjen jedan od prvih velikih koraka prema jedinstvenom modernom i sustavnom prikupljanju, pohranjivanju ažuriranju i korištenju podataka. Rad se sastoji od dva dijela:

1. rješenja organizacije i strukturne relacijske baze podataka o potrošnji električne energije s uputama za rad s bazom podataka;
2. uputa za korištenje operativnog programa za prikaz podataka o potrošnji električne energije.

Opseg: 69 stranica teksta + 35 stranica priloga.

### Srednjoročno (tjedno) planiranje eksploatacije EES-a

Naručilac: Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

Autori: mr. Branka Jelavić, dipl. inž.  
mr. Mićo Klepo, dipl. inž.  
Davor Tomašić, dipl. inž.  
mr. Mladen Zeljko, dipl. inž.

U ovom radu prikazano je srednjoročno (tjedno) planiranje eksploatacije EES-a, koje prema vremenskoj dimenziji obuhvaća tjedan dana unaprijed po danima, a sadržajem predviđanje potrošnje električne energije, proračun moguće proizvodnje protočnih hidroelektrana, određivanje korištenja akumulacijskih bazena te raspodjelu opterećenja među elektranama s proračunom troškova. Za tjedno predviđanje potrošnje predlaže se model sektorskog predviđanja, a za predviđanje dotoka rezultati hidroloških modela.

Jezgru tjednog planiranja čini simulacija zadovoljenja potrošnje EES-a, tj. raspodjela opterećenja uz uvažavanje niza ograničenja koja se odnose na karakteristike sistema. To su: stalna ravnoteža proizvodnje (i nabave) i potrošnje, ograničena količina hidro-proizvodnje, ograničena minimalna i maksimalna snaga izvora, volumena akumulacija, te nedupovezanost hidroelektrana na jednom slivu. Optimalnim rješenjem smatra se ono za koje su troškovi goriva u termoelektranama minimalni uz zadovoljenje prije navedenih ograničenja. Kao optimizacijska tehnika predlaže se linearno programiranje, te će u skladu s mogućnostima ove metode biti modelirani pojedini zahtjevi.

Ova studija treba poslužiti kao metodološka osnova za razvoj pripadnog programskog paketa.

Opseg: 23 stranica teksta, 4 slike.

### Zajednički elementi (zajednički kriteriji) za obrazovanje cijene električne energije kao sistem i osnova dugoročne politike cijena električne energije u Jugoslaviji

Naručilac: JUGEL, Beograd

**Autori:** Ekonomski institut, Beograd  
 dr. Mirko Cvetković, dipl. oec.  
 dr. Jovo Vuleta, dipl. mat.  
 dr. Radovan Stanojević, dipl. oec.  
 mr. Mirko Todorović, dipl. oec.  
 prof. dr. Milenko Nikolić  
 Milutin Stefanović, dipl. oec.  
 Čedomir Dobrijević, dipl. oec.  
 Zvonimir Landup, dipl. oec.  
 Jasmina Petković, dipl. oec.

Institut za elektroprivredu Zagreb  
 Nikola Bilčar, dipl. inž.  
 Nada Jandrilović, dipl. oec.  
 Lada Jurišić, dipl. oec.

Završeno u kolovozu 1989. godine.

Izradu studije »Zajednički elementi (zajednički kriteriji) za obrazovanje cijena električne energije kao sistem i osnovu dugoročne politike cijena u Jugoslaviji« inicirao je Jugel na osnovi zaključaka SIV-a. Osnovni zadatak studije je izrada detaljne analize koncepta »Zajedničkih elemenata i njegova ocjena sa stajališta oportuniteti korištenja istog kao osnove za formiranje dugoročne politike cijena električne energije.

Istraživanja su se, u okviru projektnog zadatka, kretala u dva pravca. Jedan pravac odnosi se na detaljnu analizu i evaluaciju instituta »Zajedničkih elemenata« sa stajališta teorijsko-metodoloških osnova, a drugi pravac uključuje efekte koje koncept »Zajedničkih elemenata« generira.

Opseg: 165 stranica.

### **Model tokova troškova u izgradnji i eksploataciji proizvodnih i prijenosnih objekata elektroenergetskog sistema**

**Naručilac:** Zajednica elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb

**Autor:** Marijan Magdić, dipl. ek.

Završeno u veljači 1990. godine.

Realnost procesa planiranja izgradnje elektroenergetskih objekata ovisi o realnosti podataka koji se pritom koriste. Jedan od izvora podataka svakako su ostvareni događaji. Svrha ovog rada jest snimanje i obrada onih podataka elektroenergetskih objekata u eksploataciji koji se kao iskustveni podaci koriste u procesu planiranja izgradnje novih objekata.

U predmetnom radu snimljeni su neki troškovi proizvodnih i prijenosnih objekata na području elektroenergetskog sistema Hrvatske u razdoblju 1981. do 1987. godine.

Ovaj rad predstavlja početak stvaranja baze podataka koji se koriste u postupku planiranja izgradnje novih elektroenergetskih objekata.

Opseg: 22 stranice i prilog.

### **Energetsko-ekonomski doprinos prijevremene izgradnje HE Dubrava**

**Naručilac:** HE Dubrava

**Autori:** mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.  
 Marijan Magdić, dipl. ek.

Završeno u rujnu 1989. godine.

Svrha rada je analizirati i utvrditi koristi i doprinos prijevremene izgradnje HE Dubrava završena ranije u odnosu na planirani rok prema Investicijskom programu. U ovom radu se analiziraju i kvantificiraju koristi koje se ostvaruju u energetske smislu (električna energija) i u ekonomskom smislu, tj. koliki je ekonomski doprinos zbog manje utrošenih investicija i vrijednost prijevremene isporučene električne energije.

Opseg: 12 stranica i prilog.

### **Retencija/akumulacija Drežničko polje** Idejno rješenje energetske-ekonomske analize

**Naručilac:** Elektroprojekt, Zagreb

**Autori:** Nikola Bilčar, dipl. inž.  
 mr. Slavko Alerić, dipl. inž.  
 mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.  
 Ivica Posavec, teh.

Završeno u srpnju 1989. godine.

Dio Idejnog rješenja retencije/akumulacije Drežničkog polja koji je obraden u ovome radu odnosi se na razmatranje različitih varijanti izgradnje, proračuna energetske doprinosa svake razmatrane varijante, uklapanje u elektroenergetski sistem Hrvatske i određivanje efekata te valorizacija tih efekata. Nakon ovako sveobuhvatne analize, uz pretpostavljene ulazne podatke moguće je bilo odabrati najpovoljniju varijantu izgradnje retencije/akumulacije Drežničkog polja.

Opseg: 49 stranica teksta i tablica.

### **Akumulacijsko jezero Kosinj s hidroelektranom Kosinj i hidroelektranom Otočac** Idejni projekt energetske-ekonomske analize

**Naručilac:** Elektroprojekt, Zagreb

**Autori:** mr. Slavko Alerić, dipl. inž.  
 Nikola Bilčar, dipl. inž.

**Suradnici:** Neda Komerički, ek.  
 Ivica Posavec, teh.

Završeno u lipnju 1989. godine.

Nakon izabranih parametara o veličini akumulacijskog bazena i veličini izgradnje HE Kosinj i HE Otočac potrebno je bilo u sklopu ovoga rada provesti elektroenergetske analize. Naime, navedeni parametri nisu se određivali kroz analizu prilika u elektroenergetskom sistemu, već su objekti promatrani izolirano. Međutim, analiza prilika u elektroenergetskom sistemu ovih objekata s ovakvim parametrima pokazala je da se radi o rentabilnim objektima, makar se ne zna da li su to i najpovoljniji parametri s obzirom na elektroenergetski sistem.

Opseg: 19 stranica teksta, 13 tablica i 3 slike.

### **HE Krčić Gornji** Energetske-ekonomske dio

**Naručilac:** Elektroprojekt, Zagreb

**Autori:** mr. Slavko Alerić, dipl. inž.  
 mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.  
 Neda Komerički, ek.  
 Ivica Posavec, teh.  
 Mara Morić, teh.

Završeno u ožujku 1990. godine.

U ovom dijelu projektne dokumentacije HE Krčić Gornji su na suvremeni način određeni osnovni parametri. Usporna kota odnosno volumen akumulacijskog bazena, veličina izgradnje i dužina tunela bili su predmet proračuna u ovome radu. Između nekoliko varijanti energetske korištenja rada Krčića na stepenici HE Krčić Gornji, odabrana je najpovoljnija. Bonitet ili parametar povoljnosti bila je relativna energetske-ekonomska vrijednost u kojem su sadržane praktički sve karakteristike kako promatranog objekta tako i elektroenergetskog sistema.

Opseg: 54 stranice, tablice i 10 slika.

### **Crpna stanica Potkobiljak** Idejni projekt energetske-ekonomske analize

**Naručilac:** Elektroprivreda Dalmacije, OOUR  
 Projektni biro, Split

**Autori:** mr. Slavko Alerić, dipl. inž.  
 mr. Luka Staničić, dipl. ek.

**Suradnici:** mr. Miljenko Bradarić, dipl. inž.  
 Neda Komerički, ek.  
 Ivica Posavec, teh.



Završeno u rujnu 1989. godine.

Dio Idejnog projekta CS Potkobiljak koji je obraden u ovome radu jest sljedeći: prikaz hidroenergetskog sistema HE Vinodol, povećanje moguće proizvodnje na tom sistemu, prikaz podataka elektroenergetskog sistema Hrvatske, elektroenergetske bilance, valorizacija energetske doprinosa te ekonomska obrada. Provedeni energetske-ekonomski proačuni pokazuju da je CS Potkobiljak rentabilno postrojenje jer se njegovom izgradnjom povećava proizvodnja električne energije u HE Vinodol više nego što su troškovi njegove izgradnje. Ili, bolje reći, pozitivni efekti (koristi) CS Potkobiljak veći su od troškova izgradnje.

Opseg: 23 stranice teksta, 9 tablica i 1 slika.

**Osnove racionalne politike cijena energije**

Naručilac: Republički komitet za energetiku, industriju, rudarstvo i zanatstvo, Zagreb

Autori: Nikola Bilčar, dipl. inž.  
Marijan Magdić, dipl. ek.  
Lada Jurišić, dipl. ek.

Završeno u prosincu 1989. godine

Na temelju prezentiranih podataka o kretanju cijena pojedinim oblicima energije u zemljama s tržišnom privredom traženi su osnovni i određivani okviri za uspostavljanje cijena energije u nas, a također za tržišne prilike koje su sastavni dio reforme, vodeći brigu o našim specifičnostima uz pretpostavljanje nekih elemenata energetske politike u zemlji.

Opseg studije: 26 stranica teksta, 2 slike.

## STUDIJ RAZDJELNIH NISKONAPONSKIH, VISOKONAPONSKIH MREŽA I PROJEKTIRANJE

**Provedba uzemljenja zvjezdišta 10 kV mreže napajane iz TS 35/10 kV »Blato«**

Naručilac: »Elektrojug«, Dubrovnik

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 osnovi kojih su napravljeni svi potrebni proračuni u mreži. Detaljno su obradeni 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: 80 stranica.

Autor: dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.

Suradnik: Duda Meštović, el. teh.

U studiji je razmotrena mreža 35 kV koja će se napajati iz TS 110/35 kV »Nin«. Predloženo je rješenje za provedbu uzemljenja zvjezdišta. Izvršeni su svi potrebni proračuni, te su dane smjernice za podešavanje relejne zaštite.

Opseg: 11 stranica.

**Provedba uzemljenja zvjezdišta 10 kV mreža napajanih iz TS 35/10 kV »Kardeljevo«, TS 35/10 kV »Brist«**

Naručilac: »Elektroploče«, Kardeljevo

Autori: dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
mr. Božidar Filipović, dipl. inž.

Suradnik: Duda Meštović, el. teh.

U studiji definirani su kriteriji za izbor veličine otpornika za uzemljenje zvjezdišta. Predložena su optimalna rješenja za provedbu uzemljenja zvjezdišta na osnovi kojih su napravljeni svi potrebni proračuni u mreži. Detaljno su obradeni principi relejne zaštite u uvjetima uzemljenog zvjezdišta. Dani su prijedlozi za dopunu postojeće opreme i 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: 84 stranice sa slikama i shemama.

**Uzemljenje zvjezdišta distributivnih mreža — preliminarni radovi**

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autori: dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
mr. Božidar Filipović, dipl. inž.

Suradnik: Duda Meštović, el. teh.

U elaboratu su analizirane sve 10(20) kV mreže u distributivnim organizacijama SR Hrvatske, te su utvrđene visine kapacitivnih struja zemljospoja u tim mrežama. Budući da je visina te struje kriterij za provedbu uzemljenja zvjezdišta, sve pojne TS 110/10 i 35/10 kV su analizirane sa tog aspekta. Pritome je uvažena visina kapacitivne struje, te vlasništvo (RO i OOUR). Utvrđeno je da kapacitivna struja zemljospoja prelazi graničnih 20 A u čak 148 TS 110/10 i 35/10 kV. Također je izvršena procijena potrebnih investicija za provedbu uzemljenja zvjezdišta u Hrvatskoj.

Opseg: 22 stranice.

**Uzemljenje 20 kV mreže napajane iz TS 110/20 kV »Nin«**

Naručilac: »Elektra«, Zadar

Autori: dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
mr. Božidar Filipović, dipl. inž.

Suradnik: Duda Meštović, el. teh.

U studiji definirani su kriteriji za izbor veličine otpornika za uzemljenje zvjezdišta. Predložena su optimalna rješenja za provedbu uzemljenja zvjezdišta na osnovi kojih su napravljeni svi potrebni proračuni u mreži. Detaljno su obradeni principi relejne zaštite u uvjetima uzemljenog zvjezdišta. Dani su prijedlozi za dopunu postojeće opreme i smjernice za provjeru uzemljivača TS 20/0,4 kV.

**Uzemljenje 35 kV mreže napajane iz TS 110/35 kV »Nin«**

Naručilac: »Elektra«, Zadar

Svi podaci o 10(20) kV mreži arhivirani su za daljnju upotrebu u tehničkoj bazi podataka Instituta za elektroprivredu.

Opseg: 75 stranica.

### Programski paket IENNM/ELPR za projektiranje NN-mreža

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autori: mr. Ernest Mihalek, dipl. inž.  
dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
Lahorko Wagmann, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1989. godine.

U nastavku rada na Uputama za projektiranje NN-mreža načinjen je programski paket za projektiranje, koji se sastoji od dva dijela:

1. IENNM — za obradu energetskeg dijela, izbor transformatora, broja i presjeka vodiča strujnih krugova kao i nazivne struje osigurača,
2. ELPR — za proračun tokova snaga i gubitaka napona i provjeru mjera zaštite u NN-mreži.

Programski paket omogućuje proračun svih oblika složenog konzuma i na bazi toga minimalnih parametara NN-mreže koji se provjeravaju u 2. dijelu.

Podaci o unesenim mrežama trajno se čuvaju, pa program ima i opciju »Ažuriranje« kojom se obrađuju postojeće mreže i omogućuje projektiranje rekonstrukcija. Nadalje se ovom opcijom mogu jednostavno služiti i energetičari u distribuciji koji, na osnovi adekvatnih potražnji novih potrošača ili povećanja angažirane snage, mogu dotičnu mrežu provjeriti i odlučiti o davanju elektroenergetske suglasnosti.

Programski paket razvijen je za PC XT ili AT računalo u CLIPPER-u, a dio u FORTRANU. Prilikom preuzimanja stranka ili kupac dobiva EXE-verziju programa. U datoteke programa uneseni su svi relevantni podaci s mogućnošću izbora parametara mreže prema zahtjevima naručioca, a na poseban zahtjev to se može još proširiti.

### Upute za projektiranje distributivnih NN-mreža

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autori: mr. Ernest Mihalek, dipl. inž.  
mr. Božidar Filipović, dipl. inž.  
dr. Srđan Žutobradić, dipl. inž.  
Dasenko Baldasari, dipl. inž.  
mr. Rihard Schenner, dipl. inž.  
mr. Mirjana Rimac, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1989. godine.

Ovim radom izvršeno je kompletiranje Uputa za projektiranje time što su u osnovi dodane upute za elektroenergetsko dimenzioniranje NN distributivnih mreža. U tom smislu prikazan je način izbora normativa opterećenja, proračun opterećenja kod homogenog i složenog konzuma, izbor nazivne snage transformatora 10(20)/0,4 kV, presjeka vodiča i nazivne struje osigurača. U obzir je uzeta i vremenska komponenta dimenzioniranja. Upute za obradu zaštitnih mjera integrirane su u ovaj kompletirani elaborat (vidi: Rad Instituta za elektroprivredu u 1988. godini, »Energija« 4/1989.).

Osim toga, u I. dijelu elaborata obrađeno je još i sljedeće:

- postupak planiranja NN-mreže
- sadržaj tehničke dokumentacije (projekta) NN-mreže.

Predloženo je ukupno 9 tipova sadržaja (nove, rekonstruirane i interpolirane mreže u kabelskoj, SKS i goloj izvedbi), što je detaljno elaborirano.

U prilogu ovog dijela elaborata dan je još popis zakona i pravilnika za projektiranje, kao i potrebnih JUS-ovih i ostalih standarda i tipizacija. Ostali prilozi u obliku tablica i dijagrama nužna su podrška za projektiranje.

U II. dijelu elaborata prikazani su, prema razrađenim sadržajima, ogledni primjeri projekata u kojima su detaljnije razrađeni (ovisno o tipu projekta):

- energetske-tehnički dio (s tehničkim opisom i primjerima proračuna)
- ekonomski dio s detaljnim specifikacijama i podjelom;
- popis potrebnih nacrti.

Opseg: I. dio: 90 stranica, 23 stranice tabela, 11 stranica slika, 26 stranica tipskih sadržaja tehničke dokumentacije NNM; II. dio: 175 stranica.

### Kompenzacija jalovih snaga u električnoj mreži OOUR-a »Elektroneretva« Metković

Naručilac: RO »Elektrodalmacija«, Split  
OOUR »Elektroneretva«, Metković

Autor: mr. Željko Rajić, dipl. inž.

Završeno u listopadu 1989. godine

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 »Elektroneretva« Metković 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 u TS 10/0,4 kV ugradi 25 baterija nazivne snage po 50 kVAR. Prema cijenama aktualnim na dan 15. 9. 1989. ukupna investicija iznosi oko 58 000 konvertibilnih dinara, a postignute uštede oko 223 000 konvertibilnih dinara godišnje. Dakle, opravdanost ulaganja u uređaje čiji je vijek trajanja 12 do 15 godina je evidentna.

Opseg: 76 stranica sa 37 slika, 21 tablicom i dodatnim listinzima.

### Kompenzacija jalovih snaga u električnoj mreži OOUR-a »Elektroploče« Kardeljevo

Naručilac: RO »Elektrodalmacija«, Split  
OOUR »Elektroploče«, Kardeljevo

Autor: mr. Željko Rajić, dipl. inž.

Završeno u listopadu 1989. godine

Elaboratom je utvrđeno da na području električne mreže OOUR-a treba instalirati jednu bateriju od 600 kVAR na naponu 10 kV i 20 baterija po 50 kVAR na niskom naponu. Prema cijenama od 15. 9. 89. investicijski troškovi iznose oko 126 000 konvertibilnih dinara, a godišnje uštede oko 300 000 konvertibilnih dinara. Vijek trajanja uređaja je od 12 do 15 godina.

Opseg: 60 stranica sa 31 slikom, 17 tablica i dodatnim listinzima.

### Kompenzacija jalovih snaga u električnoj mreži OOUR-a »Elektrocetina« Omiš

Naručilac: RO »Elektrodalmacija«, Split  
OOUR »Elektrocetina«, Omiš

Autor: mr. Željko Rajić, dipl. inž.

Završeno u studenom 1989. godine.

Studijom je definirano da u električnoj mreži OOUR-a »Elektrocetina« Omiš treba ugraditi jednu bateriju od 600 kVAR na Naponu 10 kV i 19 baterija po 50 kVAR na niskom naponu. Ulaganja se isplate za manje od godinu dana.

Opseg: 64 stranice sa 31 slikom, 19 tablica i dodatnim listinzima.

### Kompenzacija jalovih snaga u električnoj mreži OOUR-a »Elektrobiokovo« Makarska

Naručilac: RO »Elektrodalmacija«, Split  
OOUR »Elektrobiokovo«, Makarska

Autor: mr. Željko Rajić, dipl. inž.

Završeno u prosincu 1989. godine.

Elaboratom je utvrđen prijedlog da se u električnoj mreži OOUR-a instaliraju na 10 kV naponu 4 baterije po 600 kVAR i 6 baterija nazivne snage 50 kVAR na niskom naponu. Ulaganja se vrte za manje od godinu dana. Ukupna financijska dobit koja se tako ostvaruje u 15-godišnjem razdoblju trajanja kompenzacijskih uređaja, ne računajući efekte rasterećenja mreže i poboljšanja naponskih prilika te svedena na sadašnju vrijednost i prema cijenama od 15. 9. 1989. iznosi oko 3 221 000 konvertibilnih dinara.

Opseg: 53 stranice sa 23 slike, 18 tablica i dodatnim listinzima.

**Programiranje na elektroničnom računalu poslovne funkcije planiranja i praćenja investicijske izgradnje**

Naručilac: »Distribucija«, Split

Autor: Rudolf Šimunec, el. teh.

Planiranje i praćenje investicijske izgradnje u elektrodistribuciji jedna je od aktivnosti koju karakterizira velik broj objekata, aktivnosti i sudionika. Zbog pojave velikog broja podataka i informacija u raznim kombinacijama praćenje te aktivnosti vrlo je složeno, što uzrokuje potrebu sustavne obrade na elektroničkom računalu. Takva obrada zahtijeva bazu podataka i programe koji omogućuju rad sa bazom.

Zadatak je obavljen u dva dijela. Prvi dio karakterizira primjenljivost bez obzira na vrstu računala, a rezultat je analize poslovne funkcije i analize podataka. To je opis baze podataka izraden u jeziku SQL. Drugi dio su korisnički alati izradeni za relacijsku bazu ORACLE (SQL\*FORMS ekrani i SQL\*PLUS uputi i izvještaji) iako se kao model mogu koristiti i za baze drugih proizvođača. Naručilac raspolaže bazom podataka CA UNIVERSE na računalu IBM. Pri izradi poslovne funkcije na njegovu računalu u potpunosti je korišten model izraden za ORACLE.

Opseg: 170 stranica opisa, slika ekrana i primjera.

**Prijenos podataka »Distribucije« Split i modela baze podataka elektrodistributivne mreže sa računala VAX 8300 Instituta na računalo IBM »Distribucije« Split**

Naručilac: »Distribucija«, Split

Autor: Rudolf Šimunec, el. teh.

Na računalu VAX 8300 Instituta već duže vrijeme postoji baza podataka elektrodistributivne mreže izradene po vlastitom modelu i vođene vlastitim programskim alatima. Podaci se vode po svim OOUR-ima elektrodistributivnih organizacija SRH.

Za potrebe naručitelja izvršeno je snimanje podataka za njegovo područje na magnetske trake. Zatim je uz asistenciju autora na računalu IBM i RDBM CA UNIVERSE izradena organizacija podataka i osnovna programska podrška prema modelu baze Instituta, te izvršen prijenos podataka s traka u RDBM CA UNIVERSE.

**Program za izradu godišnjeg plana bilance nabave, proizvodnje i prodaje električne energije u distribuciji SR Hrvatske**

Naručilac: ZEOH, Zagreb

Autor: Rudolf Šimunec, el. teh.

Suradnja: Komisija za elektroenergetsko bilanciranje u distribuciji

Za potrebe ZEOH odnosno ROa distribucije SRH svake godine izrađuje se plan bilance nabave, proizvodnje i prodaje električne energije. Plan se izrađuje prema usvojenim obrascima DBG-1 – DBG-4 po mjesecima na razini republike i pojedinih RO. Dosada je to radilo više ljudi bez pomoći računala i često po neujednačenim kriterijima i neusuglašenim podacima.

Autor je za potrebe zadatka izradio bazu podataka i program koji vrši proračun bilance. Program koristi bazu podataka, a radi po algoritmu koji je usuglašen sa stavovima Komisije za bilanciranje. Izlazni rezultati programa priredeni su u obliku navedenih obrazaca.

**STUDIJSKA RADNA JEDINICA ZA TERMOENERGETSKE SISTEME****Analiza stanja magistralnog parovoda od TE-TO do Pivovare**

Naručilac: Elektroslavonija, Osijek

Autor: dr. Dubravko Matanić, dipl. inž. stroj.

Završeno 1989. godine.

Provedena je analiza stanja magistralnog parovoda na potezu TE-TO Osijek (Z. Polje) do Pivovare, analizirani su uzroci neregularnog ponašanja i stanja parovoda, te su predložena moguća rješenja i putovi za provođenje sanacije parovoda i povećanja sigurnosti eksploatacije.

Opseg: 42 stranice, 15 slika i dijagrama.

**Pregled i analiza stanja opskrbe ogrjevnom toplinom kabela u Interkontinentalu**

Naručilac: Intercontinental

Autor: dr. Dubravko Matanić, dipl. inž. stroj.  
Marijan Sarajlija, dipl. teh.

Završeno 1989. godine.

Analizirana je problematika opskrbe toplinskom i tehnološkom energijom hotela »Intercontinental« te je na bazi stanja kotlovskih postrojenja i potreba za obnavljanjem postrojenja izvršena komparativna analiza za rješenje opskrbe hotela toplinskom energijom iz vlastitih izvora ili iz centraliziranog toplinskog sistema uz određivanje isplativosti pojedinih rješenja.

Opseg: 29 stranica, 4 slike i dijagrama.

**Program ispitivanja i ocjena stanja blokova I i II u TE-TO Zagreb**

Naručilac: Elektroprivreda Zagreb OOUR TE-TO, Zagreb

Autor: mr. Hrvoje Kunaj, dipl. inž. stroj.

Završeno u svibnju 1989. godine.

TE-TO Blokovi I i II, instaliranog kapaciteta  $2 \times 32$  MWe i toplinskog učinka 80–200 t/h pare nalaze se stalno u pogonu od 1962. god. i ostvarili su 180 000 sati pogona, što je granica tehničko predviđenog životnog vijeka pogona.

Svrha studije je bila izrada programa cjelovitog ispitivanja stanja opreme radi dobivanja jasne slike o ukupnom stanju postrojenja. Tako dobivene informacije bit će podloga za sagledavanje opsega revitalizacije postrojenja i ocjenu ekonomske isplativosti investicije u revitalizaciju.

Opseg: 65 stranica, 9 slika i priloga.

**Pregled rezultata ispitivanja cijevi generatora pare u NE Krško — ISI '86, '87 i '88**

Naručilac: NE Krško

Autori: Darko Barilar, dipl. inž. stroj.  
Marino Balog, dipl. inž. stroj.

Završeno u kolovozu 1989. godine.

U radu su sistematizirani podaci ispitivanja cijevnog snopa generatora pare za 1986, 1987. i 1988. godinu, s mogućnošću daljnjeg proširenja baze podataka. Ovakav način vođenja baze podataka olakšao je praćenje stanja cijevnog snopa generatora pare u NE Krško.

Opseg: 49 stranica teksta i tablica.

**Prethodna studija o utjecaju na okolinu TE-TO Resnik**

Naručilac: Elektroprivreda Zagreb, RZ »Zajednički poslovi«

Autori: Darko Barilar, dipl. inž. stroj.  
Miroslav Juretić, dipl. inž. stroj.  
Ljiljana Aleksić, dipl. inž. građ.  
Boris Štajer, dipl. inž. građ.  
Marijan Zelić, dipl. inž. građ.  
Dr. Niko Malbaša, dipl. inž. stroj.  
Mr. Zdravko Mužek, dipl. inž. stroj.  
Mr. Ivan Zorko, dipl. inž. kemije  
Goran Jerbić, dipl. inž. el.  
Marijan Sarajlija, dipl. tehn. stroj.

Završeno u lipnju 1989. godine.

Studija obrađuje utjecaj na okolinu novog kondenzacijsko-oduzimnog bloka na lokaciji Resnik. Obradene su meteorološke, geološke, hidrološke karakteristike užeg i šireg područja lokacije, kvaliteta površinskih i podzemnih voda. Prikazani su podaci o stanovništvu i naseljima, te o zaštićenim prirodnim i od čovjeka stvorenih vrijednostima. Uz razloge izgradnje predložen je i razvod toplinskog konzuma.

Mogući utjecaji na okolinu obrađeni su u svim aspektima tehnološkog ciklusa, a naročito računskim modelima u domeni onečišćenja zraka i površinskih voda.

Opseg: 158 stranica teksta i tablica, 13 stranica slika, 13 priloga.

**Prostorno-planerske podloge, istraživanja i ocjena podobnosti lokacija za termoelektrane i nuklearne objekte na prostoru SR Hrvatske (dio studije)**

Naručilac:

Autori: dr. Niko Malbaša, dipl. inž.  
Zoran Kisić, dipl. inž.  
Željko Postružin, dipl. inž.

Završeno u svibnju 1989. godine.

Obradene su tehničke karakteristike objekta za koje se traži uključanje u Prostorni plan Hrvatske (nuklearna elektrana 2 × 1000 MW) termoelektrana na uvozni ugljen 2 × 350 MW i odlagalište RAD srednje i niske aktivnosti). Dan je i pogled regulative, te prijedlog kriterija za izbor lokacije iz domene tehničkih i sigurnosnih parametara.

Opseg: 59 stranica.

**Završni izvještaj o ispitivanju i analizi stanja cijevnog sistema kotla TE Plomin 1 (ispitivanja 1988. godine)**

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka  
OOUR TE Plomin 1

Autor: Vladimir Bradač, dipl. inž.

Završeno u lipnju 1989. godine.

Ispitivanja cijevnog sistema kotla TE Plomin 1 provode se radi utvrđivanja stanja i ocjene preostalog životnog vijeka pojedinih dijelova cijevnog sistema. Takva se ispitivanja provode već niz godina u toku redovnih godišnjih remontnih obustava vodeći računa da svi vitalni dijelovi tlačnog sistema kotla budu ispitani u približno jednakim intervalima. Koriste se uobičajene metode ispitivanja bez razaranja, vizualni pregledi i laboratorijska ispitivanja uzoraka uzetih iz kritičnih područja cijevnog sistema kotla.

Opseg: oko 200 stranica teksta, slika, crteža, tablica i ispitnih lista.

**Završni izvještaj o ispitivanju i analizi stanja elemenata parovoda i napojnog cjevovoda TE Plomin 1 (ispitivanja 1988. godine)**

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka  
OOUR TE Plomin 1

Autori: Vladimir Bradač, dipl. inž.  
Marino Balog, dipl. inž.

Završeno u lipnju 1989. godine.

U elaboratu su prikazani rezultati ispitivanja elemenata parovoda i napojnog cjevovoda TE Plomin 1. Ispitivanja su provedena bezrazornim metodama, a imala su za svrhu ocjenu stanja elemenata tih cjevovoda i preporuke za daljnji siguran pogon. Osim ispitivanja na samoj elektrani, provedena su i laboratorijska ispitivanja strukture materijala, kao i proračun stupnja iscrpljenja materijala odnosno ostatnog životnog vijeka.

Opseg: oko 120 stranica teksta, tablica, crteža i ispitnih lista.

**Analiza podložnosti cijevnih sistema sekundarnog dijela NE Krško pojavi korozije/erozije s prijedlogom mjera za praćenje stanja**

Naručilac: NE Krško

Autori: Vladimir Bradač, dipl. inž.  
Mato Cvitanović, dipl. inž.  
Vladimir Martinec, dipl. tehn.  
Stjepan Jurić-Marijanović, dipl. tehn.

U elaboratu su analizirani uvjeti koji pospješuju proces korozije/erozije cjevovoda kao što su: radni medij, radna temperatura, materijal cjevovoda, brzina i uvjeti strujanja i slično. Na primjeru glavnih sekundarnih sistema NE Krško prikazan je način kvantifikacije tih utjecaja odnosno rangiranja dijelova cijevnih sistema s obzirom na podložnost pojavi korozije/erozije. Uzimajući u obzir i rezultate dosada provedenih mjerenja predložen je plan i program ispitivanja kritičnih dijelova cjevovoda radi utvrđivanja stanja i pravodobnog sprečavanja neželjenih posljedica do kojih može dovesti pojava korozije/erozije.

Opseg: 42 stranice teksta, tablica i crteža.

**Završni izvještaj o ispitivanju strojarske opreme NE Krško tijekom sedme izmjene goriva (1989. godina)**

Naručilac: NE Krško

Autori: Vladimir Bradač, dipl. inž.  
Ratko Vojvodić, dipl. inž.  
Zdravko Pleša, dipl. tehn.

Završeno u prosincu 1989. godine.

Kao i tokom svih proteklih šest izmjena goriva u HE Krško, tako je i prilikom ove sedme obavljeno ispitivanje vitalne strojarske opreme radi provjere stanja i održavanja sigurnosti pogona na zahtijevnom nivou. Rezultati ispitivanja sa komentarom i ocjenom stanja su sadržani u ovom izvještaju.

Opseg: 390 stranica teksta, kompjuterskih ispisa, crteža i ispitnih lista.

**Završni izvještaj o ispitivanju strojarske opreme NE Krško tijekom šeste izmjene goriva (1988. godina)**

Naručilac: NE Krško

Autori: Vladimir Bradač, dipl. inž.  
Ratko Vojvodić, dipl. inž.  
Zdravko Pleša, dipl. inž.

Završeno u siječnju 1989. godine.

Elaborat predstavlja završni izvještaj s komentarom i rezultatima ispitivanja strojarske opreme NE Krško tijekom šeste izmjene goriva. Ispitivanja vitalne opreme NE Krško u smislu utvrđivanja njihova stanja i sposobnosti za nastavak sigurnog pogona provode se prema posebno u tu svrhu pripremljenom programu u toku svake godišnje obustave elektrane radi izmjene goriva i remontnih radova. Ispitivanja se provode na dijelovima pod tlakom i njihovim osloncima, pri čemu se koriste metode bez razaranja kao što su ultrazvučno ispitivanje, ispitivanje magnetskim česticama i tekućim penetrantima su vizualni pregledi.

Opseg: 368 stranica teksta, kompjuterskih ispisa, crteža i ispitnih lista.

**Sustav za optimiranje energetske strukture urbanih sredina ENOPUS 2 verzija 2, priručnik za primjenu**

Naručilac: Toplifikacija, Skopje

Autor: mr. Vladimir Jelavić

Završeno u kolovozu 1989. godine.

Na temelju metode za usmjeravanje energetske opskrbe urbanih sredina razvijene u Institutu za elektroprivredu izrađen je programski sustav ENOPUS 2. Radi se o poboljšanoj verziji sustava ENOPUS 1 koji je već bio primijenjen za optimiranje energetske opskrbe grada Zagreba, Siska i Sarajeva. Sustavom ENOPUS se uz pomoć metode linearnog programiranja određuju vrste energenata i uređaja za sve energetske potrošače na području grada tako da uz zadovoljavanje prisutnih ograničenja (infrastruktura, zagađenje itd.) troškovi opskrbe budu minimalni.

Opseg: oko 90 stranica, 25 tablica, 16 slika.

**Sigurnosni aspekti lokacije za NE Slavonija**

Naručilac: Elektroslavonija, Osijek

Autori: 19 autora iz 5 institucija, od toga 8 iz IE

Koordinator: dr. Niko Malbaša, dipl. inž.

Završeno u rujnu 1989. godine.

Studija je izrađena na temelju postojećih podataka s područja lokacije, te na osnovi pojedinih detaljnijih istraživanja što su provedena od 1980. godine. Ona predstavlja kompilaciju, reviziju i dopunu, te sistematizaciju dosadašnjih radova što su citirani ispred svakog poglavlja. Neki radovi osim nužnih skraćenja nisu bitnije mijenjani, a neki su pretrpjeli bitne promjene uglavnom zbog kvalitetnijih podataka što su u međuvremenu postali raspoloživi, zbog promjene u regulativi ili zbog nekih drugih razloga.

Knjiga I sadrži osnovne podatke i informacije, te prikaz geoloških, seizmoloških, seizmotektonskih i geotehničkih istraživanja.

Opseg: oko 150 stranica + prilozi.

**Pregled i analiza dosadašnjih istraživanja lokacije za nuklearnu elektranu na otoku Viru**

Naručilac: Elektroprivreda Dalmacije, Split

Autori: dr. Niko Malbaša, dipl. inž.  
mr. Mladen Petrićec, dipl. inž.  
mr. Damir Subašić, dipl. inž.

Završeno u svibnju 1989. godine.

U manje-više kontinuiranom slijedu provodila su se od 1970. godine istraživanja na potencijalnoj lokaciji za nuklearnu elektranu na otoku Viru. U studiji je napravljena analiza tih radova s aspekta suvremene prakse i regulative, utvrđeni nedostaci i propusti, te propisani nužni dodatni radovi.

Opseg: oko 220 stranica.

**Prethodna studija o utjecaju NE Slavonija na okolinu**

Naručilac: Elektroslavonija, Osijek

Autori: 21 autor iz 3 institucije, od toga 14 iz IE

Koordinator: dr. Niko Malbaša, dipl. inž.

Završeno u kolovozu 1989. godine.

Radi se o četvrtoj knjizi PSUO, koja uključuje analizu programa mjerenja i monitoringa u okolini, te analizu alternativa predloženom objektu.

Opseg: oko 120 strana + prilozi.

**Izbor kriterija za čepljenje cijevi generatora pare NEK**

Naručilac: NE Krško

Autori: mr. Berislav Nadinić, dipl. inž.  
Nikola Jakšić, dipl. inž.  
Zlatko Varaždinec, dipl. inž.

Završeno u lipnju 1989. godine.

Studija Izbor kriterija čepljenja cijevi generatora pare u NE Krško sadrži sljedeće:

- pregled svjetske regulative na polju kriterija čepljenja cijevi generatora pare
- osnovne principe definiranja novih kriterija čepljenja u NE Krško
- u okviru studije je razvijena posebna metoda (tzv. IE metoda) vjerojatnosno statistička za predikciju broja začepljenih cijevi za proizvoljno definiran budući interval vremena
- na temelju vlastitih iskustava i rezultata IE metodom kao i studije BELGA-TOM-a (eksperimentalni rezultati) dani su u obliku preporuke novi kriteriji čepljenja cijevi generatora pare u NE Krško.

**Analiza stanja cijevi kondenzatora TE Plomin 1 (remont '88)**Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka  
OOUR TE Plomin 1

Autori: Mijo Martinko, dipl. inž.  
Zdravko Pleša, tehn.

Završeno u travnju 1989. godine.

Za vrijeme redovnog godišnjeg remonta TE Plomin 1 i u 1988. godini provedena su ispitivanja kondenzatorskih cijevi metodom vrtložnih struja. Rezultati ispitivanja obrađeni su u završnom elaboratu. Osim toga izvršena su laboratorijska ispitivanja pet izvedenih kondenzatorskih cijevi na osnovi čega su potvrđeni rezultati ispitivanja vrtložnim strujama te je utvrđen dominantni tip oštećenja koji se pojavljuje na kondenzatorskim cijevima. U elaboratu su izdane i preporuke za daljnja praćenja stanja cijevi kondenzatora, kao i preporuke za korektivne akcije na cijevima koje imaju veću dubinu oštećenja i koje mogu dovesti do propuštanja cijevnog snopa kondenzatora.

Opseg: 165 stranica.

**Izvještaj o ispitivanju strojarske i hidromehaničke opreme HE Senj i HE Sklope**Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka  
HE Senj i Sklope

Autor: Mijo Martinko

Suradnici: Vladimir Martinec  
Stjepan Jurić-Marijanović

Završeno u travnju 1989. godine.

Tijekom redovnog godišnjeg remonta HE Senj i HE Sklope provedena su bezrazorna ispitivanja dijela strojarske i hidromehaničke opreme. Radi utvrđivanja stanja opreme korištene su sljedeće bezrazorne metode ispitivanja: vizualni pregled, penetrantska ispitivanja, ispitivanja magnetskim česticama, metoda vrtložnih struja, metoda zasjecanja AKZ-sitna, ultrazvučna metoda te boroskopski pregled. Ispitivanjem je bila obuhvaćena slijedeća oprema: međupolne veze rotora generatora HE Senj, rasklopno postrojenje 110 kV i 220 kV HE Senj, tlačni cjevovod HE Senj, razdjelni cjevovod HE Senj, te hidromehanička oprema HE Sklope: Gušić polje, Šumečica, Gornja svica, Selište i Hrmotine. Na bazi rezultata ispitivanja izrađen je završni elaborat u kojem su prezentirani rezultati ispitivanja te je izdana ocjena stanja ispitanih dijelova opreme.

Opseg: 30 strana.

**Završni izvještaj o ispitivanju reaktorske posude NEK — ISI — '88**

Naručilac: NE Krško

Autor: Mato Cvitanović, dipl. inž.

Završeno u ožujku 1989. godine.

Ispitivanje reaktorske posude u NE Krško sastavni je dio praćenja ponašanja opreme u eksploataciji, te usporedbe trenutnog pogonskog stanja s tzv. početnim ili nultim stanjem. Ispitivanje je obavljeno najsuvremenijom opremom, i to zavarenih spojeva na posudi i priključcima pomoću ultrazvuka, a obavljen je i vizualni pregled unutrašnjosti posude specijalnim televizijskim kamerama. Cijeli proces ispitivanja automatiziran je s velikim stupnjem ponovljenosti i raspoloživosti, a prikupljanje i obrada podataka obavljena je uz potpunu programsku podršku kompjutorske opreme.

Opseg: 70 stranica.

### Sagledavanje graničnih mogućnosti izgradnje TE na području SAP Kosovo s aspekta prostornog plana

Naručilac: SOUR Elektroprivreda Kosovo, Priština

Autori: Zoran Kisić, dipl. inž.  
Ljiljana Aleksić, dipl. inž.  
Nevenko Hladki, dipl. inž.

Završeno u studenome 1989. godine.

U studiji su na temelju smjernica i podataka iz globalnog prostornog plana SAP Kosovo, dosadašnjih istraživanja, saznanja i predviđanja iz Prostornog plana područja posebne namjene REIS Kosova (u izradi), te specifičnih uvjeta za lokacije TE određene površine koje bi se nakon usklađivanja s prostorno-planerskim ograničenjima moglo koristiti za izgradnju TE na bazi velikih rezervi lignita. Pri određivanju tih potencijalnih područja vodila se briga ponajprije s gledišta upotrebe zemljišta o sljedećim ograničenjima i sadašnjim naseljima (odnosno područjima za njihovo proširenje, vrijednim poljoprivrednim i šumskim površinama, područjima zaštićene prirodne i kulturno historijske baštine, područjima i objektima posebne namjene (aerodromi, prometnice, ONO, industrija i dr.), te dijelom postojećim i planiranim površinskim kopovima lignita. Posebno su analizirane potrebe za vodom i mogućnosti njihova zadovoljenja, te procijenjene granične mogućnosti izgradnje TE s tog gledišta. Zaključno je određeno nekoliko potencijalnih područja za izgradnju TE (i to osam uz rub kosovskog lignitnog bazena i pet uz rub metohijskog) koja zadovoljavaju postavljena načelna prostorno-planerska ograničenja.

Opseg: 79 stranica, 2 slike, 3 nacrti.

### Određivanje konačne mogućnosti izgradnje energetskih izvora na lokaciji TE Plomin

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka

Autori: Zoran Kisić, dipl. inž.  
mr. Vladimir Jelavić, dipl. inž.  
mr. Zlatko Komerički, dipl. inž.  
Željko Postružin, dipl. inž.  
Ljiljana Aleksić, dipl. inž.  
Boris Štajer, dipl. inž.

Završeno u veljači 1989. godine.

U studiji se kompleksno sagledava prostor užeg i šireg područja lokacije Plomin, te ocjenjuje mogućnost izgradnje i uklapanja nove termoelektreane na uvozni ugljen u taj prostor, tj. na prostor postojećih TE Plomin i 1 i 2, poštujući pritom sva osnovna prostorna, tehnološka, ekološka i druga ograničenja koja im on postavlja. U zasebnim se poglavljima analiziraju osnovna koncepcija nove elektrane u dvije varijante snage, mogućnosti dopreme i skadištenja uvoznog ugljena, mogućnosti odlaganja šljake i pepela, koncepcija i mogućnosti realizacije rashladnog sistema, utjecaj na kvalitetu zraka, te mogućnosti opskrbe termoelektreane vodom. Rezultati studije pokazuju da je uz uvjet primjene odgovarajućih tehničkih rješenja i mjera zaštite okoline na promatranj lokaciji u načelu moguće smjestiti još jedan blok termoelektreane na uvozni ugljen, te se ukazuje na potrebe za određenim specifičnim istraživanjima kako bi se u najvažnijim aspektima pronašla optimalna rješenja.

Opseg: 157 stranica, 20 slika, 2 nacrti (list 29) prilozima.

### Analiza onečišćenja zraka u uvjetima konačne izgrađenosti na lokaciji TE Plomin

Naručilac: RO Elektroprivreda, Rijeka

Autori: mr. Vladimir Jelavić, dipl. inž.  
dr. Jure Ćurković, dipl. inž.  
Željko Postružin, dipl. inž.

Završeno u veljači 1989. godine.

Studija obrađuje analizu onečišćenja zraka za treći blok TE Plomin snage 210 MWe, koji bi koristio uvozni ugljen kao gorivo. U sklopu elaborata razmatran je utjecaj na zagađenje atmosfere okoline u uvjetima različitog režima rada svih triju blokova na lokaciji TE Plomin.

Opseg: 102 stranice, 15 slika, 35 tablica.

### Opravdanost rekonstrukcije turbine T-100/110–120-3 u TE-TO Zagreb

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autori: Miroslav Juretić  
Zlatko Komerički  
Miljenko Bradarić  
Neda Komerički

Rad razmatra opravdanost rekonstrukcije turbine radi omogućavanja poduzimanja pare 8 bar/230°C za tehnološke potrebe istočnog ?? Simulacijom prilika u toplinskom sistemu Zagreba i elektroenergetskom sistemu SRH u toku preostalog životnog vijeka bloka 3 u TE-TO utvrđena je opravdanost izvođenja ovog zahvata.

Opseg: 40 stranica teksta, 18 tablica, 5 slika.

### Optimalno dimenzioniranje vrelovodne mreže naselja Borovje u Zagrebu

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

RZ Zajednički poslovi  
Sektor toplinske djelatnosti

Autori: Miroslav Juretić  
Zlatko Komerički

U radu je izvršeno dimenzioniranje vrelovodne mreže u naselju Borovje. Ukupna toplinska snaga za grijanje i potrošnu toplu vodu iznosi 29,5 MW. Naselje će se opskrbiti toplinom iz TE-TO Zagreb, u neposrednoj blizini. Budući je na raspolaganju relativno velika razlika tlaka između polaznog i povratnog magistralnog voda, razvodnu mrežu trebalo je dimenzionirati tako da se ta razlika maksimalno utroši na trenje strujanja u cijevima uz uvjet da investicijski troškovi budu minimalni.

Opseg: 7 stranica teksta, 52 tablica, 22 slika.

### Prethodna studija o utjecaju na okolinu novih objekata u TE-TO Zagreb

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autori: Niko Malbaša  
Miroslav Juretić  
Zdravko Mužek  
Jure Ćurković  
Marijan Sarajlija  
Mladen Nadinić  
Željko Postružin

U radu se razmatra utjecaj na okolinu (zrak, površinske i podzemne vode, rijeku Savu, korištenje terena, seizmički uvjeti, buka, estetski utjecaji itd.) novih jedinica u TE-TO Zagreb:

- bloka 4 (oduzimno-kondenzacijski blok 208 MW — gorivo: ugljen, tekuće gorivo i zemni plin)
- vrelovodnog kotla V<sub>k</sub> 7 116 MJ/s (gorivo: tekuće i zemni plin)

Opseg: 126 stranica teksta, 76 tablica, 9 slika.

### Izveštaj o ispitivanju tlačnog cjevovoda u hidroelektrani »Boriša Kovačević« — Bogatići

Naručilac: »Turboinštitut«, Ljubljana

Autor: Vladimir Martinec, tehn.  
 Suradnici: Boris Popinjač, tehn.  
 Zdravko Pleša, tehn.  
 Stjepan Jurić-Marjanović, tehn.

Završeno u travnju 1989. godine

Usporedo s hidrodinamičkim ispitivanjima dviju instaliranih turbina koje je provodio »TURBOINSTITUT« provedena su ispitivanja i na privodnom tlačnom cjevovodu. Pregled i ispitivanja odnosila su se na vizualni pregled općeg stanja cjevovoda te stanja sidrenih blokova i podnih podupirača. Izvršeno je mjerenje debljina antikorozivne zaštite metalnog cjevovoda te stupanj međuslojnjog ili potpunog neprianjanja. Debljina stijenki cjevovoda kao i homogenost materijala kompenzatora toplinskih dilatacija utvrđena je ultrazvučnom metodom. Mjerenja vibracija tlačnog cjevovoda izvršena su pri radu samo jedne turbine te pri radu obje u paralelnom radu. Rezultati pregleda i ispitivanja dani u izvještaju praćeni su komentarom, ocjenom stanja te mišljenjem i preporukom za daljnju eksploataciju.

Opseg: 17 stranica s prilogima.

### Ocjena radova provedenih tokom remonta 1989. g. u NE Krško

Naručilac: Elektroinštitut »Milan Vidmar«, Ljubljana

Autori: Hrvoje Brkić, dipl. inž. sa grupom autora

Završeno u studenome 1989. godine

Na osnovi ovlaštenja Republičkog komiteta za energetiku, industriju i građevinarstvo SR Slovenije te zahtjeva Republičke uprave za nuklearnu sigurnost SR Slovenije ovlaštene institucije svake godine nadziru remont u NE Krško. stručnjaci IEZ su i 1989. godine proveli nadzor nad remontnim radovima koji su obuhvatili turbinu TA 662 MW, motore dizel-agregata 2 × 3,5 MW, kompresore, ventilatore te pumpe i ventile primarnog i sekundarnog kruga. Nakon uspješno završenog remonta izraden je izvještaj s ocjenom remontnih radova.

Opseg: 37 stranica.

### Prethodna investicijska studija: TE-TO Zagreb supstitucija blokova 2 × 32 MW, blok 4 – 190 MW

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autori: Mladen Nadinić, dipl. inž. sa grupom autora

Završeno u svibnju 1989. godine

Dva kondenzacijsko-oduzimna bloka TE-TO Zagreb, snage po 32 MW<sub>e</sub> izgrađena u prvoj fazi izgradnje (pušteni u pogon 1962. god.) dotrajala su i uvidjelo se da ih je potrebna obustaviti. Niz dosada provedenih studijskih radova upućuju na predvidivo daljnje povećanje parnog, vrelovodnog i strujnog konzuma, na raspoloživost prostora u TE-TO za izgradnju jednog kondenzacijsko-oduzimne snage cca 200 MW<sub>e</sub>, na povoljnost ove lokacije s obzirom na potrošače svih triju nabrojanih oblika energije na mogućnost korištenja zemnog plina kao osnovnog goriva te kamenog ugljena i mazuta kao rezervnog goriva. Prethodna investicijska studija je detaljnim analizama dokazala značajne komparativne prednosti izgradnje razmatranog novog bloka 190 MW<sub>e</sub> u odnosu na druga rješenja kako u pogledu investicijskih ulaganja tako i u pogledu troškova proizvodnje. Pritome su maksimalno prikvaćene mjere za zaštitu okoline.

Studija mjere za zaštitu okoline.

Studija je izrađena u zajednici sa Elektroprojektom Zagreb.

Opseg: 251 stranica + 24 slike.

### Ispitivanje postrojenja za otpremu pepela iz kotla bloka 300 MW u TE Ugljevik I

Naručilac: SOUR »Elektroprivreda BiH«, Sarajevo  
 RO Rudnik i termoelektrana, Ugljevik

Ispitivanje: Ekipe SJ za termoenergetske sisteme

Obrada: Stjepan Ivančić, dipl. inž.  
 Čedomir Selanec, dipl. inž.

Za otpremu pepela kotla bloka 300 MW u TE Ugljevik I služi odgovarajuće postrojenje koje transportira pepeo najprije iz sabirnih lijevaka elektrofiltera do silosa pepela, a zatim taj pepeo transportira u specijalne kamione kiperne koji ga odvoze do odlagališta pepela. Prvi dio transporta pepela od elektrofiltera do silosa je pneumatski i odvija se praktički kontinuirano, dok je dio transporta pepela od silosa u kamionu kiperne pneumatsko mehanički i teče diskontinuirano. Predmet ispitivanja bio je prvi dio postrojenja za otpremu pepela. Svrha ispitivanja je bila utvrđivanje stvarnih količina transportiranog pepela odnosno kapaciteta postrojenja radi provjere danih garancijskih vrijednosti. Ispitivanja su provedena u skladu s postupkom utvrđenim ugovorom između kupca i isporučioča postrojenja. Budući da se ispitivanje postrojenja za otpremu pepela provodilo istovremeno s ispitivanjem elektrofiltera odnosno kotla bloka, kontrolno utvrđivanje količine transportiranog pepela provedeno je iz bilance pepela kotla. O provedenim ispitivanjima izraden je izvještaj koji sadrži sve mjere i proračunske rezultate, kao i zaključak.

Opseg: 77 stranica i priloga.

### Ispitivanje postrojenja elektrofiltera bloka 300 MW u TE Ugljevik I

Naručilac: SOUR »Elektroprivreda BiH«, Sarajevo  
 RO Rudnik i termoelektrana, Ugljevik

Ispitivanje: Ekipe SJ za termoenergetske sisteme

Obrada: Stjepan Ivančić, dipl. inž.  
 Čedomir Selanec, dipl. inž.

Završeno u veljači 1989. godine.

Za čišćenje dimnih plinova kotlovske postrojenja (ložnog ugljenom prašinom sa suhim odvodom šljake) bloka 300 KW u TE Ugljevik I služe dva elektrofiltera identične. S obzirom na tok dimnih plinova elektrofilteri su paralelni. Ispitivanje cjelokupnog postrojenja elektrofiltera provedeno je radi utvrđivanja sadržaja prašine u izlaznim dimnim plinovima i stupnja otprašivanja elektrofiltera, te provjere odgovarajućih garancijsko-izvedebenih vrijednosti. Ispitivanja su provedena u skladu s propisima VDI 2066 »Leistungsmessungen an Entstaubern«. O provedenim ispitivanjima učinjen je završni elaborat, koji sadrži sve mjerne i proračunske rezultate ispitivanja kao i zaključak.

Opseg: 28 stranica (tekst + prilozi).

### Tehnički izvještaj s ispitivanja rashladnog tornja u TE Ugljevik I – blok 300 MW

Naručilac: SOUR »Elektroprivreda BiH«, Sarajevo  
 RO Rudnik i termoelektrana, Ugljevik

Ispitivanje: Ekipe SJ za termoenergetske sisteme

Obrada: Stjepan Ivančić, dipl. inž.  
 Čedomir Selanec, dipl. inž.

Završeno u ožujku 1989. godine.

Za kondenzaciju pare u TE Ugljevik I koristi se rashladna voda zatvorenog (optočno) kruga hladena u rashladnom tornju s prirodnom promjenom. U svrhu utvrđivanja rashladnog učina tornja, te provjere njegovih radnih karakteristika kako u odnosu na garancijsko-projektne vrijednosti, tako i na vrijednosti utvrđene ispitivanjem ovog tornja 1986. godine, provedena su odgovarajuća ispitivanja. Ispitivanja su provedena u skladu s propisima DIN 1947 »Leistungsversuche an Kühlturmen«, a o ispitivanjima izraden je završni elaborat, koji sadrži sve rezultate i zaključak.

Opseg: 30 stranica (tekst, tablice, slike, dijagrami, prilozi).

### Izvještaj o ispitivanju ukupne propusnosti kontejnmenta u NE Krško

Naručilac: Nuklearna elektrana, Krško

Autori: Stjepan Ivančić, dipl. inž.  
 mr. Berislav Nadinić, dipl. inž.

Završeno u studenome 1989. godine

Ispitivanje ukupnog propuštanja kontejnmenta reaktora NE Krško provedeno je u listopadu 1989. god., a u skladu s tehničkim specifikacijama iz konačnog izvještaja analize sigurnosti za NE Krško, kao i ostalim primjenjenim referencama. Zbog nepostojanja vlastite adekvatne regulative koja bi propisivala način provjere ukupnog propuštanja, kao i kriterije za njegovu prihvatljivost, zemlje isporučioa opreme, tj. američki regulativi. I ovim su prihvaćeni i američki standardi za provedbu ispitivanja ANSI/ANS. Provedbu svih pripremnih radova na postrojenju sistema kontainmenta provelo je osoblje NE Krško Institut za elektroprivredu Zagreb, proveo je obradu rezultata ispitivanja i pružio odgovarajuću asistenciju direktoru testa u toku provedbe ispitivanja, a na bazi iskustava skupljenih u toku provedbe ispitivanja sveukupnog propuštanja kontejnmenta NE Krško 1986. godine.

Na osnovi dobivenih rezultata proizlazi da je provedba ispitivanja ukupnog propuštanja, uključujući i konačne rezultate ukupnog propuštanja, zadovoljila sve kriterije prihvatljivosti određene za NE Krško.

Opseg: 24 stranice teksta i 81 stranica ispisa rezultata s računskog stroja, te odgovarajućih dijagramskih ovisnosti pojedinih karakterističnih veličina odnosno pokazatelja.

### **Završni izvještaj o osiguranju i kontroli kvalitete tokom izrade i montaže generatora br. 1 i 2 HE Dubrava (strojarski dio)**

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Obrada: Antun Eisenreich, dipl. inž. i  
Radnici studijske jedinice za termoenergetske sisteme

Završeno u lipnju 1989. godine.

Godine 1989. završio je šestogodišnji angažman Instituta za elektroprivredu na poslovima osiguranja i kontrole kvalitete u toku izrade i montaže generatora broj 1 i 2 za HE Dubravu.

U toku posljednje godine angažman izraden je završni izvještaj u kojem je sistematizirana i prezentirana kompletna dokumentacija koja je prikupljena u toku izrade i montaže generatora. Sreden i ocijenjen paket dokumentacije poslužio je naručitelju za potrebe tehničkog prijema elektrane i ishodenja uporabne dozvole od nadležne republičke institucije.

Opseg: knjiga 1–6 oko 1800 str.

### **Elaborat o utvrđivanju postojećeg tereta zagađenja i utjecaju TE Tuzla VI na životnu sredinu područja Tuzle**

Naručilac: RO TE Tuzla u Tuzli

Autori: mr. Vladimir Jelavić  
Željko Postružin  
Boris Štajer  
dr. Niko Malbaša  
Nevenko Hladki

Završeno u prosincu 1989. godine.

Ekološkim elaboratom promatrano je zagađenje zraka, vode i tla na području 40 km od TE Tuzla i utjecaj planirane TE Tuzla na okolinu. Posebno detaljno obrađeno je zagađenje zraka. Izraden je katastar emisije svih zagađivača, primijenjen model simulacije zagađenja, utvrđen doprinos pojedinih izvora i grupa izvora zagađenja zraka. Također je prikazano postojeće stanje kvaliteta voda i upozoreno na glavne probleme zagađenja površinskih i podzemnih voda. Superponirajući utjecaj planiranog bloka Tuzla VI na postojeće stanje definirane su mjere zaštite okoline koje bi trebalo primijeniti prije izgradnje i izgradnjom novog postrojenja.

Opseg: 245 stranica, 79 tablica, 53 slike.

### **Osnovni pokazatelj o sigurnosti i utjecaju na okolinu odlagališta radioaktivnog otpada niske i srednje aktivnosti**

Naručilac: NEK

Autori: mr. Vladimir Jelavić, dipl. inž.  
Zoran Kisić, dipl. inž.  
Željko Postružin

Završeno u 1989. godini.

Provedena je provjera sigurnosnih performansi odlagališta radioaktivnog otpada niske i srednje aktivnosti Nuklearne elektrane Krško. Analiza je zasnovana na generičkim lokacijama pretpostavljenim za koncept odlaganja u tunel i odlaganje u površinske slojeve. Determinističkim pristupom proveden je izbor akcidentalnih scenarija i procjena njihovih posljedica. Rezultati su za oba koncepta odlaganja pokazali da bi pretpostavljene generičke lokacije odlagališta i tehnologija odlaganja u potpunosti zadovoljile granične doze dane u Jugoslavenskom zakonu i ICRP preporukama.

Opseg: 283 stranice, 71 tablica, 118 slika.

### **Završni izvještaj o osiguranju i kontroli kvalitete tokom izrade opreme HE Đale (strojarski dio)**

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: Antun Eisenreich, dipl. inž.  
Radnici studijske jedinice za termoenergetske sisteme

Završeno u kolovozu 1989. godine.

Prema preuzetim ugovornim obavezama IE — Studijska jedinica za termoenergetske sisteme provodila je aktivnosti osiguranja kvalitete i kontrole kvalitete u toku izrade strojarske opreme (generatori, blok-transformatori) za HE Đale. U završnom izvještaju sistematizirana je i prezentirana kompletna dokumentacija koja se odnosi na provedene strojarske aktivnosti osiguranja kvalitete. Sreden i ocijenjen paket dokumentacije poslužio je naručitelju za potrebe tehničkog prijema elektrane i ishodenja uporabne dozvole od nadležne republičke institucije.

Opseg: knjiga 1 i 2.

### **Završni izvještaj o osiguranju i kontroli kvalitete tokom izrade i montaže opreme za uljno gospodarstvo, HE Dubrava (strojarski dio)**

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autori: Stjepan Ivančić, dipl. inž.  
Nikola Jakšić, dipl. inž.  
Antun Eisenreich, dipl. inž.

Završeno u lipnju 1989. godine.

U toku izrade i montaže opreme za uljno gospodarstvo HE Dubrava, provedene su aktivnosti osiguranja kvalitete prema »Programu kontrole kvalitete« izradenom u Institutu za elektroprivredu Zagreb. U završnom izvještaju sistematizirana je i prezentirana kompletna dokumentacija prikupljena u toku provođenja aktivnosti osiguranja kvalitete. Završni izvještaj izraden je za potrebe tehničkog prijema elektrane i ishodenja uporabne dozvole od nadležne republičke institucije.

Opseg: 60 stranica.

### **Završni izvještaj o osiguranju i kontroli kvalitete tokom izrade i montaže postrojenja za tlačni zrak, HE Dubrava (strojarski dio)**

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: Antun Eisenreich, dipl. inž.

Završeno u lipnju 1989. godine.

Za postrojenje tlačnog zraka, Institut za elektroprivredu, studijska jedinica za termoenergetske sisteme izvršio je pregled dostavljene dokumentacije od izvođača radova i funkcionalnost opreme. U završnom izvještaju prezentirana je dostavljena dokumentacija i iznesena je opća ocjena o kvaliteti izvedene i ugrađene strojarske opreme postrojenja tlačnog zraka. Završni izvještaj izraden je za potrebe tehničkog prijema elektrane i ishodenja uporabne dozvole od nadležne republičke institucije.

Opseg: 100 stranica.



**Priručnik osiguranja kvalitete za prethodne radove na ORAO, rev. 1**

Naručilac: NE Krško

Autor: Hrvoje Štingl, dipl. inž.

Završeno u svibnju 1989. godine.

Priručnik osiguranja kvalitete za prethodne radove na ORAO izraden je u skladu sa preporukama Međunarodne Agencije za Atomska Energija 50-C-QA »A Code of Practice«, »QA for Safety in Nuclear Power Plants«, te pripadajućih smjernica 50-SG-QA1 do 50-SG-QA11. Priručnik je također u skladu s »Metodologijom izrade programa osiguranja kvalitete za nuklearne objekte«, Sl. list SFRJ 52/88. Priručnik osiguranja kvalitete odnosi se na prethodne radove na odlagalištu radioaktivnog otpada (ORAO), a sastoji se od QA plana koji definira QA zahtjeva i QA postupke koji definiraju način ispunjenja tih zahtjeva. Revizija 1 Priručnika unijela je izmjene i dopune u QA plan i postupke, koji su proistekli iz promjena u organizaciji i funkcioniranju službe za pripremu izgradnje i izgradnju ORAO.

Opseg: oko 120 stranica.

**Završni izvještaj o osiguranju i kontroli kvalitete tokom izrade i montaže sistema rashladne i drenažne vode, HE Dubrava (strojarski dio)**

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autori: Antun Eisenreich, dipl. inž.  
Vladimir Martinec, dipl. teh.  
Stjepan Jurić-Marijanović, dipl. teh.

Završeno u lipnju 1989. godine.

Na osnovi programa kontrole kvalitete koji je ishoden od Instituta za elektroprivredu provedene su aktivnosti osiguranja i kontrole kvalitete na strojarskoj opremi postrojenja za rashladnu i drenažnu vodu u strojarnici i na brani HE Dubrava.

U završnom izvještaju u kojem je sistematizirana i prezentirana kompletna dokumentacija prikupljena u toku provođenja aktivnosti osiguranja kvalitete iznesena je opća ocjena o kvaliteti izradene i ugrađene strojarske opreme. Izvještaj je poslužio naručiocu za potrebe tehničkog prijema elektrane i ishode nja uporabne dozvole od nadležne republičke institucije.

Opseg: 50 stranica.

**Utvrđivanje energetske karakteristika kotlova bloka 1 i bloka 2 u TE-TO Novi Sad**

Naručilac: TE-TO, Novi Sad

Autori: Čedomir Selanec, dipl. inž.  
Ernest Prištof, dipl. inž.  
Edo Picek, dipl. inž.  
Vladimir Martinec, dipl. teh.  
Boris Popinjač, dipl. teh.  
Stjepan Jurić-Marjanović, dipl. teh.

Završeno u lipnju 1989. godine.

U elaboratu prezentiran je način mjerno utvrđenih energetske karakteristika kvalitete rada kotlovske jedinice. Dan je opis i način mjerenja, opis i primjenjeni postupci obrade rezultata mjerenja, te metodologija utvrđivanja energetske karakteristike. Utvrđene energetske karakteristike odnose se na karakteristike stupnjeva djelovanja kotlova uz loženje plinom, mazutom i kombiniranim loženjem, zatim karakteristike prihvaćene topline u kotlu, karakteristike vlastitog potroška topline kotlova, vlastitog potroška električne energije kotlova, te potroška topline za upuštanje kotlovske jedinice iz hladnog stanja.

Opseg: 40 stranica teksta sa slikama i tablicama, te 64 strane priloga.

**Utvrđivanje energetske karakteristike kotlova bloka 1 i bloka 2 u TE-TO Novi Sad**

Naručilac: TE-TO, Novi Sad

Autori: Čedomir Selanec, dipl. inž.  
Ernest Prištof, dipl. inž.  
Edo Picek, dipl. inž.  
Vladimir Martinec, dipl. teh.  
Boris Popinjač, dipl. teh.  
Stjepan Jurić-Marjanović, dipl. teh.

Završeno u studenome 1989. godine

U elaboratu prezentiran je način mjerno utvrđenih energetske karakteristike kvalitete rada turboagregata 1. Dan je opis i način mjerenja, opis i primjenjeni postupci obrade rezultata mjerenja, te metodologija utvrđivanja energetske karakteristike. Utvrđeni energetske karakteristike odnose se na ljetni i zimski režim rada turboagregata. Ljetni režim rada karakterizira kondenzacijski rad uz proizvodnju industrijske pare sa reguliranog 3. oduzimanja. Zimske režime rada uz proizvodnju električne energije i industrijske pare karakterizira i proizvodnja topline za potrebe grijanja. Ova toplina proizvodi se na račun oduzimanja pare iz 6. i 7. oduzimanja kod dvostepenog zagrijavanja i sa 7. oduzimanja kod jednostepenog zagrijavanja. Regulacija tlaka 6. ili 7. oduzimanja vrši se dijafragmom u niskom tlaku, te je u zimskom razdoblju moguć rad turbine od čisto protutlačnog do kondenzacijskog režima ovisno o potrebama za proizvodnju energija. Utvrđeni energetske karakteristike su specifični potrošači topline turbinskog ciklusa za proizvodnju električne energije, pri čemu je predana toplinska energija industrijskom parom i toplinom za grijanje tretirana kao korisno predana toplina iz turbinskog ciklusa.

Opseg: 118 stranica teksta sa slikama i tablicama.

**Utvrđivanje energetske karakteristike kotlova bloka 1 i bloka 2 u TE-TO Novi Sad**

Naručilac: TE-TO, Novi Sad

Autori: Čedomir Selanec, dipl. inž.  
Ernest Prištof, dipl. inž.  
Edo Picek, dipl. inž.  
Vladimir Martinec, dipl. teh.  
Boris Popinjač, dipl. teh.  
Zdravko Pleša, dipl. teh.

Završeno u rujnu 1989. godine.

U elaboratu prezentiran je način mjerno utvrđenih energetske karakteristike kvalitete rada turboagregata 2. Dan je opis i način mjerenja, opis i primjenjeni postupci obrade rezultata mjerenja, te metodologija utvrđivanja energetske karakteristike. Utvrđeni energetske karakteristike odnose se na ljetni i zimski režim rada turboagregata. Ljetni režim rada karakterizira čisto kondenzacijski rad. Zimske režime rada uz proizvodnju električne energije karakterizira i proizvodnja topline za potrebe grijanja. Ova toplina proizvodi se na račun oduzimanja pare iz 6. i 7. oduzimanja kod dvostepenog zagrijavanja i sa 7. oduzimanja kod jednostepenog zagrijavanja. Regulacija tlaka 6. ili 7. oduzimanja vrši se dijafragmom u niskom tlaku, te je u zimskom periodu moguć rad turbine od čisto protutlačnog do kondenzacijskog režima ovisno o potrebama za proizvodnju energija. Utvrđeni energetske karakteristike su specifični potrošači topline turbinskog ciklusa za proizvodnju električne energije, pri čemu je predana toplinska energija tretirana kao korisno predana toplina iz turbinskog ciklusa.

Opseg: 105 stranica teksta i priloga sa slikama i tablicama.

**Prijedlog normativnih neto specifičnih potrošaka topline goriva za TE-TO Novi Sad**

Naručilac: TE-TO, Novi Sad

Autori: Čedomir Selanec, dipl. inž.  
Ernest Prištof, dipl. inž.  
Edo Picek, dipl. inž.  
Vladimir Martinec, dipl. teh.  
Boris Popinjač, dipl. teh.  
Stjepan Jurić-Marjanović, dipl. teh.  
Zdravko Pleša, dipl. teh.

Završeno u rujnu 1989. godine

U okviru ovog elaborata izradene su karakteristike vlastitog potroška električne i toplinske energije dva toplifikacijsko-kondenzacijska bloka, te je prezentiran postupak utvrđivanja potroška topline goriva na bazi poznatih pokazatelja za turboagregate i kotlovske jedinice. Utvrđenje neto specifičnih potrošaka izvršeno je uz raspodjelu gubitaka i vlastitih potrošaka u odnosu sadržaja energija i eksergija »finalnih proizvoda«. Primijenjena metodologija raspodjele, kao i

kasniji postupci sažimanja pojedinih utjecajnih varijabli na potroške toplina goriva objašnjeni su u elaboratu. U zadnjem poglavlju dan je prijedlog srednjih neto specifičnih potrošaka topline goriva pojedinih »finalnih proizvoda« za zimsko razdoblje rada, ljetnih perioda rada, te srednji godišnji.

Opseg: 66 stranica teksta i priloga sa slikama i tablicama.

## STUDIJ HIDROTEHNIČKIH SISTEMA

### Prethodna studija utjecaja VS Mursko Središće i VS Podturen na okolinu

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb — SVIZ Drava — Dunav, Osijek — Zveza Vodnih skupnosti Slovenije, Ljubljana — Sestavljena organizacija Elektrogospodarstva Slovenije, Maribor

Autori: Ljiljana Aleksić, dipl. inž.  
Nedjeljko Šimundić, dipl. inž.  
Irena Pavić, dipl. inž.  
Aleksander Russo, dipl. inž.  
Krešimir Plantić, dipl. inž.

Završeno 11. 7. 1989.

U studiji je na osnovi dosadašnjih rezultata istraživanja dan opis postojećeg stanja užeg i šireg područja lokacije VS Mursko Središće i VS Podturen. Uz opis investicije obavljena je procjena mogućih utjecaja izgradnje vodnih stepenica na okolinu s prijedlogom mjera zaštite za smanjenje štetnih utjecaja. Kao rezultat svih analiza dan je prijedlog daljnjih istraživanja za izradu Konačne ocjene utjecaja vodnih stepenica na okolinu.

Opseg: 230 stranica.

### Studija mogućnosti čišćenja Plominskog zaljeva i smanjenja daljnjeg zasipavanja nanosom — I. dio: polazne osnove

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka — TE Plomin 2

Autori: Krešimir Plantić, dipl. inž.  
Boris Štajer, dipl. inž.

Završeno 13. 7. 1989.

Pregled, sistematizacija i kraća analiza postojećeg fonda podataka. Analiza rezultata inženjersko-geoloških, batimetrijskih i seizmičkih ispitivanja zaljeva, te mjerenja profila akumulacije Letaj, sve u nadi deponiranja količine i progressa nanosa.

Opseg: 65 stranica teksta i 27 grafičkih priloga

### Utjecaj izgradnje HE Dubrava na okolinu — stanje za vrijeme građenja i stvaranje osnova za tehnička promatranja HE Dubrava u pogonu (Preliminarni izvještaj)

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: Krešimir Plantić, dipl. inž.  
Marija Martinović, inž.

Završeno 28. 9. 1989.

Pregled i sistematizacija podloga i podataka mjerenih za vrijeme građenja hidroelektrane (1985–1988), obrada analiza i interpretacija rezultata relevantnih za ocjenu utjecaja izgradnje objekata na okolinu, te analiza sustava i opreme za tehnička promatranja.

Opseg: 220 stranica.

### HE Varaždin — Tehničko promatranje u 1988. godini

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb — OOUR HE Varaždin

Autor: Marijan Zelić, dipl. inž.

Završeno 26. 12. 1989.

Elaborat sadrži prikaz, analize i interpretacije prikupljenih podataka u toku 1988. godine, a koji se odnose na hidrometeorološke, hidrološke, geodetske i druge podatke značajne za ocjenu stanja kao cjelokupnog, tako pojedinih dijelova postrojenja HE Varaždin.

Opseg: 76 stranica, 22 tabele, 43 grafička priloga i fototeka sa 58 fotografija.

### Analiza stanja osnovne opreme HE Peruća i mogućnost povećanja snage — Pregled i ocjena stanja građevinskih objekata

Naručilac: Elektroprivreda Dalmacije — OOUR HE Peruća

Autor: Marijan Zelić, dipl. inž.  
Krunoslav Klak, dipl. inž.  
Stjepan Hršak, inž.

Završeno 20. 3. 1989.

Na temelju pregleda cjelokupne dokumentacije i sagledavanja ponašanja objekta u toku dosadašnje eksploatacije, vizualnih pregleda, provedene su analize i interpretacije s ocjenom stanja objekata HE Peruća. Osim toga dani su prijedlozi za dodatna istraživanja i sanacije radi očuvanja trajnosti i sigurnosti postrojenja HE Peruća.

Opseg: 50 stranica i fototeka sa 31 fotografijom.

### Revizija IP HE Krčić

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: Aleksander Russo, dipl. inž.

Završeno 6. 6. 1989.

Opseg: 40 stranica.

### Revizija IP HE Prančević

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: Đuro Hatić, dipl. inž.

Završeno 6. 6. 1989.

Opseg: 40 stranica.

**HE Dubrava — Globalna ocjena III revizije IP**

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: Marijan Zelić, dipl. inž.

Završeno 6. 6. 1989.

Opseg: 40 stranica.

**Pregled i ocjena IP HE Orlovac — izgradnja sjeverozapadnog dijela (Čaprazlije)**

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: Nedjeljko Šimundić, dipl. inž.

Završeno 6. 6. 1989.

Opseg: 40 stranica.

**Pregled i ocjena IP HE Lešće**

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb

Autor: mr. Mladen Petrićec, dipl. ing.  
Zoran Selanec, dipl. inž.

Završeno 24. 10. 1989.

Opseg: 40 stranica.

**Projekt sanacije i nadvišenja podvodnog regulacijskog praga u koritu rijeke Save**

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb — OOUR TE-TO

Autor: Aleksander Russo, dipl. inž.

Završeno 6. 7. 1989.

»Projekt sanacije i nadvišenja podvodnog regulacijskog praga u koritu rijeke Save« obuhvaća moguća rješenja za sanaciju nepovoljnog stanja koja se javljaju kod malih vodostaja Save na crpnoj stanici TE-TO Zagreb. Iz provedenih tehničko-ekonomskih analiza proizašlo je najpovoljnije rješenje — izgradnja novog praga od lomljenog kamena.

Opseg: 70 stranica.

**Studijski radovi u suradnji sa SJ VI****Analiza stanja magistralnog parovoda od TE-TO do »Pivovare«**Suradnici: Pavić Irena, dipl. inž.  
Boris Štajer, dip. inž.

Završeno 12. 9. 1989.

**STUDIJ VISOKONAPONSKE OPREME I PRIJENOSNIH MREŽA****Konzalting aktivnosti u izgradnji TE Plomin 2 — MRU oprema**

Naručilac: Elektroprivreda, Rijeka — RZ za izgradnju TE Plomin 2

Autor: mr. Boris Kalan, dipl. inž.

Konzalting-aktivnosti na području MRU-opreme odnosile su se na komentare idejnih rješenja, tehničkih rješenja i projektnih podloga za pojedine tehnološke sisteme TE Plomin 2.

Također, na području QA/QC komentirani su i odobravani pojedini planovi kontrole kvalitete i u sklad sa njima preuzimana je oprema od pojedinih isporučilaca.

**QA/QC aktivnosti tokom remonta '89 NE Krško za I & C opremu**

Naručilac: NE Krško

Suradnici: 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.

**Problematika relejne zaštite i struja kratkog spoja u sekcioniranoj prijenosnoj mreži 110 kV na području Zagreb-makro**

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb — OOUR Elektroprenos, Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.

Suradnik: Goran Jerbić, dipl. inž.

Završeno u siječnju 1989. godine.

U neposrednom nastavku na studiju Instituta za elektroprivredu: »Sekcioniranje prijenosne mreže 110 kV na području Zagreb-makro (elektroenergetske analize)« iz 1987. godine izrađena je analiza s obzirom na rad distantne relejne zaštite i u rezervnom stupnju i problematiku kratkog spoja u uzdužno i poprečno sekcioniranoj mreži 110 kV na području Zagreb-makro. Na osnovi provedenih proračuna i priloženih rezultata proračuna može se zaključiti da poprečno sekcioniranje u odnosu na uzdužno pokazuje znatne komparativne prednosti.

Opseg: 206 stranica (3 slike, 7 tablica rezultata proračuna).

**Proračun raspodjele najvećih mogućih struja jednopolnog kratkog spoja u vodovima 110 kV za napajanje EVP vrata, Plase, Drage i Ivani, za mrežu 1995. godine**

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb — OOUR Elektroprenos, Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.

Završeno u ožujku 1989. godine.

Za potrebe zaštite dojavnih vodova na području utjecaja elektroenergetskih vodova 110 kV za napajanje EVP Vrata, Plase, Draga i Ivani (mreža za 1995. godinu) proveden je za ukupno 9 vodova proračun raspodjele inducirajućih struja u tlu kod neistodobnih početnih jednopolnih kratkih spojeva duž trasa navedenih vodova.

Opseg: 36 stranica (9 slika i 10 tablica).

### Proračun raspodjele najvećih struja jednopolnog kratkog spoja duž DV-a 110 kV HE Gojak – HE Lešće i Pračno – Banja Luka (dionica Pračno – Hrvatska Kostajnica)

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb – OOUR Elektroprenos, Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.

Završeno u travnju 1989. godine

Za potrebe zaštite dojavnih vodova na području utjecaja elektroenergetskih vodova DV 110 kV HE Gojak – Lešće (mreža za nazivnu 1995. godinu) i Pračno – Banja Luka (dionica Pračno – Kostajnica, za mrežu nazivne 1990. i 2000. godine) izvršen je proračun raspodjele inducirajućih struja u tlu, kod neistodobnih početnih jednopolnih kratkih spojeva duž trasa navedenih vodova.

Opseg: 36 stranica (9 slika i 10 tablica).

### Proračun raspodjele najvećih struja početnog jednopolnog kratkog spoja duž DV-a 110 kV Raša – Koromačno, za mrežu Istre 2000. godine

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb – OOUR Elektroprenos, Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.

Završeno u svibnju 1989. godine.

Za potrebe zaštite dojavnih vodova na području utjecaja elektroenergetskog voda 110 kV Raša – Koromačno, za mrežu Istre 2000. godine izvršen je proračun raspodjele inducirajućih struja u tlu kod neistodobnih početnih jednopolnih kratkih spojeva duž trase navedenog voda.

Opseg: 16 stranica (2 slike i 2 tablice)

### TS 110/35 kV Virje – proračun kratkog spoja

Naručilac: Elektroprivreda, Zagreb – OOUR Elektroprenos, Zagreb

Autor: mr. Davor Nevečerel, dipl. inž.

Završeno u studenome 1989. godine.

U radu je izvršen proračun kratkog spoja u varijantnom rješenju 110 kV mreže na području TS 110/35 kV Virje.

Opseg: 12 stranica (1 slika i 1 tablica).

### Ispitivanje uzemljivača hidroelektrane Dubrovnik

Naručilac: Hidroelektrana Dubrovnik, Dubrovnik

Autor: Josip Kučak, dipl. inž.

Suradnici: Damir Sever, tehn.  
Ivica Posavec, tehn.

Završeno u listopadu 1989. godine.

Ispitivanje uzemljivača Institut za elektroprivredu Zagreb izvršio je odmah nakon izgradnje HE Dubrovnik 1964. g.

Kontrolna mjerenja 1984. g. pokazala su u vlažnom razdoblju nakon jakih kiša na dosta mjesta napone dodira iznad dozvoljenih vrijednosti.

Mjerenja izvršena pet godina kasnije, 1989. g. dala su zadovoljavajuće rezultate. Dodatnim uzemljavanjem, ispred zgrade strojarnice, naponi dodira svedeni su u granice dozvoljenih vrijednosti.

Iznošenje opasnog potencijala putem vodovodne mreže izvan ograde HE u restoran i radničko odmaralište sanirano je umetanjem izolacionih komada u vodovodne cijevi tzv. galvanskim odvajanjem.

Budući da se napajanje električnom energijom radničkog odmarališta vrši iz mreže 0,4 kV HE Dubrovnik, opasno iznošenje potencijala u slučaju jednopolnog kratkog spoja na sabirnicama HE Dubrovnik sanirano je stavljanjem zaštite između nul-vodiča i zemlje u dovodnom kabelu.

Izmjereni parametri uzemljivača su sljedeći:

- impedancija uzemljivača cijele HE 0,147 n
- potencijal uzemljivača prema referentnoj zemlji u slučaju kratkog spoja iznosi 985 V, kod struje kroz uzemljivač od 6 700 A.

Opseg: 27 stranica teksta i 9 crteža.

### Ispitivanje uzemljivača HE Nikola Tesla

Naručilac: HE Nikola Tesla

Autor: Josip Kučak, dipl. inž.

Suradnici: Tomislav Veselić, inž.  
Srećko Juretić, tehn.

Završeno u studenome 1989. godine.

Od zadnjeg ispitivanja uzemljivača HE »Nikola Tesla« Instituta za elektroprivredu Zagreb, 1979. u 1989. godini izvršena je rekonstrukcija postrojenja 110 kV opremanjem s Al-cijevima sabirnicama 100/88 mm, novim mjernim transformatorima i novim SF6 prekidačima nazivnog napona 123 kV i rasklopne struje 31,5 kA. Poboljšanje uzemljivača izvršeno je bakrenim užetom 2 × 95 mm<sup>2</sup>. Ugrađena je nova sabirnička zaštita i zaštita od otkazivanja prekidača.

Provedenim mjerenjima utvrđeni su sljedeći parametri uzemljivača:

– impedancija uzemljivača	0,097 n
– potencijal uzemljivača prema referentnoj zemlji u slučaju kratkog spoja struje kroz zemlju od 6538 A	634 V
– napon dodira izvan ograde postrojenja od maksimalno 127,2 V su manji od dozvoljenih	310 V.
– napon dodira izvan ograde izmjeren je maksimalno što je manje od dozvoljenih	69,1 V.
– najveći napon koraka izmjeren je svega	150 V. 8 V.

Opseg: 24 stranica teksta i 16 crteža.

### Konzalting aktivnosti u izgradnji TE Plomin 2

Josip Kučak, dipl. inž.

Preuzimanje opreme prema QC planu u tvornici proizvođača »Rade Končar«.

### HE Đale i HE Dubrava

Josip Kučak, dipl. inž.

Završni poslovi oko QC dokumentacije

### Laboratorijska ispitivanja prijenosnih ručnih alata s elektromotorima

Suradnici: Josip Kučak, dipl. inž.  
Đuro Juretić, teh.

Obavljena su tipska ispitivanja sa Saveznim zavodom za standardizaciju prema naredbi o obaveznom atestiranju.

**Odvodnici prenapona u mreži SOUR-a »B. Kidrič« Šibenik**

Naručilac: Tvornica aluminijske Ražine

Autor: Ante Sekso, dipl. inž.

Suradnici: Tomislav Veselić, inž.  
Srećko Juretić, tehn.

Završeno u rujnu 1989. godine.

U prvom dijelu opisana je metoda i rezultati ispitivanja svih odvodnika prenapona u TS 110/30 kV Ražine i tvorničkoj razdjelnoj mreži 30 kV. Ispitivanje je obavljeno prijenosnom visokonaponskom ispitnom stanicom. U drugom dijelu elaborata obrađuju se mogući uzroci uništenja grupe odvodnika u trenutku uklopa tzv. serije od 4 prekidača 30 kV za napajanje 4 grupe elektrolitskih peći. Posljednji dio sadrži uporedbu klasičnih i suvremenih tipova odvodnika prenapona, te smjernice za ugradnju ZnO odvodnika sposobnih da odvedu energiju dugotrajnih sklopnih prenapona koji su mogući u postojećoj mrežnoj konfiguraciji.

Opseg: 37 stranica sa 12 tablica, 2 slike i 6 fotografija.

**Ispitivanje uzemljivača TE Rijeka I**Autori: mr. Dragutin Mihali, dipl. inž.  
Ante Sekso, dipl. inž.Suradnici: Tomislav Veselić, inž.  
Srećko Juretić, tehn.  
Stjepan Zubić, tehn.

Završeno u lipnju 1989. godine.

U elaboratu je dana detaljna metodologija provedenih mjerenja impedancije, raspodjele potencijala, opasnih napona i iznošenja potencijala. Ispitivanja su izvršena u okviru rutinskih periodičkih provjera stanja elektrotehničke opreme u TE Rijeka I (Urinj). U analizi rezultata naglasak je dan na objašnjenja razlika prema prethodnim mjerenjima iz 1984. godine. Osnovni zaključak glasi da je aktualno stanje uzemljivača sasvim zadovoljavajuće (za razliku od 1984. g.), ali da bi bila korisna jedna provjera karakteristika visokonaponskim pokusom.

Opseg: 31 stranica sa 4 tablice i 5 slika.

**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. Mjerenja 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.

Značenje takvih ispitivanja je veliko jer se pravodobno mogu otkriti pogreške učinjene prilikom polaganja i izbjeći kasniji prekid 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 nave-

dena 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 podešavanje releja sa strujnim ili naponskim poticajnim članom i eventualno pripadajućeg vremenskog člana. Uređaj ima sljedeće karakteristike:

**S t r u j a** : 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 razvodljivost s mA i točnost 0,2%.

**N a p o n** : Napon se kontinuirano mijenja od 0 do 250 V uz opteretivost 0,5 A. Mjerenje se vrši ugrađenom digitalnim voltmetrom s prikazom 3 3/4 dekade s mjernim dosegom 200 V bez razdvojenosti 100 mV i uz točnost 0,2%.

**V r i j e m e** : Vrijeme se mjeri ugrađenim 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:

**S t r u j a** : 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%.

**N a p o n** : Napon se kontinuirano mijenja na područjima 0 – 10 V i 0 – 250 V uz opteretivost 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%.

**F a z n i p o m a k** : 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.

**V r i j e m e** : 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. Indikatorom 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, uređaj služi za smanjenje prijelaznog otpora na mjestu probvoja 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



# VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

## REKONSTRUKCIJA PROIZVODNIH I PRIJENOSNIH POSTROJENJA

RO Elektroprivreda Rijeka za ostvarenje Plana rekonstrukcije i modernizacije u djelatnosti proizvodnje i prijenosa u 1990. godini predviđa ulaganja u iznosu otprilike 14,3 milijuna dinara.

Najveći dio sredstava namijenjen je hidroenergetskom sustavu »Nikola Tesla« (oko 7,3 milijuna dinara) koja će se utrošiti u HE Vinodol za: rekonstrukciju naponskih mjernih transformatora rekonstrukciju pogona 35 kV rastavljača i prekidača rekonstrukciju 30-tonske dizalice u CHE Fužine i dizalice 60 tona u glavnoj strojarnici; rekonstrukciju turbinskih kola i za razne manje zamjene.

Dio sredstava namijenjen je za rekonstrukcije u HE Rijeka, i to: rekonstrukciju zaštite, alarmne signalizacije i uzbude za dva generatora, rekonstrukciju zaštite osam 110 kV polja, ugradnju zaštite od otkazivanja rada prekidača i dr.

U HE Senj i Sklope u pogledu rekonstrukcija u ovoj godini bit će manjeg opsega (rekonstrukcija gornjeg kombiniranog ležaja na agregatu dva; zamjena katodnih odvodnika, zamjena 110 V AKU baterija i dr.).

U TE Plomin 1 utrošit će iznos od oko 3,08 milijuna dinara za slijedeće radove: ugradnju sabirničke zaštite na 110 kV postrojenja, zamjenu rotacionih zasuna, zamjenu višediznih ispuhivača (2 kom.), zamjenu kompresorske stanice.

TE Rijeka oko 2,4 milijuna raspoređeni su za: zamjenu vakum-pumpa, zamjenu glavne pumpe brtvljenja generatora/zamjenu pumpe pražnjenja bazena zauljenih voda, nabavu rezervnih čelija 24 V razvoda LGS Elektroprivreda Rijeka — OOUR Elektroprenos Opatija u 1990. godini ukupno će raspolagati s iznosom otprilike 8,3 milijuna dinara, za rekonstrukcije i modernizaciju prijenosne mreže.

I. R.

## REKONSTRUKCIJA TE-TO OSIJEK

U Zajednički plan izgradnje elektroenergetskih objekata za 1990. godinu u Hrvatskoj uvrštena je i rekonstrukcija Termoelektrane — toplane Osijek. Za rekonstrukciju su predviđena ulaganja u iznosu otprilike 4 214 milijuna dinara. Glavni zahvati na rekonstrukciji TE-TO Osijek jesu:

- rekonstrukcija crpne stanice i cjevovoda sirove vode
- rekonstrukcija sistema hlađenja kondenzata uz korištenje otpadne topline
- rekonstrukcija sistema regulacije grijanje napojne vode
- zamjena dozir pumpe i nabava uređaja za centrifugiranje turbinskog ulja.

U grupi zamjene izvršit će se zamjena 10,5 kV prekidača na Plinskoj termoelektrani Osijek te manje zamjene.

I. R.

## RACIONALNO KORIŠTENJE ENERGIJE

Savez energetičara Hrvatske pod pokroviteljstvom Republičkog komiteta za energetiku, industriju i rudarstvo Hrvatske organizirao je u Zadru Savjetovanje »Racionalno korištenje energije u svrhu zaštite čovjekove okoline od 17. do 19. svibnja 1990.

Svrha savjetovanja je rješavanje problema racionalnog korištenja energije i zaštite čovjekove okoline koji su postali imperativ našeg vremena. Inicijativu za takvu proizvodnju i korištenje energije, energetičari i drugi stručnjaci daju već godinama prijedloge, ali mora se naglasiti da to nije dovoljno za ostvarenje tog cilja. Za ostvarenje značajnijih rezultata nužna je svestrana pomoć rukovodećih kadrova u privredi i društvu, kao i svih korisnika energije.

Svrha je ovog Savjetovanja da upozori na niz mogućnosti racionalnije proizvodnje i korištenja energije i na taj način ostvari moguće smanjenje troškova za svakog potrošača, uz znatno manje zagađivanje okoliša, što ima neprocjenjivu vrijednost za nas i buduća pokoljenja.

Ovom znanstvenom skupu prisustvovali su stručnjaci proizvodnje energije, proizvođači opreme za energetska postrojenja, naučnih institucija, tehničkih fakulteta, elektroprivrednih i projektnih organizacija i dr.

U 29 stručnih referata obrađena je mogućnost korištenja nekih alternativnih izvora energije, što će s obzirom na ekološke, pa i mnoge druge pogodnosti, već u skoroj budućnosti sve više dobivati na značenju.

Treba istaknuti da je na Savjetovanju veći broj proizvođača energetske opreme izložio svoje proizvode te zainteresiranim davao stručne tehničko-komercijalne informacije.

I. R.

## NOVA OPREMA ZA ELEKTRIČNE VLAKOVE

Veća grupa stručnjaka i znanstvenika zaposleni u SOUR-a »Rade Končar« — pogon proizvodnje opreme za elektrovuču» rade na jednom od svojih najvećih projekata: izmjeničnom električnom pogonu za budući električni vlak. Potpunim korištenjem domaće tehnologije programirano je da konstrukcija novog tipa najsuvremenijeg električnog vlaka bude testirana već 1992, a 1993. godine prva bi kompozicija krenula u eksploataciju na pruzi Zagreb — Beograd. Vožnja bi trajala tri sata. Ovaj tip vlakova nije namijenjen dugim relacijama, neće imati spavaćih kola, ali će brzinom i udobnošću biti mnogo bolji od klasičnih poslovnih vlakova Jugoslavenskih željeznica. Predviđena je prosječna brzina 150 kilometara na sat, dok bi maksimalna brzina bila 200 km na sat, dok današnji naši poslovni vlakovi prosječno voze 90 km/sat. Na realizaciji tog velikog i značajnog jugoslavenskog projekta uključeno je još 70 stručnjaka iz drugih poduzeća i znanstvenih institucija: Instituta za promet Zagreb, TVT »Boris Kidrič« Maribor, tvornice »Goša« iz Smederevske Palanke i MZT-a iz Skopja.

I. R.

## NEISKORIŠTENE DODATNE VODE GORSKOG KOTARA

Elektroprivreda Hrvatske planski razmatra mogućnost korištenje energetske kapaciteta neiskorištenih voda na području republike. U tom programu uvršteno je i pitanje neiskorištenih voda Gorskog kotara u hidroenergetskom sustavu HE »Nikola Tesla«.

Radan organizacija hidroelektrana »Nikola Tesla« Vinodol ugovorila je sa stručnjacima Institutu za elektroprivredu iz Zagreba izradu studije Energetsko-ekonomske valorizacije

neiskorištenih voda na hidroenergetskom sustavu HE »Nikola Tesla«.

Procjenjuje se da je moguće povećanje proizvodnje u HE »Nikola Tesla« Vinodol za gotovo 40 GWh u neiskorištenim vodama na područjima:

- Crnog luga
- Lokava i
- Potkobiljaka.

HE Vinodol izgrađena je i u pogonu je od 1952. godine. Iako su raspoložive količine vode koje koristi HE Vinodol (Ličanka – Lokvarka) razmjerno malene ( $Q_{sr} = 3,28 \text{ m}^3/\text{sek}$ , njihova nadmorska visina više od 700 m. n. m), s energetskog su stajališta vrlo atraktivne.

Osim spomenutih vodotoka Ličanke i Lokvarke postoji još niz manjih potoka — ponornica, čije je vode od interesa privedi korištenju na već izgrađenim postrojenju HE Vinodol. Tako se već 1955. godine i pušta u pogon crpna stanica Lič, koja sakupljene vode Lič-polja i potoka Potkoš upumpava u tlačni vod za HE Vinodol, zatim 1956. godine crpna stanica Križ pomoću koje se dio voda potoka Križ ubacuje u akumulaciju Lokvarka. Godine 1957. pušta se u pogon CHE Fužine, koja iz bogatijeg vodotoka Ličanke s malom akumulacijom (zbog geoloških ograničenja) »Bajer« prebacuje vode u veću akumulaciju Lokvarka, ali pri ispuštanju vode iz akumulacije proizvodi električnu energiju, a zatim u kanal Benkovac.

Međutim, s navedenim zahvatima još uvijek nisu zahvaćene i privedene korištenju sve vode. Postoje mogućnosti daljeg zahvaćanja nekih potoka na navedena tri područja.

- *Lokve* — s akumulacionim bazenom od 10 000 m<sup>3</sup> s vodom Križa (međudotokama i voda iznad postojećeg kapaciteta crpne stanice Križ) i međudotoka Lokvarke. Instalirana protoka crpne stanice  $Q = 1,5 \text{ m}^3/\text{sek}$ , moguća proizvodnja 13,36 GWh. manometarska visina dizanja 70,9 m.
- *Potkobiljak* — s akumulacionim bazenom od 10 000 m<sup>3</sup> i s vodama Ličanke koje se sakupljaju u koritu nizvodno od brane »Bajer«, instalirani protok crpne stanice  $Q = 1,0 \text{ m}^3/\text{sek}$ , te moguća proizvodnja 5,50 GWh, manometarska visina dizanja 24,4 m.
- *Crni Lug* — s vodom više potoka (Bela voda, Klada, Leska, Vela voda i Tomac) i akumulacionim bazenima, kapaciteta 100 000 m<sup>3</sup>, instalirana protoka  $Q = 0,5 \text{ m}^3/\text{sek}$  i moguća proizvodnja 14,90 GWh, manometarska visina dizanja 123,2 m.

Provedene energetsko-ekonomske analize mogućih pothvata na slivnom području hidroenergetskog sustava »Nikola Tesla«, odnosno rezultati analiza pokazuju sklad s ranijim analizama za već realizirane pothvate da je ekonomski opravdano obogaćivanje vodama toga sustava s obzirom na njegove karakteristike vršnog postrojenja visokoinstalirane snage i nadasve visokog pada na kojem se koriste privedene vode.

S tim u vezi, a na osnovi rezultata provedenog vrednovanja, može se zaključiti:

- Energetsko-ekonomska vrijednost CS Lokve vrlo je visoka. Realizaciji ovog pothvata treba pristupiti odmah jer već ima idejni projekt ili odmah čim to dopuštaju raspoloživa sredstva namijenjena razvoju elektroprivrede.
- Crnolučko područje također je, iako nešto niže, visokovrijedan pothvat u energetsko-ekonomskom smislu, pa je opravdano dalje pripremanje projektne dokumentacije za privođenje crnolučkih voda energetskom korištenju.

- Pothvat Potkobljak, čiji je idejni projekt u izradi, nije energetskoekonomski (u razmatranom polaznom rješenju — bazen 10 000 m<sup>3</sup> i crpne 1,0 m<sup>3</sup>/sek) na razini prethodna dva. Razmatrajući, međutim, varijantna rješenja ovog pothvata, uvrstava se i ovaj pothvat u ekonomski opravdan pri veličini bazena od 5 000 m<sup>3</sup> i kapaciteta crpke od 1,5 m<sup>3</sup>/sek.

I. R.

## DOMAĆA PROIZVODNJA SOLARNIH ČELIJA

Zajedničkim ulaganjem tvornice »Rade Končar« s američkom tvrtkom »Chronar« osnovano je poduzeće »Rade Končar — solarne ćelije« u Splitu. Nakon godinu dana od puštanja splitske tvornice u rad ostvareni su uspješni proizvodni poslovi.

Glavni proizvod novoosnovane tvornice »Rade Končar — solarne ćelije« jesu fotonaponske ćelije na bazi amornog silicija s plastičnim okvirom, a prema tehnologiji koja se koristi u svim tvornicama »Chronara«. Ostvareni dobri proizvodni rezultati dokaz je da je izbor odabrane tehnologije ispravan, i to je danas najbolje što se u svijetu nudi.

Prema podacima mjesečnih izvještaja tvrtke »Chronara«, američke tvrtke po čijoj tehnologiji radi i »Rade Končar« i svih njegovih tvornica u Americi, Velikoj Britaniji, Francuskoj i Kini, splitski »Rade Končar — solarne ćelije« ostvaruju najbolje tehničke karakteristike solarnih ćelija.

Zbog uspješne proizvodnje nedavno je »Rade Končar — solarne ćelije« dobila pristupnicu i u članstvo Evropskog udruženja fotonaponske industrije. To je veliko priznanje našim stručnjacima u proizvodnji solarnih ćelija. Splitska tvornica već danas ima dva milijuna dolara zaključenih ugovora za prodaju svojih proizvoda za tržište u SR Njemačkoj, Švicarskoj, Mađarskoj i Iraku (za Irak izvoze se kompletne elektrane). U suradnji s »Elektroprivredom Hrvatske«, Zajednicom elektroprivrede Jugoslavije i republičkim Komitetom za energetiku najozbiljnije se radi na podizanju prve naše elektrane na sunčevu energiju.

I. R.

## KONGRES EKOLOGA U OPATIJI

Međunarodni kongres »Ekologija i zaštita čovjekove okoline« održan u Opatiji završen je 21. travnja 1990. U njegovu radu sudjelovalo je više od 300 jugoslavenskih i inozemnih stručnjaka. Organizatori ovog naučnog skupa: Udruženje za sunčanu energiju RAST-YU, Tehnički fakultet iz Rijeke i radna zajednica »Alpe-Adrija«. Učesnici kongresa postavili su zahtjev da država konačno donese strateški plan razvoja energetike u zemlji od 2 020. godine i da više no dosad ulaže u razvoj obnovljivih izvora energije. Upozoreno je da je u Hrvatskoj, primjerice, još uvijek neiskorišteno 46 posto hidroenergetskog potencijala, što je dovoljno za gradnju 54 nove hidroelektrane. Nadalje, energetska politika Hrvatske mora biti usmjerena i prema što većem iskorištavanju prirodnog plina.

Po projekciji budućeg energetskog plana Hrvatske računa se da bi 1995. godine iz otkrivenih rezervi u panonskom bazenu i podmorju Jadranskog mora moguća proizvodnja iznosila 4,4 milijarde m<sup>3</sup> plina uz uvoz od 1,4 milijarde m<sup>3</sup> Hrvatska bi ukupno raspolagala sa 5,8 milijardi m<sup>3</sup> plina, a do 2 020. godine one bi dosegle količinu od 7,6 milijardi m<sup>3</sup>. Uz to treba podržati sve društvene i privredne projekte za iskorištavanje alternativnih izvora energije.

U obrađenim referatima stručnjaci su nijeli i podatke da veliki energetske potencijali leže i u racionalnom korištenju



energije, po čemu Jugoslavija još uvijek zaostaje u odnosu na druge evropske zemlje.

Utvrđeno je i često se upozorava da industrija nepotrebno troši i do 50 posto energije, što traži sve veću proizvodnju energije, a usto i veće zagađivanje okoline.

Zbog toga se grupa stručnjaka na kongresu založila i predlaže osnivanje tzv. državne energetske policije s ovlaštenjem da može zatvoriti i tvornicu ako ona u određenom roku ne ispravi uočene nedostatke. Postavljen je oštar zahtjev da se ti prijedlozi prihvate jer je to u interesu razvoja naše energetike i zaštite čovjekove okoline.

I. R.

## ISTRAŽIVANJE IZVORA ENERGETSKIH SIROVINA

Na prijedlog Republičkog komiteta za energetiku, industriju, rudarstvo i zanatstvo Izvršnog vijeća Sabora Republike Hrvatske u 1990. godinu odobren je iznos od 14,8 milijuna dinara namjenskih sredstava za poticanje i istraživanja do-

maćih energetske sirovina i efikasnijeg korištenja energije. Na raspisani natječaj javilo se više od 100 projekata za dodjelu kredita. Prema podacima, za projekte iz područja racionalnog korištenja energije kredite je dobilo 36 poduzeća, organizacija i ustanova, deset programa istraživanja domaćih energetske sirovina i sedam organizacija na uvođenju novih tehnologija u svojim proizvodnim procesima.

Po grupama korisnici kredita su organizacije i poduzeća iz ovih oblasti:

- kredite za ugljen dobit će organizacije putem Poslovne zajednice za proizvodnju i promet ugljena u Hrvatskoj.
- geotermalne vode (Stubičke toplice, Tuheljske toplice, sportsko-turistički i zdravstveni objekti)
- veći broj projekata iz područja racionalnog korištenja energije (tekstilna i kemijska industrija, građevinarstvo, turizam, zdravstvo i dr.) i
- uvođenje novih tehnologija i izrada studija iz raznih djelatnosti.

Utvrđeno je da se financiranje pojedinačnih programa mora koristiti u roku jedne godine od dodjele kredita.

I. R.

## IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

### ELEKTRONIČKI KONTROLNI SISTEM ZA VODOVE VISOKOG NAPONA

Unazad nekoliko godina na tržištu se pojavio elektronički mjerni sistem za otkrivanje kvarova na nadzemnim vodovima visokog napona. Najprije primijenjen u SAD i Kanadi, a sada se počeo upotrebljavati i u Evropi.

Dosada su se kontrole vodova visokog napona provodile vizualno. Novi elektronički mjerni sistem, koji reagira na pojavu korone, predstavlja bitnu dopunu običajene kontrole. On omogućuje rano otkrivanje kvarova na vodičima, armaturama i izolatorima, gdje se javlja korona i ukazuje na početak nastajanja havarije. Instrument se ugrađuje u helikopter, na čijem boku je istaknuta antena koja hvata signale nastale od korone. Kvarovi se prosuđuju prema karakterističnim slikama koje se pojavljuju na ekranu instrumenta. Otkrivena sumnjiva mjesta pregledaju se zatim dalekozorom sa zemlje ili penjanjem na stup. Električki kontrolni uređaj pokazao se vrlo korisnim, no treba ga još usavršavati. Treba primijetiti da se ispitivanja mogu vršiti samo na jednosistemskim vodovima, a poznato je da se npr. u Evropi, zbog poteškoća s trasama, grade većinom vodovi s više sistema.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 89 (1990), br. 4

Mrk.

### UŠTEDE ELEKTRIČNE ENERGIJE KUĆANSKIH APARATA

Njemačka industrija električnih kućanskih aparata objavila je da je u razdoblju 1978–1985. potrebna energija kućanskih aparata drastično smanjena. Ostvarene uštede koje se

mogu postići vrlo su velike, a u najnovijim proizvodima još se i povećavaju. O kolikim se uštedama u prosjeku radi kod koje vrste aparata, može se za dva vremenska razdoblja vidjeti iz sljedećeg pregleda:

	1978–1985.	1985–1988.
Stroj za pranje rublja	17,6%	11,1%
Stroj za pranje posuđa	28,9%	10,7%
Pećnica	15,7%	3,1%
Hladnjak	21,5%	7,7%
Zamrzivač	36,8%	4,3%
Bojler	31,3%	5,7%

Osim što industrija proizvodi štedne konstrukcije, u Njemačkoj su korisnici tih aparata opširno poučavani kako treba aparatima rukovati i kako ih upotrebljavati da ušteda energije bude što veća.

*ETZ*, god. 111 (1990) br. 4

Mrk.

### RASVJETA PANOJA POMOĆU SOLARNIH ČELIJA

Tramvajska uprava u Frankfurtu (SR Njemačka) pokusno je montirala na nekoliko mjesta u gradu, u slabije osvijetljenim ulicama, stranične panoe s voznim redom i opremila ih solarnim ćelijama. Solarni modul ugrađen je na vrhu panoa. Po danu puni priključnu bateriju, koja pak u mraku daje struju za rasvjetu voznog reda. Posebnim tasterom, pomoću elektronike, daje se impuls za paljenje, a rasvjeta se pojačava tzv. fluorescentnim kolektorom.

*Energie*, god. 42 (1990), br. 1/2

Mrk.

## **GRADNJA NUKLEARNE ELEKTRANE U MAĐARSKOJ**

Mađarska predviđa mogućnost gradnje nuklearne elektrane čija bi se proizvodnja djelomično ili potpuno izvozila. Elektranu bi se gradila u kooperaciji s Kanadanima. Izvoz energije služio bi zemlji kao izvor deviza. Za financiranje ovog pothvata Mađarska bi trebala dobiti avans od budućih potencijalnih kupaca energije Austrije i Italije.

*RGE*, god. 1990, br. 2

Mrk.

## **MODERNIZACIJA TERMoeLEKTRANA U EGIPTU**

Egipat je sa SAD sklopio ugovor o financiranju modernizacije i proširenja svojih termoelektrana. Ukupna svota iznosi 136 milijuna USD. Egipat nastoji podignuti svoju energetske efikasnost pošto je podigao cijenu električne energije u ožujku 1989. za 30 do 40%. Namjerava se također da se po-takne korištenje prirodnog plina u termoelektranama.

*RGE*, god. 1990, br. 2

Mrk.

## **MEKSIKO GRADI NOVE HIDROELEKTRANE**

Uz financijsku pomoć Svjetske banke od 460 milijuna dolara Meksiko gradi dvije velike hidroelektrane. Jednu na rijeci Aguamilpa snage 960 MW, a drugu na rijeci Zimapan snage 280 MW, udaljene 250 km od glavnoga grada Meksika. Gradnja brane prve elektrane tražit će preseljenje od tisuću stanovnika, a gradnja druge oko 2 500 stanovnika. Ove će elektrane znatno povećati proizvodne mogućnosti državnog poduzeća Comision Federal de Electricidad (CFE).

*RGE*, god. 1990, br. 2.

Mrk.

## **SUPROVODLJIVI MAGNETSKI AKUMULATORI ENERGIJE (SMAE)**

Poznato je da u svitku kojim potječe struja nastaje magnet-sko polje koje predstavlja određenu potencijalnu energiju. Rušenjem magnetskog polja ta se energija oslobađa i stoji kao električna energija direktno na raspolaganju bez transformacije. Na taj način magnetski svitak može biti spremnik ili akumulator energije. Kako se za održavanje samoga magnetskog polja ne troši energija, gubici nastaju samo u vodičima zbog protjecanja struje. Ako se radi o velikim strujama, a to je upravo slučaj pri magnetskim akumulatorima energije, gubici u vodičima su vrlo veliki, pa je jedino ekonomično ugraditi suprovodljive vodiče. Proračuni pokazuju da bi za određene primjene SMAE bili prihvatljivi i s klasičnim supevodičima hlađenim tekućim helijem, a novopronađeni visokotemperaturni supramaterijali pružaju naravno mnogo ekonomičnije rješenje.

Kako koncepcija SMAE bitno ovisi o primjeni, oni se dijele na velike, reda veličine 3 600 GJ, i male, oko 500 MG. Veliki SMAE se studiraju u SAD i Japanu. Dosada je napravljen samo samo jedan projekt za manji uređaj koji bi trebao izravnati dnevne vrhove opterećenja. Veliki takvi uređaji su u stadiju studiranja.

Mnogo je više rađeno na mogućnosti primjene SMAE male snage za potrebe regulacije.

Američka elektroprivredna kompanija BPA ugradila je uređaj SMAE, snage 30 MJ u spojni vod mreže da stabilizira njihanje snage. Pogon je ispunio očekivanja i testiranje je uspjelo. U Japanu je na mrežnom modelu simuliran rad SMAE kao istovremenog regulatora aktivne i jalove snage. Područje primjene malih SMAE u regulaciji vrlo je široko. Ovakav uređaj djeluje stabilizirajuće na napon i pomaže djelovanje regulatora napona. U blizini potrošača SMAE može reducirati samoregulirajući efekt mreže. U blizini generatora, pak, prigušuje njihanje snage, a djeluje i na primarni regulator generatora. U kratkom vremenskom razdoblju energija iz SMAE je dovoljna da upotpuni bilancu snage dok ne proradi primarni regulator. Regulator može zbog toga djelovati mnogo elastičnije. Na simulatoru se pokazalo da npr. uz generator snage 820 MVA, ugrađen SMAE 300 MJ, s mogućnošću pražnjenja od 10 s, bitno poboljšava dinamičku stabilnost i kvalitetu napona. Prema njemačkim projektima i procjenama SMAE od 300 MJ, s brzinom pražnjenja od 30 kA/s, stajao bi oko 30 milijuna DEM. Spomenuti je projekt predvidio supravodljive vodiče NbTi. Projekt je već sada atraktivan uz niskotemperaturne suprovodiče. Može se zaključiti da SMAE male snage, zbog svoje brze reakcije, predstavljaju odličan uređaj za rješavanje istovremenih različitih zadataka regulacije.

SMAE jedinice velike snage mogu se upotrijebiti za glačanje dnevnog dijagrama ili čak preuzeti vrhove opterećenja. Teorijski bi se takvi svici mogli graditi do neograničene snage, ali treba uzeti u obzir ograničenja tehničko-ekonomske naravi. No ovakvim velikim uređajima konkurentna su klasična rješenja, tj. konvencionalni spremnici energije, npr. pumpnoakumulacione hidroelektrane. Kod malih SMAE je dominantna brzina raspoloživosti energije, što je velika prednost pri regulaciji.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 89 (1990), br. 3

Mrk.

## **PROTIVNICI MALIH HIDROELEKTRANA**

Ribarsko društvo u Badenu (SR Njemačka) diglo je svoj glas protiv preporuke zemaljske uprave da se rječice i potoci iskoriste za izgradnju malih hidroelektrana. Društvo smatra da potoke Švarevalda treba održati netaknute i da bi izgradnja hidroelektrana predstavljala uništavanje prirodnog okoliša.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 89 (1990), br. 4

Mrk.

## **STRUJA SR NJEMAČKE U RUMUNJSKU**

Prema dogovoru iz siječnja 1990. SR Njemačka će pomoći Rumunjskoj privredi stavljanjem na raspoloženjem snage od 300 MW. Po jednu tečinu ove snage dat će Elektroprivredno poduzeće Westfalen AG, Elektroprivredno poduzeće Schwaben (EVS) i RWE. Ova akcija pomoći koordinirana je od poduzeća RWE, a energija je dobavljena Rumunjskoj preko Austrije, Čehoslovačke i Mađarske.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 89 (1990), br. 4

Mrk.

## **EMISIJA SUMPORNOG DIOKSIDA U EVROPI**

Prema izvještaju Ekonomske komisije UN za Evropu najveći Evropski zagađivač sumpornim dioksidom je evropski dio SSSR-a. On izbacuje godišnje (1985) u atmosferu 11,1

milun tona tog plina, što čini oko 25% ukupnog zagađivanja od 45 milijuna tona. Ostali veći evropski zagađivači su sljedeći, uz navedenu emisiju sumpornog dioksida.

Njemačka DR	5,0 milijuna tona	Francuska	1,84 milijuna tona
Poljska	4,3 milijuna tona	Jugoslavija	1,80 milijuna tona
Velika Britanija	3,54 milijuna tona	Mađarska	1,42 milijuna tona
Španjolska	3,25 milijuna tona	Bugarska	1,14 milijuna tona
Čehoslovačka	3,15 milijuna tona	Belgija	0,46 milijuna tona
Italija	3,15 milijuna tona	Finska	0,37 milijuna tona
Njemačka SR	2,44 milijuna tona	Grčka	0,36 milijuna tona

Uzima li se ukupno svjetsko zagađivanje ugljik-dioksidom iz fosilnih goriva kao 100%, pojedini dijelovi svijeta imaju sljedeće udjele:

Zapadna Evropa	15,4%
Istočna Evropa	21,7%
SAD i Kanada	28,1%
Kina	13,0%
Azija i Australija	12,0%
Zemlje u razvoju	9,8%

*Energie*, god. 42 (1990), br. 3

Mrk.

## ISKORIŠTAVANJE ENERGIJE VJETRA U EVROPI

U korištenju vjetra za proizvodnju električne energije prva je u Evropi Danska. Proizvodnjom od 290 milijuna kWh ona je tim putem pokrivala 0,9% ukupnih potreba. Danska proizvodi 94% potrebne električne energije loženjem jeftinog uvoznog ugljena. Ukupna instalirana snaga njezinih vjetroelektrana iznosila je 1988. godine 200 MW, dakle jedan osrednji termoblok. Druga je u korištenju vjetra Nizozemska. Instalirana snaga njezinih vjetroelektrana iznosi 30 MW, a godišnja proizvodnja 50 milijuna kWh, što čini 0,1% njezine ukupne proizvodnje. Treća je SR Njemačka sa instaliranih 11,5 MW i proizvodnjom od 12 milijuna kWh, pri ukupnoj proizvodnji zemlje (1988) od 384 milijardi kWh.

*ÖZE*, god. 43 (1990), br. 2

Mrk.

## PROJEKT GRADNJE SOLARNIH ELEKTRANA U SJEVERNOJ AFRICI

Nedavno se Zürichu (Švicarska) sastao skup od 350 eminentnih svjetskih stručnjaka za pitanja iskorištenja Sunčeve energije i dobivanja vodika elektrolizom. Skup je sazvala međunarodna organizacija CMDC (Cercle Mondial du Consensus) osnovana u Švicarskoj 1983. Predmet rasprave bio je veliki projekt nazvan Shee-Tree, kao kratica punog imena Solar Hydrogen and Electric Energy-Trans European Enterprise.

Da bi se smanjila potrošnja fosilnih goriva i emisija ugljik-dioksida projekt obrađuje mogućnost proizvodnje vodika pomoću Sunčeve energije u pustim prostorima zemalja sjeverne Afrike. Izgradile bi se termičke solarne elektrane, jer su mnogo ekonomičnije od elektrana s fotovoltaičkim ćelijama, a cijena im je po prilici trećina fotovoltaičkih. Takav tip solarnih termičkih elektrana sagrađen je u Kaliforniji, u pustinji Mojave, a ukupna je nazivna instalirana snaga od

275 MW. Najnovija elektrana ima 80 MW i zasada je najveća solarna elektrana na svijetu. Elektrane daju energiju u mrežu kompanije California Edison. Za lokaciju solarnih elektrana u sjevernoj Africi odabrana su pusta kamena područja da se izbjegnu pješčane oluje. Površina je takvih područja oko 400 000 km<sup>2</sup>. Insolacija iznosi više od 2 300 kWh/m<sup>2</sup> godišnje prema 1 400 kWh/m<sup>2</sup> u Srednjoj Evropi. Ako bi se željelo vodikom, kao nosiocem energije, pokriti 50% godišnjih energetske potreba Švicarske, trebalo bi zauzeti prostor od 1 400 do 1 900 km<sup>2</sup> i time uštediti 2/3 fosilnih goriva koja se danas troše u Švicarskoj. Da se pak dobi je tolika količina vodika, trebalo bi izgraditi instaliranu snagu elektrana od 54 GW. Razmotrena je mogućnost da se dio proizvedene električne energije prenese u Evropu istosmjernim visokonaponskim sistemom, odnosno kombinirano. Elektrane bi se gradile u četiri sjeverno afričke zemlje: Libiji, Alžiru, Tunisu i Maroku. Libija je posebno zainteresirana za projekt jer bi joj to bio jedini domaći izvor energije nakon iscrpljenja naftnih nalazišta početkom sljedećeg stoljeća.

Projektom je predviđen plinovod između Tunisa i Sicilije, a položen bi bio uz postojeći. Duljina plinovoda, promjera 1,4 m, iznosila bi 3 300 km, od toga 175 km pod morem. Tlak u plinovodu bio bi 80 bara, a transportni kapacitet 80 milijardi m<sup>3</sup> vodika. U prvoj bi se fazi vodik miješao sa zemnim plinom, koji se već dobavlja Italiji iz Afrike. Realizacija projekta počela bi, prema predviđanjima, oko godine 2000. Izgradnja cjevovoda trajala bi 2–3 godine, a tražila bi investicije od 11,6 milijardi CHF. Planeri predviđaju da bi cijeli program stajao oko 220 milijardi CHF.

Organizacija CMDC dala je svoj plan na mišljenje Švicarskom saveznom uredu za energetiku. Zaključak je da plan nije realističan, premda će vodik kao nosilac energije u budućnosti igrati vidnu ulogu.

*Energie*, god. 42 (1990), br. 3

Mrk.

## UDARNI GENERATOR ZA ISPITIVANJE KABELA

U toku je ostvarenje projekta da se iz kanadske provincije Quebec, koja je bogata vodnim snagama, dalekovodom prenese energija u sjeveroistočni dio SAD. Pritome bi trebalo dalekovodom premostiti Rijeku Sv. Lovrijenca. Međutim, zbog zaštite okoliša od toga se odustalo i prihvatilo se kabelski prijevoz. Da bi se pak moglo provesti visokonaponska ispitivanja prikladnog plastičnog kabela, naručen je kod tvrtke Haefely (Švicarska) udarni generator, kao simulator atmosferskih prenapona. Generator daje udarne napone 300 kV. Visina mu je 20 m, a montiran je na otvorenom.

*Energie*, god. 42 (1990), br. 3

Mrk.

## NAJVIŠI STUPANJ DJELOVANJA KOMBITERMOELEKTRANE

U Utrechtu, u Nizozemskoj puštena je u pogon kombinirana termoelektrana »Pegasus 12«. Pri preuzimanju izmjerena je u svijetu najbolja netokorisnost od 52%. To je najveća korisnost pri proizvodnji električne energije iz fosilnih goriva koja je dosada postignuta.

Elektrana je plinsko-turbinska toplana, maksimalne električne snage 225 MW. Od toga 150 MW daje plinska turbina, a 75 MW parna turbina. Najveća ogrjevna snaga pri reduciranoj proizvodnji električne energije iznosi 210 MW. Pri

takvom pogonu iskorištenje goriva postiže optimum od 86%.

Elektranu je u cijelosti dobavila tvrtka ABB (Asea Brown Boveri).

Plinovi izgaranje goriva, zemnog plina, kao CO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>, sniženi su na ekstremno male količine, kudikamo ispod propisanih u Nizozemskoj.

Dakle, kombielektrane nisu samo vrlo ekonomične već i pogodne za čistoću odkoliša.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 89 (1990), br. 5

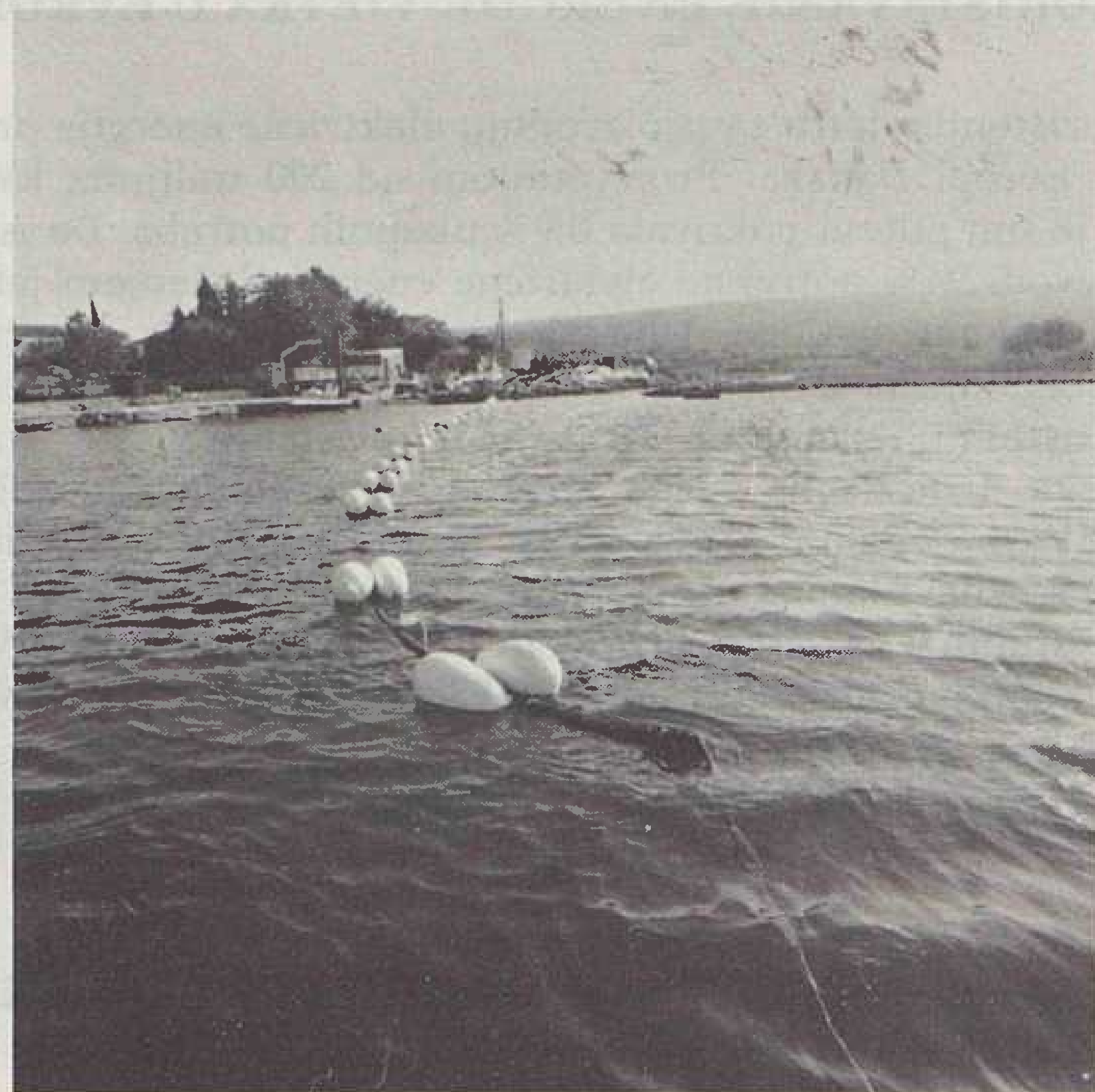
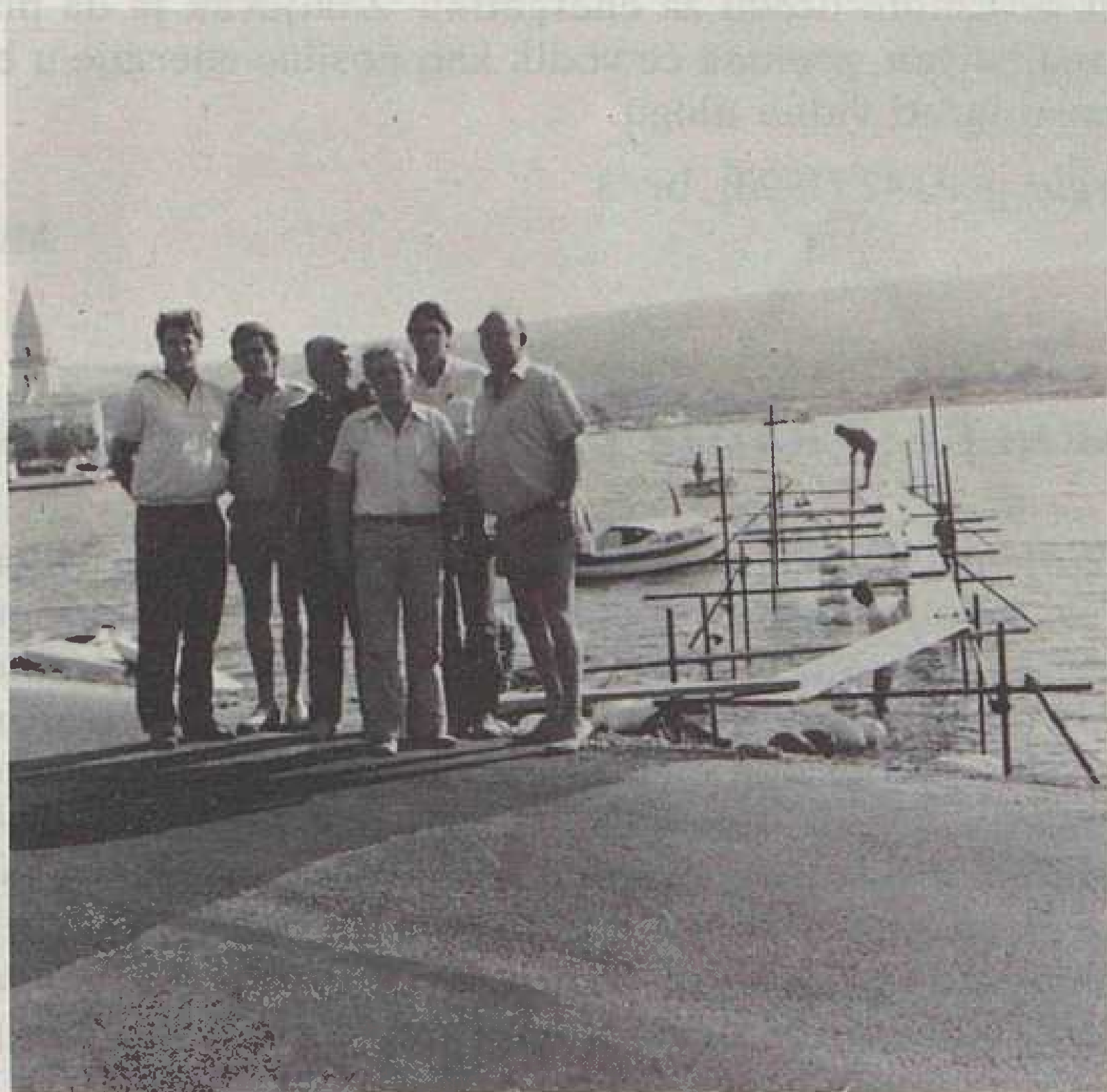
Mrk.



**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**

ČASOPIS  
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

# energija

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Godište 39 (1990)

Zagreb 1990

Br. 5

Hrvatska elektroprivreda  
Institut za elektroprivredu, Zagreb  
SIZ za znanstveni rad Hrvatske

## SADRŽAJ

<i>Subašić D.</i> : Uloga i značaj nadoknade u lociranju kon- traverznih objekata (Pregledni rad) . . . . .	355
<i>Knapp V.</i> : Globalno zagrijavanje i razvoj energetike (Pregledni rad) . . . . .	361
<i>Drezga I.</i> : Financijsko vrednovanje mjera za racional- no korištenje energije (Pregledni rad) . . . . .	371
<i>Majstrovic M.</i> : Analiza slučajnih vrijednosti struje kratkog spoja u elektroenergetskom sistemu (Ori- ginalni znanstveni rad) . . . . .	381
<i>Krajcar S.</i> : Interaktivno optimalno planiranje razdjel- nih mreža — strukturiranje prstenaste mreže (Ori- ginalni znanstveni rad) . . . . .	387
<i>Markovčić B.</i> : Tendencija razvoja istosmjernih visoko- naponskih sistema (Pregledni rad) . . . . .	393
<i>Nikolovski S.</i> — <i>Mravak I.</i> : Tehnoekonomski pristup dimenzioniranju nadzemnih prenosnih vodova (Pregledni rad) . . . . .	397
<b>Vijesti iz elektroprivrede</b> . . . . .	403
<b>Iz strane stručne literature</b> . . . . .	405
<b>Oglasi</b> . . . . .	411

## IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

Dr Niko *Malbaša*, Institut za elektroprivredu, Zagreb — Jo-  
sip *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. inž., Ministarstvo energetike — Zdenka  
*Jelić*, prof., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Mr.  
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, Zdenko  
*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: Mr. 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 180,00  
dinara, a za poduzeća i ustanove 300,00 dinara (za studente 120,00)  
dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišej — Print: TIZ »Zrinski«, Čakovec



# EMO OHRID

## Elektroindustrija i inženjering

96000 Ohrid

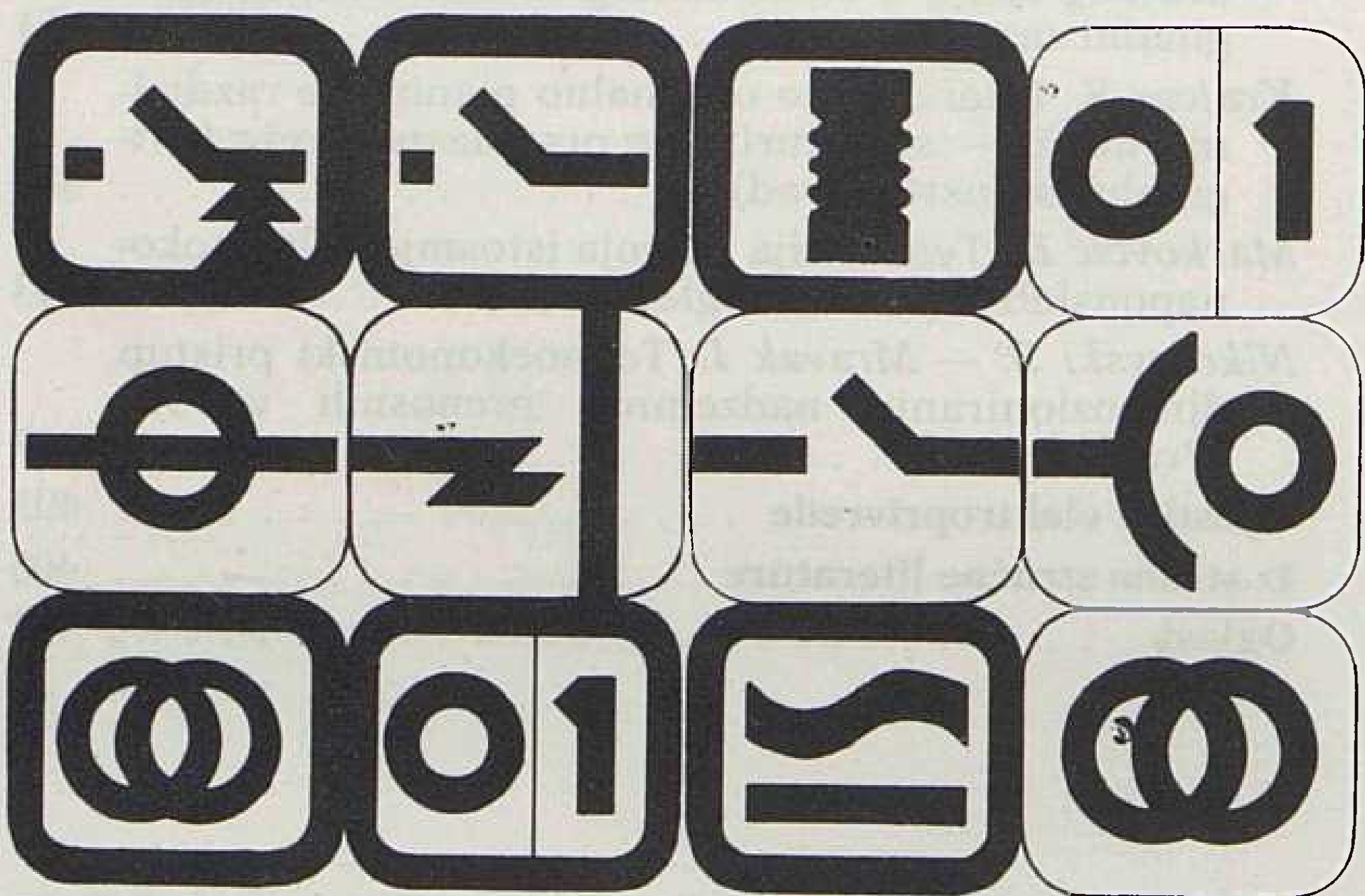
P. Fah 118

telefon: 096/34-944

telex: 53829 YU EMOOH

telefax: 33690

- Elektropostrojenja za srednji napon, do 36 kV
- Elektropostrojenja za niski napon
- Modularni niskonaponski sistemi
- Distributivni transformatori do 10000 kVA
- Mjerni strujni transformatori za srednji i niski napon
- Naponski mjerni transformatori
- Potporni i provodni izolatori od epoksidnih smola, do 36 kV
- Rasklopni aparati za srednji i niski napon
- Automatika i elektronika
- Fleksibilni sistemi
- Stupovi za javnu rasvjetu
- Čelično rešetkasti stupovi, do 400 kV
- Ovjesna i spojna oprema za dalekovode, do 400 kV
- Elektrostatski filteri
- Površinska zaštita i limeni proizvodi
- Hladnooblikovani profili i metalni proizvodi



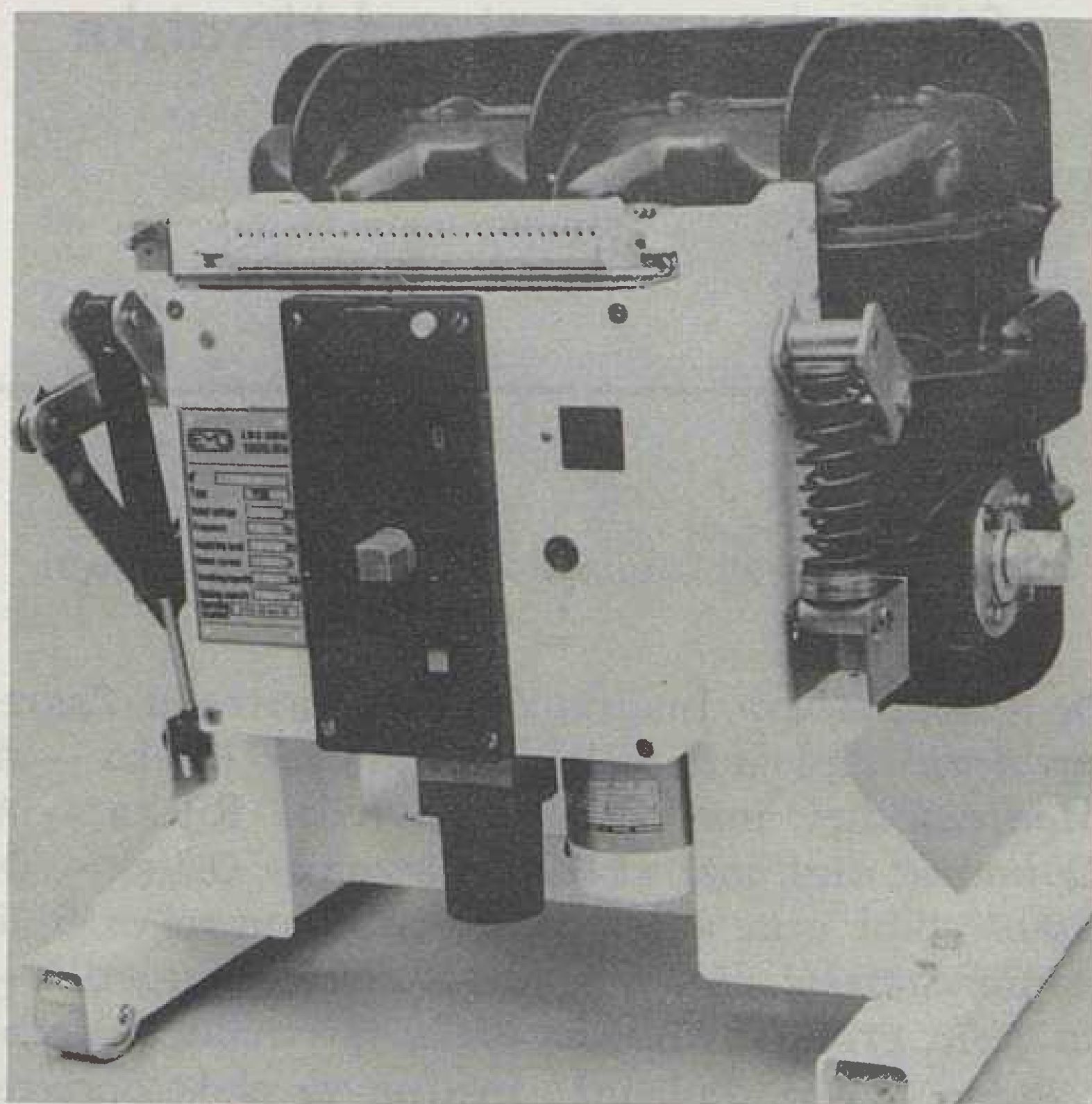
## INŽENJERING

— Preuzimanje kompletnih radova po sistemu »ključ u ruku«, odnosno projektiranje, proizvodnja i nabavka materijala i opreme, transport, montaža, ispitivanje i puštanje u pogon:

- Dalekovode svih napona
- Visokonaponske i niskonaponske mreže
- Elektroinstalacije (motorski razvod, automatika, instalacije za unutrašnje i vanjsko osvjtljenje, gromobranske instalacije i dr.)
- Elektrostatske filtere za suho prečišćavanje otpadnih plinova
- Metalne konstrukcije za tvorničke hale, mostove, visokonaponska razvodna postrojenja i dr.
- Cjevovode, naftovode, plinovode i dr.
- Hidro i termoelektrane, rafinerije, skladišta, silosa, objekte za crnu i obojenu metalurgiju, kemijsku industriju i dr.



Kelija sa izvlačivim SF6 prekidačem, 12 kV



SF6 prekidač, 12 kV, 1250 A



Suhi transformator, 630 kVA  
Termička klasa izolacije H

# ULOGA I ZNAČAJ NADOKNADE U LOCIRANJU KONTRAVERZNIH OBJEKATA

Mr. Damir S u b a š i ć , Zagreb

UDK 620.9:577.4  
PREGLEDNI RAD

Sadašnjem zastoju se u lociranju konverzanih objekata, kao što su odlagališta otpada, elektrane, brze autoceste, kemijski kompleksi i drugi, rasčlanjuju uzroci i jednom od tih uzroka predlaže rješenje. U tu svrhu je razmatrano što je to nadoknada, za što se daje i kakva je praksa i iskustvo u dosadašnjoj njezinoj primjeni kod nas i u svijetu. Zaključak ukazuje na neophodnost korištenja nadoknade u postupku lociranja konverzanih objekata.

**Ključne riječi:** konverzni objekti, naknada, zagađivanje, zaštita okoliša.

## 1. LOCIRANJE KONTRAVERZNIH OBJEKATA

Evidentna činjenica da je prostor ograničen i osnovni resurs opstanka konačno je općeprihvaćena. Ona je utjecala da individualno ukorijenjena briga o okolnom životnom prostoru preraste u organizirani društveni sustav za promišljeno i racionalno korištenje prostora. Javnost rada i demokratičnost postaju uz stručnost i kod nas vrlo bitni elementi tog sustava. U takvom okruženju lociranje konverzanih objekata, to jest njihov razmještaj u prostoru, dokraja je zaoštren proces pun sporova, a često i sukoba. Donedavno nismo bili svjesni težine problema lociranja, o kojem su nam vijesti dolazile uglavnom iz najrazvijenijih zemalja. Danas smo potpuno svjesni i problema, a naročito posljedica.

Nigdje problem nije evidentniji nego na primjeru lociranja trasa brzih autocesta ili odlagališta otpada, a ako se radi još o radioaktivnom otpadu (RAD) slika je kompletna. Svi su suglasni da se autoceste i odlagališta otpada trebaju izgraditi što prije i tu nema ni spora pa čak ni razlika u mišljenju. Međutim, čim se spomene konkretna lokacija, javlja se uglavnom vrlo izrazit, ponekad i žestok, otpor lokalnog stanovništva. Problem je gotovo isti i za druge konverzne objekte: elektrane, dalekovodi, akumulacije, kemijski kompleksi, zatvori, bolnice pa čak i stambeni kompleksi. Toliko je raširen i općenit da je u stručnoj literaturi dobio posebno ime, to jest označava se kao sindrom NIMBY. Kratica je toliko poznata da je postala dio žargona pa se malokad spominje od čega je nastala, a to je »not-in-my-backyard« (ne u mom dvorištu). Iako kratica NIMBY vrlo dobro opisuje cjelinu ponašanja bar jednog dijela ljudi, ona ipak prikriva svu kompleksnost i legitimnog spornih pitanja uključenih u proces lociranja. Ako se želi lociranje imalo olakšati, moraju se kao prvo potpuno razumjeti sva ta sporna pitanja.

Sušтина sporenja nije u znanstvenim ili tehnološkim aspektima. Čak i najbolja, besprijekorna tehnološka

rješenja ne otklanjaju probleme s prihvaćanjem lociranja od lokalne društveno političke zajednice (DPZ). Po mnogim glavni je problem u metodi i samom procesu izbora lokacije (1).

Metode izbora lokacije su u posljednjih dvadesetak godina evoluirale od jednostavnog prekrivanja i zaklanjanja (screening) do vrlo sistematičnih i sofisticiranih kompjutorima potpomognutih tehnika. Bitna značajka većine tih metodologija je tehnička racionalnost u pronalaženju optimalne lokacije. U cijelom postupku lociranja dominira odnos između tehnologije i okoliša. Tehnologija ne smije utjecati na okoliš preko neke prihvatljive mjere, a okoliš diktira izbor nekih tehnoloških opcija. Tek ako su ova dva aspekta ispunjena, razmatraju se ostali, to jest društveni aspekti lociranja. Mala težina koja se daje društvenim aspektima najbitniji je nedostatak procesa lociranja. Većina provedenih analiza (1) pokazala je da su glavni »društveni« razlozi — uzroci neprihvatanja i protivljenja lokalnog stanovništva sljedeći:

- **Percepcija rizika bitno je različita između stručnjaka i laika.** Dok stručnjaci hladno racionalno smatraju da je spremnost prihvaćanja rizika trgovina između koristi i štete, dotle laici očekivanju smrtnost uzimaju kao jedini pokazatelj, bez obzira na vjerojatnost (slično lutriji gdje visina dobitka privlači uglavnom ljude niže obrazovne razine bez obzira kolika je vjerojatnost za dobitak).
- **Nepravda u raspodjeli dobiti i štete od objekta.** Lokalnom stanovništvu pripada sva šteta (loše strane), cijelom društvu samo korist od objekta. Ovo će biti u nastavku posvećeno više pažnje.
- **Lokalna sredina postaje žigosana (stigmatizirana).** Zato što je u njoj smješten konverzni objekt, okolica gubi na prestižu i ugledu i postoje manje poželjna da se u njoj živi.
- **Gubitak kontrole lokalnog stanovništva u odlučivanju o lokaciji.** Zagovornici (investitori) nametljivo, prepotentno i bezrezervno opravdavaju lokaci-

ju te lokalnom stanovništvu naturaju i pripisuju krivicu za štete od kašnjenja u realizaciji projekta od opće važnosti. Često se problem politizira pa se politički intervenira na lokalno stanovništvo, što samo potvrđuje uvjerenje o nikakvoj ulozi u odlučivanju. Stanovnici gube kontrolu, a nerijetko i učešće u odlučivanju o tome što će dobiti u susjedstvu. Ponekad se izbor lokacije doživljava čak kao kazna izrečena i donesena u procesu u kojem lokalna DPZ nije imala pravo da se oglasi, sudjeluje ili da se brani. Revolt koji na ovakvim uvjerenjima nastaje potpuno je racionalno ponašanje izigranog stanovništva.

- **Nepovjerenje u institucije sistema**, i to u prvom redu u investitora zatim u upravne organe koji reguliraju izgradnju i rad objekata te u druge državne organe.

Od pet navedenih uzroka najbitniji i presudni su nepravda u raspodjeli dobit — šteta i gubitak kontrole odlučivanja. Ako se uzroci uklone ili ublaže, ostala tri moguće je mnogo lakše ukloniti.

Bez pretenzija da se uspostavlja daljnji prioritet između dva najbitnija uzroka isključivo zbog pragmatičnih razloga, tj. zbog aktualnosti jednog od njih u sadašnjim aktivnostima na izboru lokacije za odlagalište RAO, njemu će se posvetiti u nastavku sva pažnja. Za gubitak kontrole treba ovom prilikom samo napomenuti da upućuje na potrebu vrlo radikalnog zaokreta u postupku lociranja i to od zatvorenog tehnokratskog donošenja odluka ka javnom kolaborativnom rješavanju problema.

## 2. NADOKNADA ZA LOCIRANJE KONTRAVERZNIH OBJEKATA (ŠTA JE NADOKNADA?)

Lociranje kontraverznog objekta neizbježno uključuje nepravdičnost u raspodjeli štete i koristi. Općenito, korist od objekta proširena je na cijeli teritorij neke DPZ, a šteta (negativan utjecaj objekta) je uglavnom lokalno usmjerena. Zato je nadoknada lokalnoj (nekad lokalnim) DPZ za bilo koje opterećenje koje mora trpjeti na račun dobrobiti šire zajednice ključna za fer i pravičan proces lociranja.

Odmah na početku treba izbjeći miješanje nadoknade za utjecaj na okolinu (sociološki pojam), to jest na lokalnu DPZ, s mjerama za umanjene utjecaja na okoliš (ekološki pojam). Čak i uz najbolje tehničke mjere za umanjene utjecaja na okoliš (kao npr. ugradnja najboljeg uređaja za sprečavanje zagađenja zraka ili vode) utjecaj na okolinu (lokalne DPZ) nekog objekta neće nestati. Zbog toga je i razumno i fer zahtijevati da svaka nevolja, smetnja, patnja ili poteškoća koja se u lokalnim DPZ može očekivati bude kompenzirana, bilo direktno ili indirektno, financijski i nefinancijski.

Također treba naglasiti razliku između nadoknade i ekoloških davanja, poreza ili taksa kakva kod nas postoji tek u Sloveniji (2). Osnova za ekološka davanja je u općeprihvaćenoj frazi — izeci »polluter pays« (za-

gađivač plaća), što znači da je to nadoknada za zagađenje, a time i neizbježno oštećenje okoliša (ekosistema). Ubrana sredstva država ne plasira isključivo lokalno na poboljšanje zaštite i unapređenje lokalnog okoliša, već tamo gdje su efekti najveći. Nekada se sredstva koriste za smanjenje poreza i ostalih financijskih terećenja nekih drugih objekata koji nisu cijenom proizvoda konkurentni, ali su s aspekta zaštite okoliša vrlo prihvatljivi. Tako je npr. potkraj 1989. godine u Švedskoj (3) predloženo propisivanje takse na objekte za proizvodnju energije, i to:

- 30 SEK (švedskih kruna) (15 dinara) po kg emitiranog sumpora iz sagorijevanja fosilnih goriva
- 40 SEK (20 dinara) po kg dušikovih oksida emitiranih iz objekata koji proizvode više od 50 GWh/g energije (električne ili toplinske)
- 0,25 SEK (0,13 dinara) po kg ugljičnog dioksida emitiranog industrijskim sagorjevanjem fosilnih goriva.

Prikupljena sredstva bi se koristila za stimulaciju proizvodnje električne struje na racionalnom i efikasnom korištenju goriva:

- kombiniranoj proizvodnji struje i topline smanjuju se davanja u iznosu od 0,04 SEK (0,02 dinara) po kWh
- elektranama koje koriste obnovljivo gorivo pripada subvencija od 0,1 SEK (0,05 dinara) po kWh
- elektranama koje rade na vjetar ili Sunčevo zračenje pripada subvencija od 0,14 SEK (0,07 dinara) po proizvednom kWh.

Ocjenu se da bi ovakva preraspodjela rezultirala u povećanju cijene grijanja prosječne švedske obitelji za 75 do 150 SEK (38–75 dinara) mjesečno. Kao što je iz ovog primjera očito, i lokalna i šira zajednica ravnopravno snose trošak očuvanja i zaštite okoliša, pa nepravdična veća šteta lokalnoj zajednici nije nadoknađena.

Nadoknada nikako nije kompenzacija za neadekvatan i neprihvatljiv utjecaj na okoliš ili za neprihvatljiv rizik od tehnoloških događaja (havarija) na objektu. S aspektima lociranja, projektiranja izgradnje i pogona objekta koji garantiraju prihvatljiv utjecaj na okoliš i tehnološku sigurnost ne može biti rasprave ni pregovora o kompenzaciji. Objekt mora ispunjavati propisane norme sigurnosti i utjecaja na okoliš, i tu ne smije biti kompromisa. To je jednako važno i za investitora i za cijelu i lokalnu i širu zajednicu.

Nadoknadu je moguće protumačiti i kao korupciju, podmićivanje ili potkupljivanje lokalne DPZ, pa je time obezvrijediti i kompromitirati do razine obične prevare. Mogućnost takve interpretacije realna je možda čak i vrlo vjerojatna. Šteta od takve interpretacije može biti tolika da čak kompletno diskreditira cijeli projekt, to jest primora na trajno odustajanje od izgradnje objekta. Zbog toga je osnovanost ovakve interpretacije nadoknade nužno pomno raščlaniti i ocijeniti, a nalaze javno obznaniti, to jest preventivno treba onemogućiti pogrešno tumačenje.

Po definiciji mito ili korupcija jest sve što se obeća ili daje kao uzvrat za radnju ili uslugu, koja se teme-



lji na izigravanju povjerenja, moralnih (etičkih) normi ili zakona. Zbog toga mito nije ni zaslužena (opravdana) ni legalna nagrada. Nadoknada o kojoj se ovdje raspravlja kao prvo je vrlo zaslužena. Kao drugo ona je eksplicitna komponenta postupka lociranja, pa nije nelegalna. Ona je unaprijed jasno i javno definirana kako u pogledu svojih elemenata i kriterija primjene, tako i u pogledu ograničenja. Osnovana je na znanom, zamjetljivoj, mjerljivoj i dokazivom utjecaju koji objekt izaziva u lokalnim DPZ, o čemu detaljnije u nastavku. Ako su svi standardi i norme sigurnosti i zaštite okoline ispunjeni kao što su propisani, o čemu ne smije biti dileme, onda preostaje malo mogućnosti da se nadoknada proglašuje zloupotrebom ili prevarom, tj. mitom.

Pošto je prethodno izloženo da nadoknada nije a) tehnička mjera kojom se umanjuje utjecaj tehnologije na okoliš ili se smanjuje rizik, b) ekološki porez (taksa), c) kompenzacija za manjkave, neadekvatne tehnološke mjere smanjenja rizika i utjecaja na okoliš, te d) mito za prihvaćanje lokacije, ostaje da se utvrdi svrha nadoknade.

Lokalnim DPZ daje se nadoknada za sve neželjene utjecaje koji im se nameću i donose lociranjem kontraverznog objekta, a nisu u vezi s okolišem, tj. ekosistemom. Svrha nadoknade nije da samo izravna negativne utjecaje već i da donese neto korist, tj. da u svakom pogledu unaprijedi lokalnu zajednicu. Ona predstavlja priznanje i uzvrat za uslugu koju lokalne DPZ čine prihvaćanjem lociranja kontraverznog objekta.

Nadoknadu daje investitor objekta, no posredno kod većine kontraverznih (uglavnom infrastrukturnih) objekata to je najčešće šira DPZ, jer se najčešće radi o objektima šireg društvenog značaja. Zbog toga nadoknada dokazuje da šira DPZ ne namjerava kazniti lokalnu DPZ, to jest da je lokacija izabrana po kazni, već da šira DPZ razumije sve poteškoće koje će lokalna DPZ imati. Ona dokazuje da je šira DPZ spremna te poteškoće umanjiti, a dodatno zato što je lokalna DPZ pristala snositi, to jest trpjeti negativne utjecaje objekta od općeg značaja, šira DPZ će se brinuti za opće unapređenje i razvoj lokalne DPZ. Nadoknadom investitor (šira DPZ) dokazuje da namjerava uspostaviti fer odnos i da ne misli isključivo na svoje interese, to jest korist.

### 3. UTJECAJI KONTRAVERZNIH OBJEKATA NA LOKALNU ZAJEDNICU

Za uspjeh lociranja vrlo je važno da što više a po mogućnosti svi negativni i neželjeni utjecaji na lokalnu DPZ budu nadoknadom obuhvaćeni. Zbog toga u nastavku slijedi pregled i pokušaj sistematizacije onih utjecaja koje treba razmotriti pri odlučivanju o nadoknadi.

Vrsta i veličina utjecaja nekog objekta na lokalnu zajednicu ovisi o tipu i veličini objekta, njegovim tehničkim rješenjima, lokaciji, veličini lokalne zajednice, njezinim resursima, njenoj razini razvijenosti i

mnogim drugim karakteristikama. Da se spriječi pretjerana općenitost, u nastavku će se razmatrati utjecaji odlagališta RAO na malu lokalnu zajednicu. Istovremeno pokušat će se ne biti previše specifičan tako da se potpuno ne izgubi primjenjivost razmatranja i na druge tipove objekata.

Utjecaj odlagališta RAO na lokalnu zajednicu moguće je podijeliti u šest glavnih vrsta.

#### 3.1. Ekonomski utjecaj

Može biti pozitivan i negativan. Od pozitivnih najznačajniji je omogućavanje novog i boljeg zaposlenja bilo u izgradnji ili u radu objekta, zatim razvoj kompatibilnih komercijalnih aktivnosti, te opći poticaj ekonomskom razvoju. Ako to lokalna DPZ može pružiti, znatan pozitivan utjecaj je nabava i potrošnja raznih lokalnih dobara i korištenje lokalnih uslužnih djelatnosti.

Od negativnih je najznačajniji eventualni gubitak mogućnosti da se u lokalnu zajednicu ulaže zbog kontraverznog objekta, zatim povećanje cijena roba i usluga zbog povećane potražnje, povećanje cijena kuća i zemlje zbog pridošlica, što naročito pogđa lokalne stanovnike koji zarađuju isto kao prije, smanjenje prihoda od turizma i drugih osjetljivih djelatnosti, te smanjenje vrijednosti nekretnina kada prođe intenzivnije doseljavanje zaposlenih.

#### 3.2. Demografski utjecaj

Priljev zaposlenih u izgradnji ili radu objekta može bitno promijeniti demografsku karakteristiku lokalne zajednice. Ta promjena može uključivati konflikt između pridošlica i domaćih zbog nacionalnih, kulturnih i socijalnih razlika, pritisak na lokalne objekte društvenog standarda (bolnice, škole, vrtiće itd.) i infrastrukture, promjenu strukture društvene utjecajnosti (pogotovo ako pridošlice imaju bolju edukaciju, radna mjesta i veće prihode).

Pridošlice mogu imati različite interese i životne stilove, pa mogu potpuno promijeniti socio-kulturnu prirodu DPZ. Može se očekivati i gubitak neformalnosti, familijarnosti i intimnosti karakterističan za male zajednice. Pogotovo nuklearni objekti, ali i neki drugi, mogu smanjiti lokalnu naseljenost. Jedna anketa u okolini planiranog odlagališta RAO u SAD pokazala je da se 53% ispitanika namjerava iseliti (5). Nasuprot toj činjenici stoji podatak da nakon nesreće na nuklearni Otoka Triju Milja nije bilo zamjetljiva iseljavanja iz njezine okolice (6,7).

#### 3.3. Utjecaj na stambenu izgradnju

Nagli priljev većeg broja novopridošlih radnika izazvat će standardne probleme povezane s njihovim smještajem, i to bilo privremenim bilo stalnim. Cijene smještaja, stanova i kuća porasti će zbog potražnje, ali je moguć pad vrijednosti kada nakon završetka izgradnje ili zbog eventualnog iseljavanja ljudi počnu odlaziti.

### 3.4. Utjecaj na javne usluge

Cjelokupni sistem javnih usluga od vodovoda kanalizacije do medicinskih usluga može postati nedovoljan. To izaziva pad kvalitete tih usluga. Zbog novopridošlica javlja se potreba za nekim potpuno novim javnim uslugama. Neke npr. medicinske usluge sada postaje opravdano ustanoviti s obzirom na povećanje stanovništva. Neke specijalne medicinske usluge ili oprema potrebna je jer je nužna za monitoring utjecaja objekta ili za slučaj nesreće na objektu.

### 3.5. Financijski utjecaj

Sve što je prethodno rečeno o utjecajima, ima svoju financijsku posljedicu, tj. cijenu koja pada na teret lokalne zajednice. Tako postoje izrazit negativan utjecaj objekta na lokalnu DPZ.

Sredstva koja se povećano slijevaju u budžet lokalne DPZ kao takse i porezi od povećanog prometa roba i usluga te uopće povećane privredne aktivnosti uglavnom nisu dovoljni da pokriju naglo nastale investicijske troškove proširenja kapaciteta javnih usluga ili zadovoljenja novih potreba.

Aktivno uključanje u postupak licenciranja lokalne DPZ traži i plaćanje nezavisnih ekspertiza. I taj trošak je negativan utjecaj izričito nastao zbog objekta.

### 3.6. Društveni utjecaj

Ovaj utjecaj najviše ovisi o veličini i tipu lokalne DPZ. Najdrastičniji utjecaj je na male ruralne zajednice koje su dugo bile postrance od razvojnih i drugih tokova. Pridošlice tu ukidaju neformalnost i familijarnost, mijenjaju organiziranost zajednice, njenih institucija te ruše postojeću društvenu hijerarhiju i raspored snaga. Vrlo je važno da se ove nagle, a osjetljive promjene pokušaju kompenzirati. Kad se radi o nuklearnim ili sličnim objektima pojavljuje se i strah za zdravlje od radioaktivnosti, toksičnosti ili zaraze, kao i zabrinutost za sanitarnu ispravnost vode i hrane.

Za gotovo sve kontraverzne objekte negativan utjecaj predstavlja i žigosanje (stigmatizacija) lokalne sredine, koja postaje neatraktivna za život i gubi na ugledu i prestižu. Čak i sami stanovnici postaju označeni — žigosani. Značenje ovog utjecaja najlakše je razumjeti ako ga usporedimo s neatraktivnošću terena uz groblja. Ljudi jednostavno ne vole stanovati — živjeti uz groblje iako racionalnog razloga nema. U manjim sredinama čak i ljude koji žive u blizini groblja njihovi sugrađani na izvjestan poseban način doživljavaju i tretiraju.

## 4. PRIMJERI NADOKNADE NEGATIVNIH UTJECAJA KONTRAVERZNIH OBJEKATA

Značajnijih primjera korištenja nadoknade u postupku lociranja kontraverznih objekata u našoj zemlji nema. Jedini primjer vezan je uz NE Krško. Radi se kako o direktnim davanjima u formi plaćanja nadok-

nade za zemljište (zemljarina), tako i o znatnim indirektnim pozitivnim utjecajima na lokalnu ekonomiju spomenutim prethodno u 3.1. i 3.5. Iznos tih indirektnih prihoda nepoznat je, no izrazit skok osobnog i društvenog standarda, skok u društvenom proizvodu općine, te proboj među najrazvijenije općine u R Sloveniji, sve nakon početka rada NE Krško, upućuje da su ti prihodi znatni. Iznos direktnih novčanih davanja utvrđen je odlukom općine Krško (8). Određeno je da NE Krško plaća 15 puta veću nadoknadu po m<sup>2</sup> nego ostali korisnici terena jer uvjetuje poseban restriktivan režim korištenja prostora neposredno uz elektranu. Posljednjih godina ova i još neka direktna davanja općini Krško kretala su se oko 3,5 mln USD godišnje.

Primjer nadoknade NE Krško lokalnoj DPZ potrebno je pomno proučiti i rezultate javno obznaniti. Rezultati bi lako mogli ukazati na približno isti godišnji prihod i od indirektnih davanja, tj. ukupnu nadoknadu između 5 i 10 mln USD godišnje. Takva analiza mogla bi ukazati i na pravičnost raspodjele nadoknade unutar općine Krško. Time bi se vjerojatno bar djelomično upozorilo i na uzorke protivljenju daljnjem radu NE Krško malog broja stanovnika općine Krško.

U našoj zemlji postoje i neka iskustva s nadoknadama pri lociranju hidroelektrana. Uglavnom se radi o direktnoj nadoknadi za oduzetu zemlju i druge direktne štete uzrokovane izgradnjom hidroelektrana, dakle ne u smislu kako je u poglavlju 2. ovog rada nadoknada definirana. Međutim, analiza efekata tih hidroelektranskih nadoknada (9) upozorila se na nepravičnost tajnovitost i nedemokratskičnost u raspodjeli nadoknade, što mora biti nezaobilazno upozorenje za budućnost.

Primjeri korištenja nadoknada u svijetu nisu tako malobrojni kao u nas. Novije obavljen pregled iskustava i prakse iz svijeta u primjeni nadoknade pri lociranju kontraverznih objekata (10) upućuje na vrlo interesantne podatke i zaključke, od kojih će najglavniji biti u nastavku sažeto preneseni.

Nadoknada se koristi gotovo redovito u razvijenim zemljama zapada. Međutim, praksa je vrlo raznolika. Nema univerzalno prihvaćenog pristupa odnosno recepta kako locirati kontraverzni objekt uz toleranciju ili prihvaćanje lokalnog stanovništva, pa onda ni univerzalnog recepta za nadoknadu. Međutim, nigdje nema sumnje i pozitivne efekte koje nadoknada daje. Nasuprot tome stoji činjenica da nigdje nadoknada nije najglavniji i isključivi faktor odluke. Ona daje pozitivan efekt samo u kombinaciji s ostalim adekvatno tretiranim aspektima lociranja, navedenim u poglavlju 1. ovog rada. Bitno je da se razvije i provodi takav postupak lociranja u kojem nadoknada mora imati vrlo značajnu ulogu, ali da cijeli postupak osim tehničkih i ekoloških aspekata bude prilagođen kulturnom, etničkom i političkom, odnosno općenito društvenom mišljenju lokalnog stanovništva.

Iz pomenutog pregleda (10) očito je da nadoknada nigdje nije čvrsto propisana niti regulatorno uređena, nego se uglavnom od slučaja do slučaja rješava.

Za većinu zemalja najvažniji pozitivni efekt čini mogućnost i novog i boljeg zaposlenja koja se bilo izgradnjom bilo radom novog objekta otvara. Direktna novčana davanja u nekim zemljama strogo su namjenska. Kao na primjer u Kanadi drže se na posebnom računu i samo uz suglasnost investitora plaćaju se računi za radove (uglavnom infrastrukturne) ili usluge obavljene za dobrobit lokalne DPZ. U drugim zemljama sredstva se paušalno doznaju lokalnoj DPZ i s njihovim trošenjem investitor nema veze. Gotovo u svim primjerima posebna namjenska sredstva investitor daje lokalnoj DPZ da ova može »kupiti« nezavisne ekspertize i platiti druge usluge važne za stvaranje vlastite spoznaje o sigurnosti i utjecaju na okolišu planiranog objekta, tj. za donošenje odluke o prihvaćanju planiranog objekta. Negdje ova sredstva služe i za troškove lokalnih komisija i komiteta te javnih rasprava o planiranom objektu. Iznos ovih sredstava kreće se od nekoliko desetaka tisuća do više od sto tisuća USD.

Vežano za lociranje odlagališta RAO u SAD se direktna novčana nadoknada daje već pri istraživanju alternativnih lokacija. U Illinoisu 400 000 USD nenamjenskih sredstava dano je svakoj od dvije alternativne lokacije za početak istraživanja. U nastavku će svaka lokacija donositi po 200 000 USD godišnje, a kada bude izabrana, ta lokacija će donositi po 800 000 USD godišnje lokalnoj DPZ sve od početka odlaganja RAO, kada će se davanje odrediti po količini odlaženog RAO. U Francuskoj je novo odlagalište RAO donijelo lokalnoj DPZ 3,5 mln, USD nenamjenskih sredstava i garantirani redovni godišnji prihod od 250 000 USD. Nasuprot ovim zemljama u SR Njemačkoj nije predviđeno direktno novčano davanje.

## 5. ZAKLJUČAK

Ovim radom se prikazuje koliko značenje u postupku lociranja kontraverznih objekata se mora i kod nas pridati nadoknadama. Sadašnje blokade u rješavanju odlaganja svih vrsta otpada, a također i u izgradnji novih elektrana moraju se pokušati riješiti novim pristupima. Nadoknada je sigurno jedna od najvažnijih komponenti novoga izmijenjenog pristupa. Imajući na umu naša loša iskustva s plaćanjima direktnih šteta uzrokovanih dosadašnjom izgradnjom kontraverznih objekata te nefunkcioniranje pravne države i njezinih instrumenata kao zaštitnog mehanizma izigranih pojedinaca, kod nas bi što prije nadoknadu trebalo regulativom i garantirati. Time bi se izbjegle sumnje u nadoknadu kao jedno u nizu neispunjenih obećanja, te raščistile nejasnoće oko prava, iznosa i distribucije nadoknade. Bitno je da unaprijed, prije bilo kakvog početka planiranja izgradnje nekog objekta, investitor zna da će imati dodatni trošak, tj. nadoknadu lokalnoj DPZ kao neizbježan i neprestan trošak investicije i poslovanja. Ipak, od svega je najvažnije da svi stanovnici unaprijed znaju da prihvaćanjem lokacije kontraverznog objekta nisu postali građani drugog reda osuđeni da trpe za opće dobro, nego su ravnopravni partner kojem za neu-

godnosti pripada značajna nadoknada od onih za koje se žrtvuju. Samo unaprijed i načelno stvoreno uvjerenje u takav budući fer odnos može otvoriti vrata pregovorima kada se potencijalne lokacije izaberu i spriječiti apriorno odbijanje čak i razgovora o lokaciji što je danas slučaj.

## LITERATURA

- [1] Opting for Co-Operation, Report of the Siting Process Task Force on Low-Level Radioactive Waste Disposal, Energy, Mines and Resources Canada, 1989, Ottawa, Canada
- [2] Zakon o zagotavljanju in uporabi sredstev za varstvo okolja, Uradni list R Slovenije, št. 2 od 20. 01. 1990. Ljubljana
- [3] Fees on Pollution of the Environment, Swedish Nuclear News, No. 1 February 1990. p. 3. Swedisch Atomic Forum, Stockholm, Sweden
- [4] JOHN M. HALSTEAD et al., »Mitigating Soci-economic Impacts of Nuclear Waste Repository Siting«, Fargo: North Dakota State University, Department of Agricultural Economics, May 1982.
- [5] J. KELLY, »Testimony on Behalf of the State of Wisconsin Regarding the Statment of Position of the United States Department of Energy in the Matter of Proposed Rulemaking on the Storage and Disposal of Nuclear Waste«, United States Department of Energy, 1983.
- [6] H. GAMBLE and R. DOWNING, »Effect of the Tree Mile Island Nuclear Accident on Residential Property Value and Sales«, University Park, Pennsylvania State University, Institute for Land and Water Resources, 1980.
- [7] JOHN NELSON, »Three Mile Island and Residential Property Values; Empirical Analysis and Policy Implications«, Journal of Land Economics, Vol. 57, No. 3, August 1986.
- [8] Odlok o spremembi in dopolnitvi odloka o nadomestili za uporabo stavbnih zemljišč v občini Krško, Uradni list R Slovenije, št. 17 od 24. 04. 1987. Ljubljana
- [9] Studija — Prostorno planerske podloge, istraživanja i ocjena podobnosti lokacija za termoelektrane i nuklearne objekte na prostoru R Hrvatske, I faza Studije, Urbanistički institut R Hrvatske, svibanj 1988., Zagreb
- [10] D. SUBAŠIĆ, »Analiza prakse razvijenih zemalja u pridobijanju lokalne naklonosti (neprotivljenja) za odlaganje radioaktivnog otpada«, preliminarni naslov rada u pripremi za objavljivanje

## IMPORTANCE AND EFFECTIVENESS OF COMPENSATION IN LOCATION POLICY OF CONTRARIWISE OBJECTS

For up-to-day stagnation in location policy of contrariwise objects as are waste disposals, power plants, highways, chemical plants etc. are analysed effects and proposed solutions. It is analysed policy of compensation and described are practical experiences in the world and by us. It is concluded that compensation is important element in location policy.

## ROLLE UND BEDEUTUNG DER KOMPENSATION BEI DER LOKATIONBESTIMMUNG KONTRORSER OBJEKTE

Im Artikel werden die Ursachen der Schwierigkeiten bei der Lokationbestimmung für kontroverse Objekte wie Müllablagen, Kernkraftwer, Schnellstrassen, Chemieanlagen und andere besprochen. Für eine dieser Ursachen wird eine Lösung vorgeschlagen. Deshalb spricht man darüber was eine Kompensation ist, wofür sie gegeben wird und wie die Praxis und die bisherigen Erfahrungen bei bisherigen Kompensationen bei uns und weltweit sind. Zusammenfassend wird darauf hingewiesen dass die Kompensation bei der Lokationbestimmung kontroverser Objekte unumgänglich ist.

**РОЛЬ И ВАЖНОСТЬ ВОЗМЕЩЕНИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОТИВОЕСТЕСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

Расчлняются причины нынешнего застоя размещения противоестественных объектов (хранилищ для отходов, электростанций, автомагистралей, химических комплексов и прочих), и одной из этих причин предлагается решение. С этой целью рассматривается что собой представляет возмещение, что приобретает и каковы практика и опыт в ее оывшем применении у нас и во всем мире. Заключение указывает на необходимость и спользования возмещения в процессе размещения противоестественных объектов.

Naslov pisca:

**Mr. Damir Subašić, dipl. inž.**  
**Ministarstvo energetike,**  
**industrije, rudarstva i zanatstva,**  
**41000 Zagreb, Iblerov trg 9,**  
**Jugoslavija**

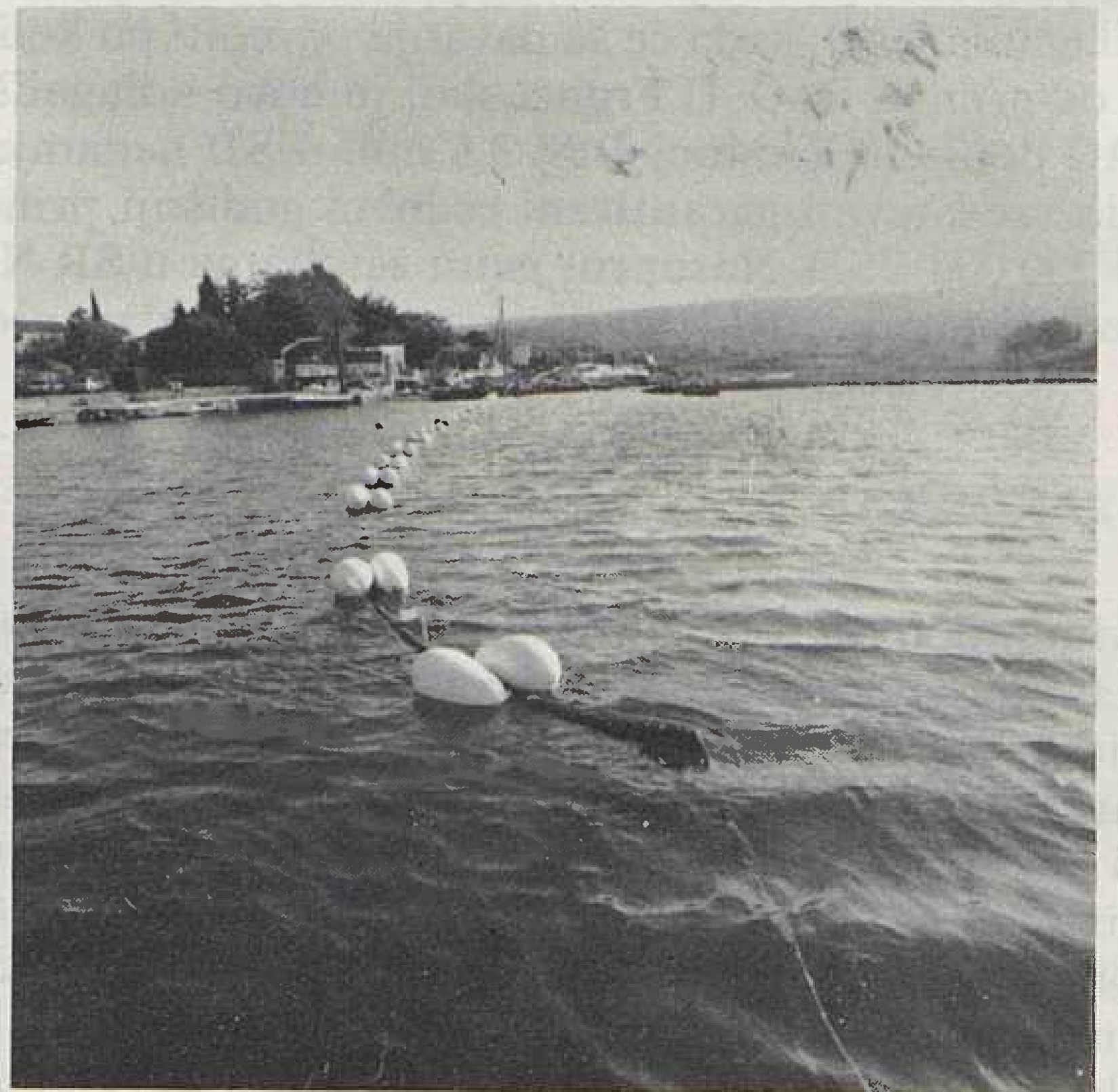
Uredništvo primilo rukopis  
 1990-06-27



**elektrolux - rijeka**

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

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



U ZAJEDNIČKOM PAKET-ARANŽMANU SUDJELUJU

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

**RO ELEKTROLUX**

# GLOBALNO ZAGRIJAVANJE I RAZVOJ ENERGETIKE

Prof. dr. Vladimir Knapp, Zagreb

UDK 620.9.001  
PREGLEDNI RAD

Korektna ocjena znanstvenog statusa i nepovoljnog utjecaja na klimu tzv. efekta staklenika važno je pitanje za određivanje dugoročne strategije energetske razvoja. U referatu prikazan je znanstveni status problema sa zaključkom da bez obzira na neodređenosti već postoji dovoljno suglasnosti da bi se mogle formulirati nacionalne i internacionalne mjere za sprečavanje posljedica. Niz međunarodnih znanstvenih i stručnih organizacija upozorava na nužnost poduzimanja mjera za redukciju emisije ugljik-dioksida.

**Ključne riječi:** efekt staklenika, CO<sub>2</sub>, ozon, proizvodi izgaranja, energetska bilanca atmosfere.

## 1. UVOD

### 1.1. Efekt staklenika

Dovođenje klimatskih promjena u vezu s ljudskim aktivnostima datira iz 50-tih godina, kada su počela sistematska mjerenja koncentracije ugljik-dioksida, CO<sub>2</sub>, u atmosferi koja su pokazala trajan i ubrzan porast ugljika CO<sub>2</sub> u atmosferi.

Da je prisutnost CO<sub>2</sub> u atmosferi bitna za postojeće klimatske prilike, uočio je švedski istraživač Svante Arrhenius još na prijelazu stoljeća. Arrhenius je 1896. godine procijenio da bi udvostručenje koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi rezultiralo u povećanju zemaljske temperature za oko 4 °C.

Nešto kasnije (1908) on procjenjuje da bi uklanjanje CO<sub>2</sub> iz atmosfere snizilo površinsku temperaturu za oko 21 °C. Obje su vrijednosti iznenađujuće blizu današnjim procjenama. Porast koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi pripisivan je najprije deforestaciji, a danas primarno emisiji pri izgaranju fosilnih goriva. Od 1800 do 1985. porast je ukupno oko 25%, a sadašnja brzina porasta je oko 0,4% godišnje. Na taj način uspostavljena je potencijalna veza između ljudske aktivnosti i globalnih klimatskih promjena.

Krajem 70-ih godina postojale su samo osnovne znanstvene informacije i početni modeli za kvantitativno utvrđivanje veze između porasta koncentracije CO<sub>2</sub> i površinske temperature. Premda su neodređenosti prognoze bile velike, alarmantna pretkazivanja efekata na klimu povezanih s udvostručenjem sadržaja CO<sub>2</sub> u atmosferi, predviđenom u idućem stoljeću, tražila su da se problem uzme ozbiljno. Svedjedno, svijest o važnosti tog problema razvijala se prilično sporo. Bez spektakularnih zbivanja problem nije privlačio medijsku pažnju. Tokom 80-ih godina, paralelno s razvojem sve moćnijih računskih strojeva, napredovao je rad na poboljšanju geofizikalnog modela klimatskih promjena, tzv. modela opće cirkulacije. (General Circulation Model, GCM) radi simulacije

klimatske ovisnosti o glavnim energetske procesima i tokovima. Od podjednake važnosti bilo je bitno proširenje poznavanja osnovnih karakteristika atmosfere, što je uklonilo niz neodređenosti ranog modela.

### 1.2. Efekt staklenika i javnost

Godine 1985. američko ministarstvo energetike (Department of Energy) objavljuje seriju izvještaja o statutu »efekta staklenika« (1). Efekt staklenika istaknut je kao problem o kojemu Kongres mora voditi brigu. Iste 1985. godine u listopadu u Villachu, Austrija, održana je konferencija pod pokroviteljstvom WMO (World Meteorological Organization) UNEP (United Nations Environmental Programme) i ICSU (2). Više od stotinu znanstvenika iz brojnih zemalja rezimiralo je u zaključicima konferencije ono što je tada bilo moguće kazati o efektu staklenika. Navedimo neke od najvažnijih zaključaka, jer oni vrlo dobro rezimiraju status gledanja na efekt staklenika u tom trenutku, tj. sredinom decenije:

- Najnapredniji eksperimenti s općim modelom cirkulacije daju porast ravnotežne srednje globalne površinske temperature u rasponu od 1,5 do 4,5 stupnja pri udvostručenju atmosferske koncentracije CO<sub>2</sub>, ili ekvivalentnog povećanja drugih stakleničkih plinova. S obzirom na kompleksnost klimatskog sistema i nesavršenosti modela obzirom na interakcije atmosfere i oceana, te efekte naoblake, vrijednosti izvan ovog raspona ne mogu se isključiti. Brzine promjena određene su inercijom oceana, pa bi se ekvilibrij temperature koja bi odgovarala udvostručenju koncentracije CO<sub>2</sub> dosego tek za nekoliko desetljeća.
- Premda i drugi utjecaji na klimu postoje, kao količina aerosola i promjena dotoka solarne energije, staklenički plinovi bit će najvažniji faktor u idućem stoljeću.
- Ocijenjeno na osnovi promjena u ovom stoljeću da bi porast temperature u rasponu od 1,5 do 4,5

stupnja izazvao porast morske razine od 20 do 140 cm. Znatnije topljenje antarktičkog ledenog pokrivača, koje bi izazvalo mnogo veći porast razine mora ne očekuje se u toku idućeg stoljeća.

- S obzirom na poznate efekte klimatskih promjena u prošlosti nema sumnje da bi klimatske promjene koje model daje za udvostručenje koncentracije CO<sub>2</sub> imale krupne utjecaje na globalne ekosisteme, poljoprivredu, opskrbu vodom i morski led.
- Dok je stanovito zagrijavanje neizbježno zbog aktivnosti čovjeka u prošlosti, na brzinu i stupanj budućeg zagrijavanja može se bitno utjecati mjerama vlada usmjerenima na štednju energije, redukciju upotrebe fosilnih goriva i emisije stakleničkih plinova.

Povodom ekumenskog kongresa u Baselu svibnja 1989. evropski prirodosnanstvenici iznijeli su preporuke za osiguranje prirodnih preduvjeta za čovjekov život. Preporuke su formulirane od radne grupe za energiju Njemačkog fizikalnog društva i poznate kao »Bazelski manifest«. U manifestu se predlažu dvije evropske konvencije, jedna koja traži zabranu proizvodnje fluorklor-ugljika, te druga koja traži redukciju upotrebe fosilnih goriva. Polazeći od već vidljivih efekata emisije CO<sub>2</sub> i drugih stakleničkih plinova, upozorenja svjetskih meteorologa i fizičara, te preporuka svjetske konferencije u Torontu 1988, u »Bazelskom manifestu«, smatra se nužnim reducirati upotrebu fosilnih goriva na 1/3 u idućih 50 godina. Da bi se to ostvarilo, morale bi razvijene industrijske zemlje, najveći potrošači fosilnih goriva, na sebe preuzeti i odgovarajuće veće redukcije.

Baselski manifest traži da se potrošnja fosilnih goriva u Evropi kroz idućih 25 godina, do 2015. godine, svede na 1 tonu ekvivalentnog ugljena po osobi godišnje. Što taj zahtjev znači postaje jasnije ako se navede da je sadašnja potrošnja fosilnih goriva u Evropi na prosječnom nivou od 3 1/2 tone. Ostvarenje ovog golemog zadatka »Bazelski manifest« vidi u novim tehnologijama, racionalizaciji, štednji u domaćinstvima, industriji i prometu, s ciljem da ukupna primarna potrošnja energije ne premaši u Evropi 3 tone ekvivalentnog ugljena po osobi godišnje. Od tri tone jedna tona bio bi udio fosilnih goriva, jedna tona iz obnovljivih izvora, naročito solarna energija, i

jedna tona bi bio udio nuklearne energije, za koju »Bazelski manifest« smatra da je se ne može odreći u evropskim okvirima.

Razvoj znanstvenog i javnog gledanja na problem staklenika u SAD može se razabrati iz apela koji je predsjedniku Bushu uputilo 49 nobelovaca i 700 članova Američke akademije znanosti početkom ove godine. Dodatno apel potpisuju i članovi »Unije zabrinutih znanstvenika« (Union of Concerned Scientists). U apelu traže se mjere za smanjenje emisije ugljik-dioksida, specifično:

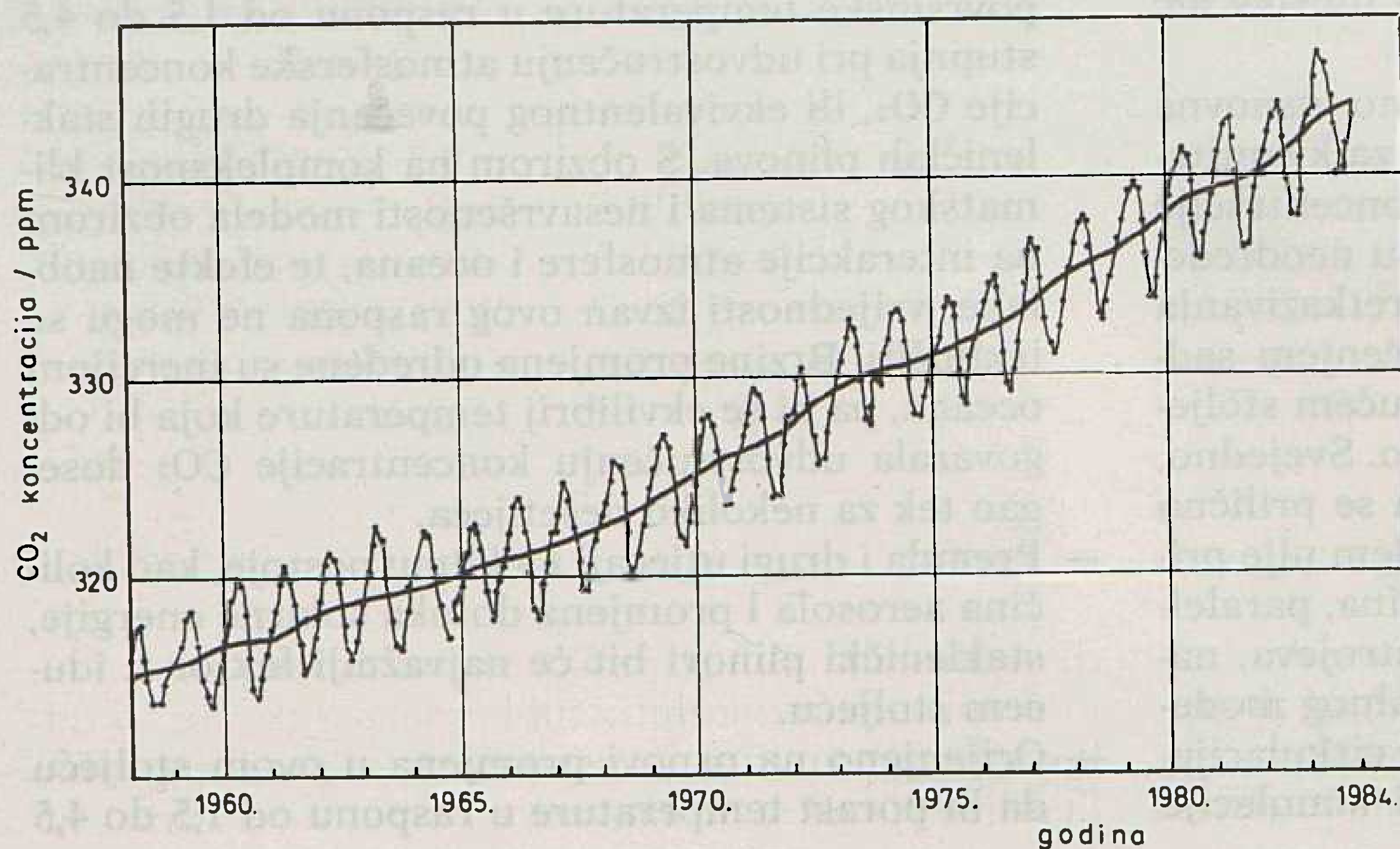
- daljnje smanjenje potrošnje benzina u prometu i traženje novih goriva
- povećanje novčanih sredstava za istraživanje i razvoj štednje i racionalne upotrebe energije
- razvoj i komercijalno uvođenje obnovljivih izvora energije
- nuklearni program, s naglaskom na zdravlje i sigurnost, s rješenjem odlaganja otpada, te strogim propisima za sprečavanje zloupotrebe nuklearnih materijala i tehnologija
- politikom subvencija usmjeravati razvoj novih izvora energije vodeći brigu o njihovom utjecaju na okoliš.

Ova tri apela najistaknutijih znanstvenika u Evropi i SAD dovoljno govore o tome da se problem staklenika uzima vrlo ozbiljno, štoviše da je to danas, s obzirom na moguće posljedice nepovoljnog razvoja, najkrupniji ekološki problem.

## 2. NEKE POLAZNE ČINJENICE

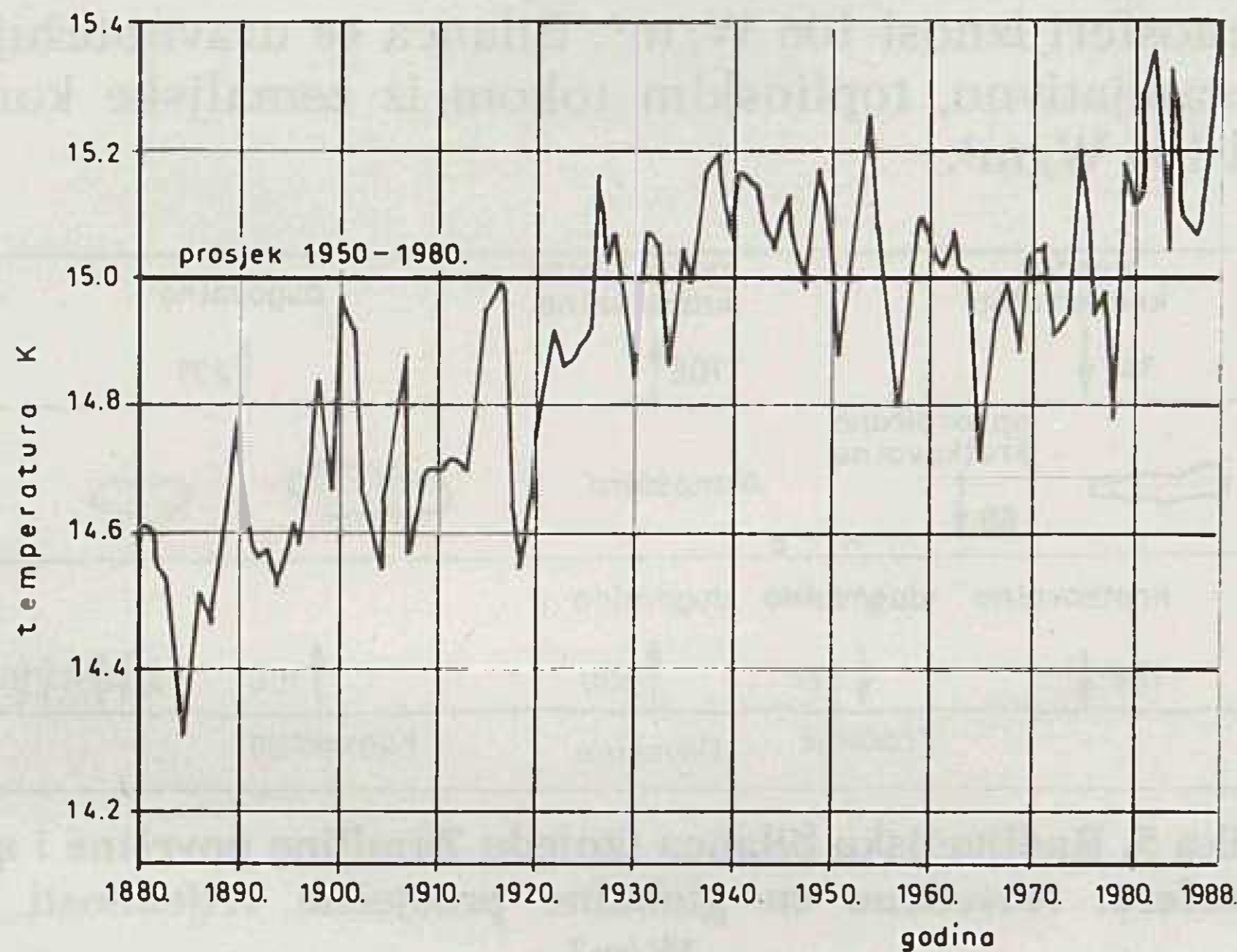
Promjena koncentracije ugljikdioksida u atmosferi sistematski se prati od 1975. godine.

Dijagram (1) pokazuje rezultate mjerenja opservatorija na Mauna Loa, Havaji, Razabire se stalan uzlazni tok koncentracije, na koji su superponirane godišnje varijacije uslijed sezonskih promjena u biološkim procesima koji, troše i oslobađaju CO<sub>2</sub>. Informacije za ranije periode, koji su prethodili 1958. godini, dobivaju se analizom zraka uhvaćenog u mjehurićima u naslagama snježnih padalina koje danas tvore glečerski led na Antarktiku i drugim lokacijama.

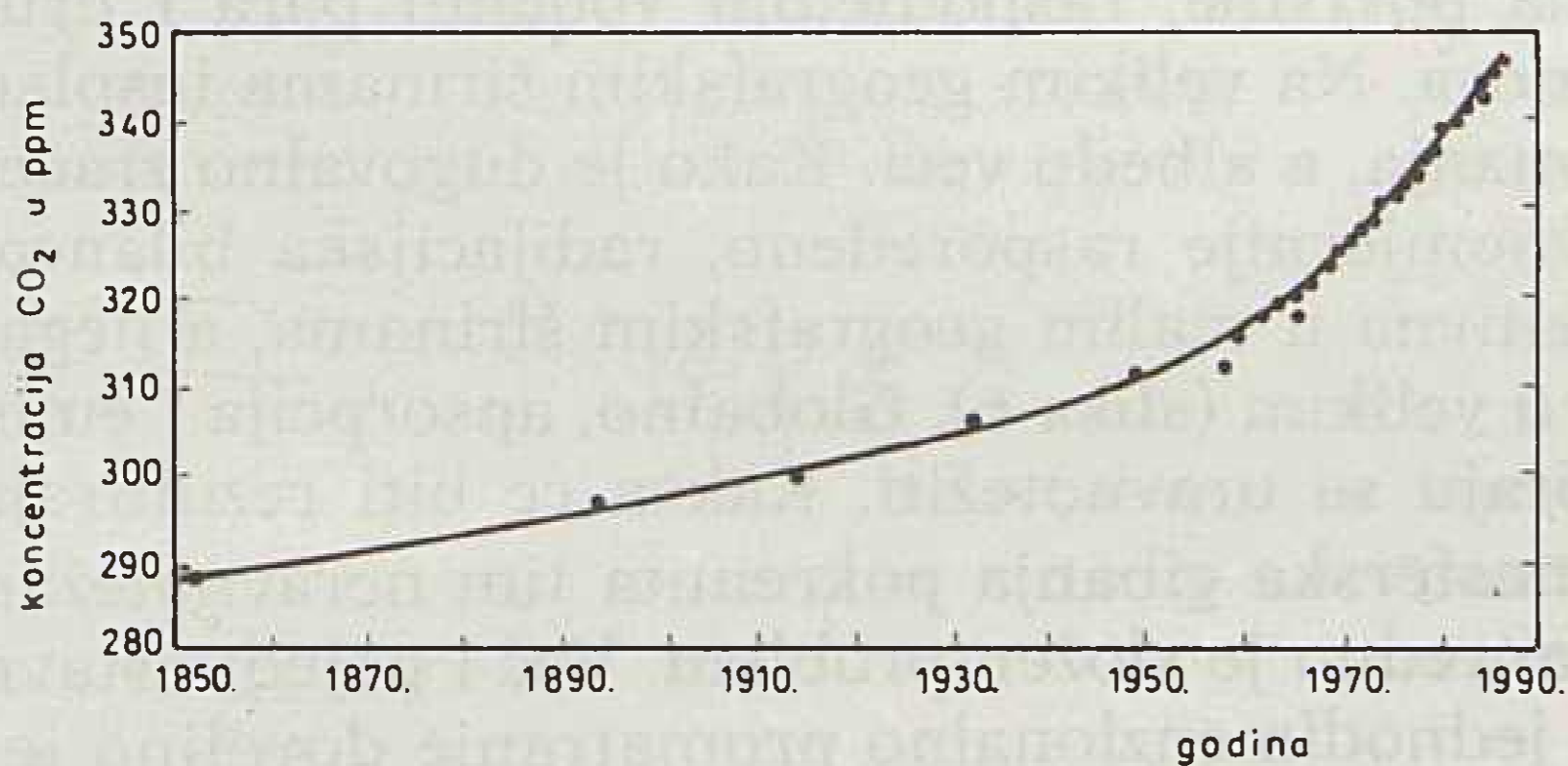


Slika 1. Porast volumne koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi u dijelovima u milijun, registriran na meteorološkoj stanici Mauna Loa, Havaji. Oscilacije s godišnjim ciklusom odražavaju sezonske razlike u intenzitetu fotosinteze.

Budući da je starost ledenih naslaga od nekoliko desetaka godina do 150 000 i više godina u slučaju antarktičkog leda, ova nam vrlo važna metoda može dati informaciju o sastavu zemaljske atmosfere u tim prošlim periodima. Slike (2) i (3) pokazuju temperaturne promjene i promjene koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi za razdoblje s rastućom upotrebom fosilnih goriva.



**Slika 2.** Porast srednje globalne temperature u toku proteklih stotinu godina. Istaknut je temperaturni prosjek za razdoblje 1950–1980. Porast tokom sto godina iznosi približno 0,6 K.



**Slika 3.** Porast volumne koncentracije CO<sub>2</sub> u toku desetljeća intenzivnog korištenja fosilnih goriva

Promjena koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi je nesumnjiva i jasna. Promjena temperature u ovom, po geološkim mjerilima veoma kratkom periodu, nije velika, ali uz znatne varijacije vidljiv je uzlazni tok. Sistematska sakupljanja podataka, njihova analiza i proračun srednjih globalnih temperatura provodi se u više svjetskih centara, kao što su NASA Goddard Institute for Space Science Studies u SAD, British Meteorological Office, University of East Anglia's Climatic Research Unit u Velikoj Britaniji i drugi.

Podaci pokazuju da su šest najtoplijih godina ovog stoljeća bile redom godine 1988, 1987, 1981, 1980, 1986.

Do analize podataka za 1989. godina, 1988. godina bila je najtoplija otkada se vrše pouzdana mjerenja.

S porastom temperature asocira se porast nivoa mora zbog topljenja glečerskog i antarktičkog leda. Prema opasnost nije neposredna zanimljivo je opažanje da je nivo mora u ovom stoljeću porastao za približno 15 cm, što je već ozbiljno za gradove poput

Venecije. Ovaj se porast može objasniti termalnom ekspanzijom zbog porasta temperature.

Kao potpuno iznenađenje za širu znanstvenu javnost došla je publikacija 1985. godine britanskih istraživača Antarktiku (British Antarctic Survey) o neobičnom padu koncentracije ozona u atmosferi. U atmosferi iznad zaljeva Halley na Antarktiku izmjerili su pad koncentracije ozona za više od 40% u razdoblju 1977. do 1984. Nalaz je uskoro potvrđen od drugih istraživača, te je nađeno da područje redukcije pokriva čitav kontinent. Fenomen je danas poznat kao »ozonska rupa«. Brojni istraživači uključili su se u napore da se objasne razlozi i porijeklo pojave.

Objašnjenje koje se smatra najvjerojatnijim, mada može biti i drugih utjecaja, jest da se radi o djelovanju plina klorfluorokarbonski koji se oslobađa u atmosferu iz frižidera i klimauređaja, gdje služe kao rashladni medij, sprejeva i drugih primjena u kojima se koristi ovaj inače kemijski inertan i neutrovan plin.

Otkriće tzv. ozonske rupe iznad Antarktiku direktno demonstrira da aktivnost čovjeka rezultira u globalnim geofizičkim promjenama. Otada takozvani efekt staklenika privlači medijsku pažnju, što implicira pojednostavljenje, a ponekad i pogrešno prikazivanje.

Jedno od najvažnijih istraživanja sredinom proteklog desetljeća proveli su sovjetski i francuski istraživači analizom antarktičkog leda u sovjetskoj bazi VOSTOK na Antarktiku. Analizom ledenog stupa visine 2 000 m, izvađenog iz naslaga antarktičkog leda, uspjeli su utvrditi vezu između koncentracije CO<sub>2</sub> i temperaturnih promjena za proteklih više od 150 000 godina.

Rezultati pokazuju izvanrednu korelaciju između koncentracije CO<sub>2</sub> u atmosferi i površinskih temperatura.

Također, izvanredno važna mjerenja obavili su američki istraživači u sklopu projekta ERBE (Earth Radiation Budget). 1986. godine dobiveni su prvi put podaci o zemaljskoj radijacijskoj bilanci u ovisnosti o vremenu i geografskoj lokaciji (3). Novim opažanjima potkraj 80-ih godina mogućnost pretkazivanja klimatskih promjena u ovisnosti o promjeni atmosferskog sastava bitno je unaprijeđena. Niz pitanja postoji i dalje, ali su ona sada bolje definirana. Poboljšanje modela traži bolje upoznavanje protoka CO<sub>2</sub> kroz glavne rezervoare, tj. kroz biosferu i oceane, te bolje poznavanje vrlo važne interakcije ocean – atmosfera. Daljnjim razvojem modela opće cirkulacije bit će moguće i s više pouzdanosti predvidjeti regionalne promjene klime, koje mogu biti drastične i pri umjerenim globalnim promjenama.

### 3. EFEKT STAKLENIKA I GLOBALNA RAVNOTEŽA ZRAČENJA

Energija koja dolazi na Zemlju sa Sunca nailazi na svom putu na atmosferu, na kojoj se djelomično reflektira i apsorbira, a ostatak dopire do površine Zemlje. Površina se zagrijava i zrači u području in-

francrvenog zračenja, ali i to zračenje mora proći kroz atmosferu prije no što napusti Zemlju. Neto emisija infracrvenog zračenja uravnotežena je s primljenom energijom Sunčeve svjetlosti, pa je jasno da će promjena prozirnosti Zemljine atmosfere za infracrveno zračenje utjecati na temperaturu pri kojoj Zemlja emitira.

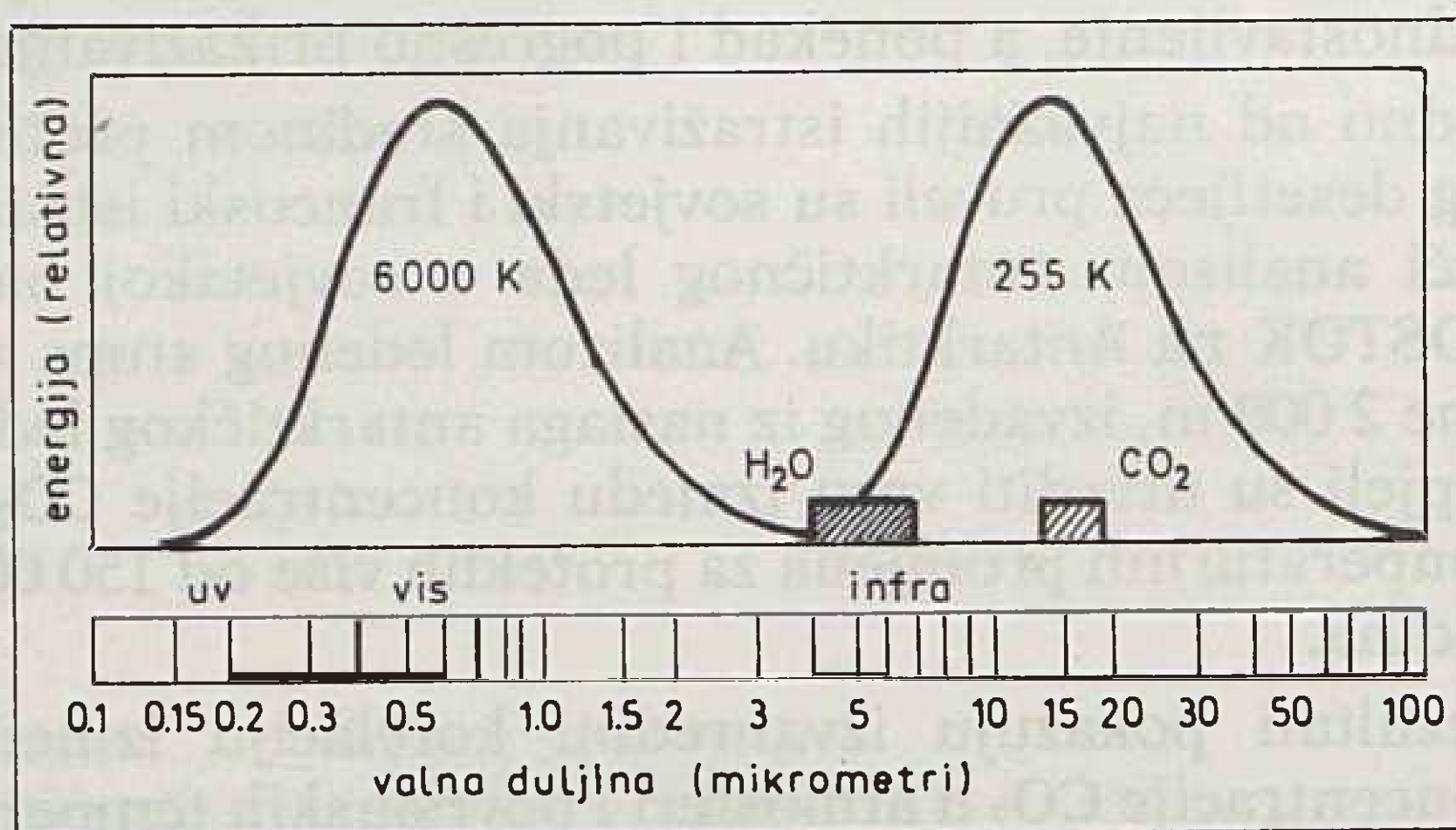
Nedavna satelitska mjerenja pokazuju da Sunčevo zračenje na srednjoj udaljenosti zemlje od Sunca iznosi  $S_0 = 1365 - 1372 \text{ W/m}^2$ .

Od toga se dio  $\alpha = 0,30 \pm 0,03$  reflektira od atmosfere i površine Zemlje. Izjednačujući dnevni prosjek dozračenosti Sunčeve energije sa Zemljinim infracrvenim zračenjem

$$\frac{S_0}{4} (1 - \alpha) = \sigma T_z^4, \text{ gdje je } \sigma$$

Stefan-Boltzmannova konstanta, s gornjim vrijednostima za insolaciju i dio apsorbirane energije, slijedi površinska temperatura zemlja  $T_z = 255 \text{ K}$ .

Na slici (4) uspoređeni su spektar upadnog Sunčeva zračenja i emisijski spektar toplinskog zračenja pri temperaturi 255 K.

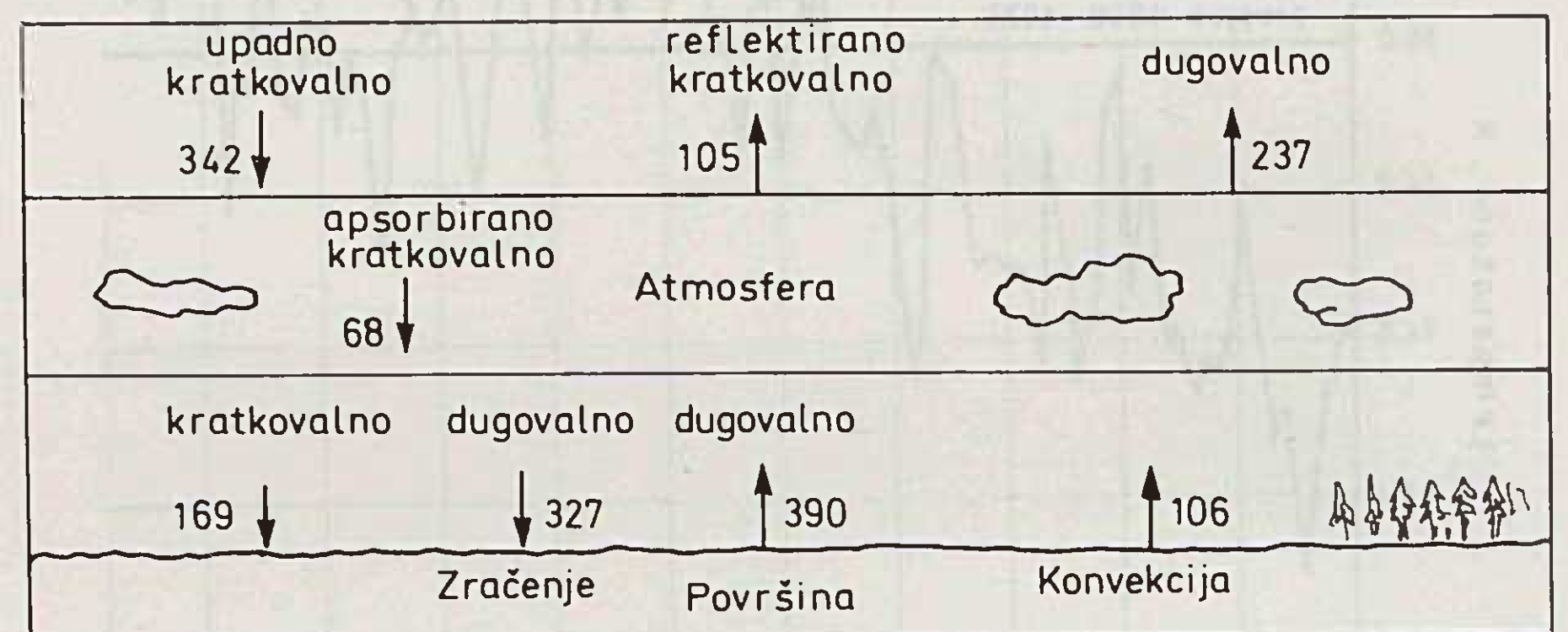


Slika 4. Spektar kratkovalnog upadnog solarnog zračenja za temperaturu površine Sunca od 6000 K i spektar dugovalnog toplinskog zračenja zemlje pri temperaturi 255 K. U odsutnosti atmosfere zračenja bila bi u ravnoteži.

Stvarna temperatura površine je  $T_p = 288 \text{ K}$ , 33 K više. Povećanje temperature posljedica je samo djelomične propusnosti atmosfere za infracrveno zračenje. Na toj povišenoj temperaturi dio infracrvenog zračenja koji prolazi kroz atmosferu jednak je dozračnoj energiji sunca. Radijacijska ravnoteža Zemlje istraživana je protekle decenije nizom satelitskih mjerenja (Earth Radiation Budget Experiment, ERBE, mjerenja započeta 1984, 1985. i 1986. godine sa tri satelita, lansirana tih godina).

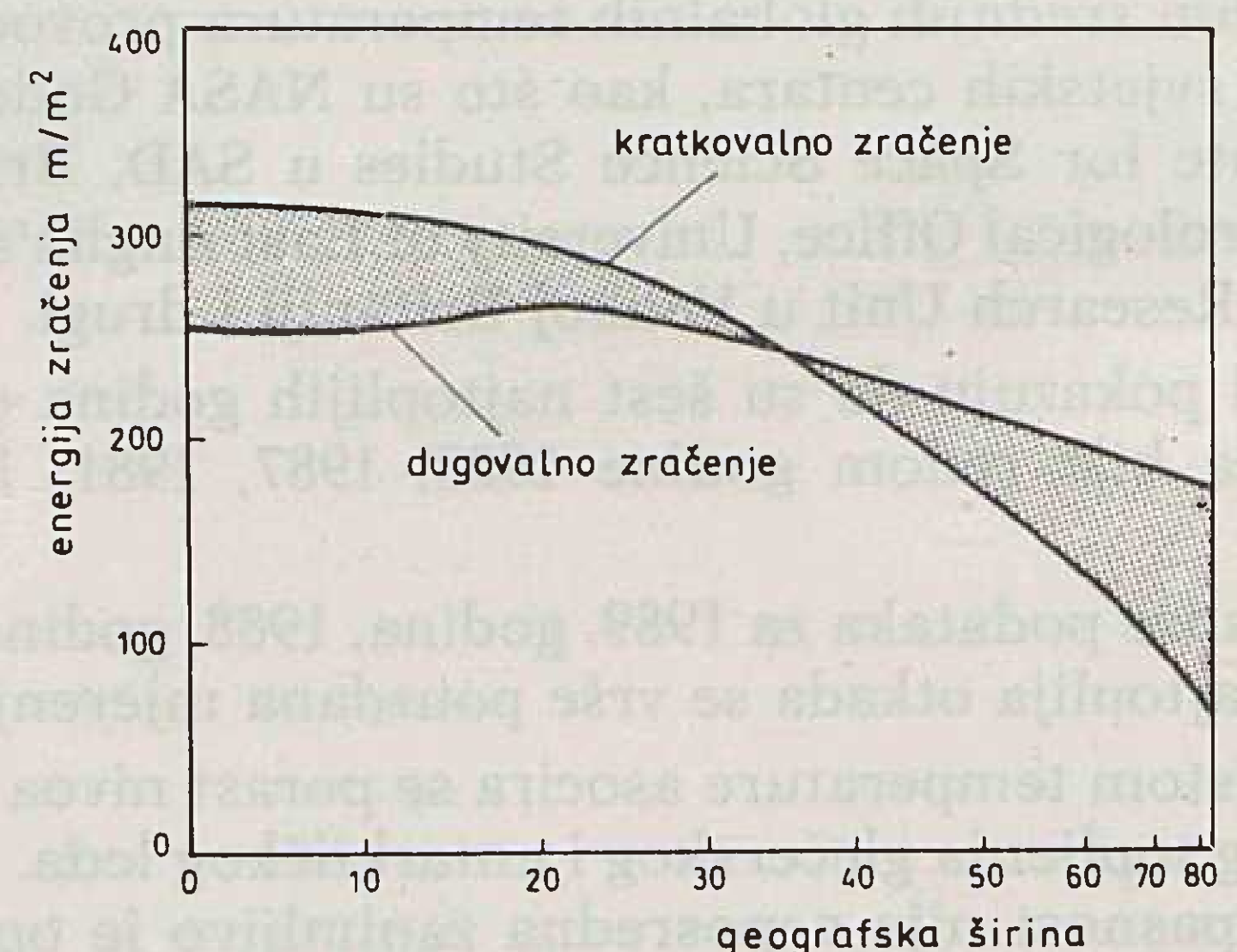
Radijacijska ravnoteža dobivena satelitskim mjerenjima (3) prikazana je na slici 5. Od prosječnog upadnog intenziteta sunčeve svjetlosti od  $342 \text{ W/m}^2$ ,  $105 \text{ W/m}^2$  reflektira se od atmosfere i površine Zemlje i vraća u svemir, dok se  $237 \text{ W/m}^2$  emitira u obliku infracrvenog zračenja. Pri površinskoj temperaturi od 288 K površina emitira intenzitetom od  $390 \text{ W/m}^2$ . Kako se od  $342 \text{ W/m}^2$  Sunčeve energije u kratkovalnom spektru primarnog zračenja  $105 \text{ W/m}^2$  reflektira, a  $68 \text{ W/m}^2$  apsorbira u atmosferi, odakle energija za dugovalno zemaljsko zračenje od  $390 \text{ W/m}^2$  pri

$288 \text{ K}$ ? Kao prvo, atmosfera prema Zemlji zrači dugovalnim zračenjem intenzitetom od  $327 \text{ W/m}^2$ , a zatim još iz Zemljine kore dolazi toplinski tok od  $106 \text{ W/m}^2$  vođenjem. Od  $390 \text{ W/m}^2$  iz zračene površinske energije  $237 \text{ W/m}^2$  odlazi u svemir, što znači da se dio od  $153 \text{ W/m}^2$  apsorbira u atmosferi. Zajedno sa  $68 \text{ W/m}^2$  koliko atmosferi predaje kratkovalno zračenje, atmosfera prima  $153 \text{ W/m}^2 + 68 \text{ W/m}^2 = 221 \text{ W/m}^2$ , a emitira prema Zemlji  $327 \text{ W/m}^2$ . Deficit u atmosferi iznosi  $106 \text{ W/m}^2$ . Bilanca se uravnotežuje neradijativno, toplinskim tokom iz zemaljske kore od  $106 \text{ W/m}^2$ .



Slika 5. Radijacijska bilanca između Zemljine površine i atmosfere. Navedene su globalne prosječne vrijednosti u  $\text{W/m}^2$ .

Ovakvo jednodimenzionalno razmatranje ravnoteže s prosječnim vrijednostima ne uzima u obzir da insolacija varira s geografskom širinom, a emisija s uvjetima površine, raspodjelom vodenih para i drugih plinova. Na velikim geografskim širinama insolacija je manja, a albedo veći. Kako je dugovalno zračenje ravnomjernije raspoređeno, radijacijska bilanca je pozitivna u malim geografskim širinama, a negativna u velikim (slika 6). Globalno, apsorbicija i emisija moraju se uravnotežiti. Kakva će biti rezultirajuća atmosferska gibanja pokrenuta tim neravnotežama, izvanredno je složen problem. Već i pojednostavnjeno jednodimenzionalno promatranje dovoljno je da se razabere da će promjena prozirnosti atmosfere za dugovalno zračenje izazvati preraspodjelu intenziteta dugovalnog zračenja površine i atmosfere. Ako bi atmosfera postala manje prozirnou, to bi vodilo na povećanu emisiju atmosfere prema Zemlji (prema vrijednosti od  $327 \text{ W/m}^2$ ), a nova ravnoteža bi se uspostavila na površinskoj emisiji većoj od  $390 \text{ W/m}^2$ , što znači pri povećanoj površinskoj temperaturi.



Slika 6. Radijacijska neravnoteža u ovisnosti o geografskoj širini.



Pokazuje se da se prozirnost atmosfere može znatno promijeniti već s vrlo malim primjesama molekula  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $N_2O$ ,  $CH_4$ , tako da čovjek preko utjecaja na te primjese djeluje na globalnu klimu.

#### 4. NAJVAŽNIJI POKRETAČI EFEKTA STAKLENIKA

Najvažnije primjese u atmosferi koje imaju efekt smanjenja prozirnosti za infracrveno zračenje jesu ugljik-dioksid,  $CO_2$ , dušični oksid  $N_2O$ , metan  $CH_4$ , klor-fluor-karboni, od kojih su najvažniji  $CFCl_3$  i  $CF_2Cl_2$ , te ozon  $O_3$ . Dok ostali plinovi koji izazivaju efekt staklenika dolaze u atmosferu prirodnim putem i aktivnošću čovjeka, dotle klor-fluor-karboni u atmosferu dolaze isključivo aktivnošću čovjeka. Prema svedeno na jednu molekulu  $CO_2$  pokazuje najmanji utjecaj, zbog relativno velikih količina njegov je doprinos promjeni prozirnost najveći. Po jednoj molekuli metan je 32 puta djelotvorniji od  $CO_2$ , a dva su klor-fluor-karobna čak 14 000, odnosno 17 000 puta djelotvorniji. Ocjenjuje se da se oko 19% globalnog zagrijavanja može pripisati metanu, oko 15% klor-fluor-karobnima, a oko 4% dušičnom oksidu, dok je doprinos  $CO_2$  oko 50%. Razmotrimo izvore i tokove tih najvažnijih stakleničkih plinova.

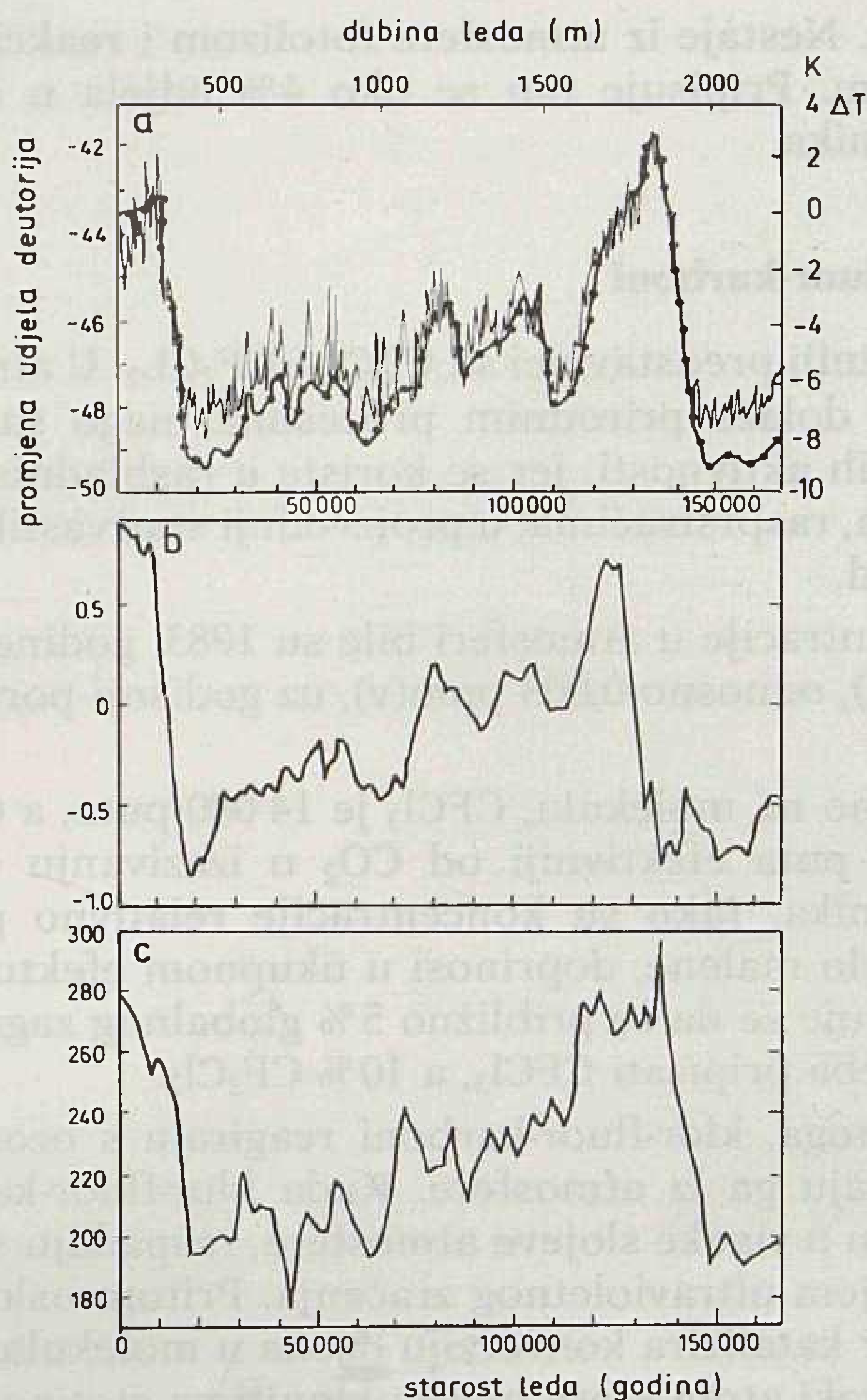
##### Ugljik-dioksid, $CO_2$

$CO_2$  dolazi u atmosferu i izlazi iz nje biološkim procesima na kopnu i moru. Zadnjih stoljeća i desetljeća velike količine oslobađaju se u atmosferu izgaranjem fosilnih goriva. Tu je interesantno mjerenje koje se vrši kontinuirano od 1958. godine u opservatoriju Mauna Loa na Havajima. Slika (1) pokazuje uz sezonske varijacije jasnu tendenciju rasta i ubrzanja rasta. Da bi se mogli ocijeniti efekti emisije  $CO_2$  na klimu, trebalo bi, osim pouzdanog modela koji povezuje porast koncentracije  $CO_2$  i porast temperature, još znati i kako će se razvijati emisija  $CO_2$  u atmosferu, a zatim koliko ugljik-dioksid emitira u atmosferu doprinosi povećanju koncentracije. Da odgovor na posljednje pitanje nipošto nije jednostavan, može se razabrati iz slike 8. u odjeljku 6. Tu se pokazuje kako  $CO_2$  cirkulira u prirodi i njegovi glavni rezervoari.

U istoj, pa i većoj mjeri to vrijedi i za ostale stakleničke plinove.

Već spomenuto vrlo značajno je mjerenje koncentracije  $CO_2$  u antarktičkom ledu koje su početkom 80-ih godina izvršili francuski i sovjetski znanstvenici. U slojevima leda uhvaćeni su mjehurići zraka, pa je tako bilo moguće analizirati sastav atmosfere za 160 000 godina unazad, kolika je starost antarktičkog leda debljine 2 000 m. Rezultati pokazuju jasnu korelaciju između koncentracije  $CO_2$  i srednje godišnje temperature na površini (slika 7, prema (4)).

Srednja temperatura se određuje iz omjera izotopa kisika  $^{18}O$  i  $^{16}O$ . Omjer je temperaturno ovisan prema Maxwell-Boltzmannovoj statističkoj raspodjeli. Mjerenje je dovoljno osjetljivo da se odrede temperaturne razlike od desetinke kelvina. Nezavisno, istu in-



Slika 7. Korelacija temperature i koncentracije  $CO_2$  utvrđene u antarktičkom ledu starosti do 160 000 godina. Temperatura određena relativnom koncentracijom teškog vodika prema običnom i  $^{18}O$  prema  $^{16}O$ : a) promjena udjela deuterija u vodiku (%) i srednja temperatura površine zemlje; promjena prema današnjoj, b) promjena udjela  $^{18}O$  u elementu (‰) c) relativna volumna koncentracija  $CO_2$  (ppm)

formaciju daje udio teškog vodika, deuterija, prema običnom vodiku. Slika 7. a i b pokazuje dobro slaganje dviju nezavisnih metoda.

##### Metan, $CH_4$

Koncentracija metana također pokazuje stalan rast. U 1985. godini iznosila je 1,7 ppm(v) na sjevernoj poluci, a 1,6 ppm(v) na južnoj. Porast iznosi  $1,1 \pm 0,1\%$  godišnje. Metan nastaje pri mikrobijalnoj aktivnosti bez prisutnosti kisika, i pri ljudskim aktivnostima kao što su rudnici ugljena, korištenje zemnog plina, korištenje biomase. Iz atmosfere se uklanja kroz 7–10 godina reakcijama s hidroksilnim radikalima. Molekula metana je, što se tiče efekta staklenika, 32 puta djelotvornija od molekule  $CO_2$ , pa unatoč znatno manjoj koncentraciji ipak pridonosi efektu staklenika s približno 19%. Kretanje koncentracije metana kroz znatno duža razdoblja određeno je analizom leda s Grenlanda i Antarktiku, analogno podacima za  $CO_2$ . Razabire se jasna korelacija udjela metana u atmosferi sa srednjom temperaturom.

##### Dušični oksid $N_2O$

Koncentracija 1985. iznosila je 0,31 ppm(v) uz godišnji porast od 0,2 do 0,3%. Nastaje mikrobijalnom aktivnošću u dušičnom ciklusu, te pri izgaranju fosilnih

goriva. Nestaje iz atmosfere fotolizom i reakcijom s kisikom. Pripisuje mu se oko 4% udjela u efektu staklenika.

### Klor-fluor-karboni

Najvažniji predstavnici su  $\text{CFCl}_3$  i  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ . U atmosferu ne dolaze prirodnim procesima, nego samo iz ljudskih aktivnosti, jer se koriste u rashladnim uređajima, raspršivačima, u proizvodnji spužvastih plastika itd.

Koncentracije u atmosferi bile su 1983. godine 0,002 ppm(v), odnosno 0,003 ppm(v), uz godišnji porast od 5%.

Svedeno na molekulu,  $\text{CFCl}_3$  je 14 000 puta, a  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$  17 000 puta efektivniji od  $\text{CO}_2$  u izazivanju efekta staklenika. Iako su koncentracije relativno prema  $\text{CO}_2$  vrlo malene, doprinosi u ukupnom efektu nisu. Ocjenjuje se da se približno 5% globalnog zagrijavanja treba pripisati  $\text{CFCl}_3$ , a 10%  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ .

Osim toga, klor-fluor-karboni reagiraju s ozonom i uklanjaju ga iz atmosfere. Kada klor-fluor-karboni dospiju u visoke slojeve atmosfere, raspadaju se pod utjecajem ultravioletnog zračenja. Pritom oslobode ni klor katalizira konverziju ozona u molekularni kisik. Svaki atom klora može ukloniti na stotine i tisuće molekula ozona. Upravo zbog toga njegova djelovanja na konferenciji u Montrealu 1987. godine dogovoreno je (Montrealski protokol) da industrijske zemlje do 2000. godine reduciraju emisiju klor-fluor-karbonsa za 50%.

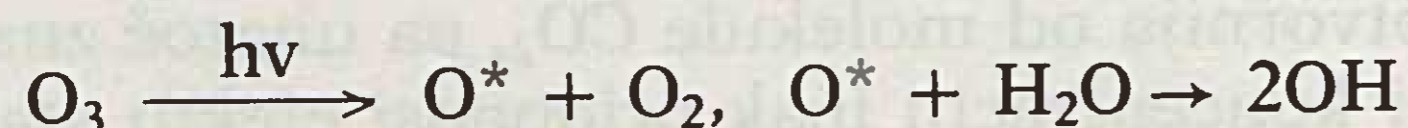
### Ozon, $\text{O}_3$

Ozon nastaje i nestaje u atmosferi. Nastaje spajanjem atomarnog kisika nastalog fotodisocijacijom s molekulom kisika (vidjeti blok: Kemijske reakcija u atmosferi). Nestaje rekombinacijom s atomarnim kisikom i u katalitičkim procesima, važan je proces s klorom. Život ozona je kratak, sati ili dani, a koncentracija lokalno i visinski varijabilna. Pripisuje mu se oko 8% globalnog efekta staklenika.

Kemijske reakcije u atmosferi relevantne za efekt staklenika:

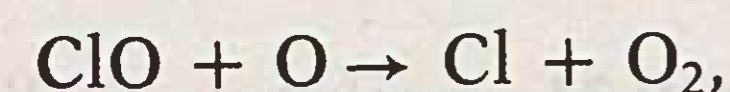
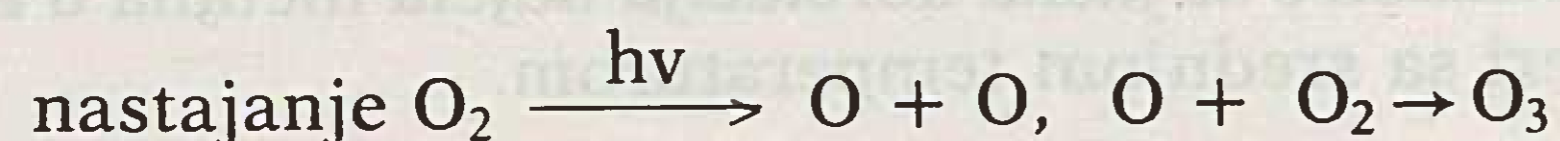
- a) Reakcije s hidroksilnim radikalom OH odigravaju se s većinom molekula u atmosferi i prevode ih u vodi topljive.

Nastajanje hidroksilnog radikala:



Atomski kisik vrlo je reaktivan, nastaje fotodisocijacijom ozona.

- b) Reakcije s ozonom:



Posljednja reakcija oslobađa klor za ponovno reakciju s ozonom.

Klor nastaje fotodisocijacijom klorougljikovodika, pa oni tim putem vrše uklanjanje ozona iz atmosfere.

Tablica 1. sumira doprinose globalnom zagrijavanju iz energetske i neenergetske procesa glavnih stakleničkih plinova.

Tablica 1. Doprinosi stakleničkih plinova iz energetske i neenergetske aktivnosti i procesa globalnom zagrijavanju. Neenergetski i energetski procesi doprinose približno jednako.

	Neenergetski procesi	Energetski procesi
$\text{CO}_2$	9	41
Metan	13	6
CF-karboni	15	—
Ozon	8	—
$\text{N}_2\text{O}$	3	1
Ostali	4	—
	52%	48%

### 5. KLIMATSKI MODEL

Opći model klimatske ovisnosti o glavnim energetskim procesima i tokovima u biosferi i atmosferi razvijao se za meteorološke potrebe. Kada je uočena veza između porasta koncentracije  $\text{CO}_2$  i porasta globalne temperature, model je dalje razvijen i korišten za istraživanje i pretkazivanje utjecaja stakleničkih plinova na klimu (5,6). Model je danas poznat kao opći model cirkulacije (General Circulation Model, kraće GCM) jer mu je jedan od glavnih ciljeva pretkazivanje cirkulacija u atmosferi i oceanima koje su posljedica neravnoteže u regionalnim energijskim bilancama.

U kojoj je mjeri GCM sposoban pretkazati klimatske promjene povezane sa specifičnom promjenom sastava atmosfere, kao što je to povećanje koncentracije  $\text{CO}_2$ ? Problem je u sekundarnim efektima povećanja temperature i rezultirajućim povratnim vezama.

Ako se promatra samo jednodimenzionalno i bez sekundarnih efekata, iz fizikalnih karakteristika  $\text{CO}_2$  može se izračunati da se pri udvostručenju koncentracije srednja temperatura na površini povećava za 4 kelvina. No, naravno, sekundarni efekti porasta temperature postoje i brojni su: promjena brzine bioloških procesa, promjena u količini vodene pare, te leda i naoblake, promjena morskih površina. Da su sekundarni efekti vrlo važni, direktno pokazuju mjerenja na antarktičkom ledu (Vostok) (slika 7). Temperaturne promjene znatno su veće no što bi bile zbog efekta samo povećanja  $\text{CO}_2$ . Na djelu su očito bile snažne pozitivne povratne veze, koje se moraju ugraditi u model. Važan doprinos razvoju modela u 80-im godinama bila su satelitska mjerenja radijacijskog budžeta zemlje iz kojih se došlo do kvantitativnog uvida o utjecaju naoblake na površinsku temperaturu. Naoblaka reflektira direktno Sunčevo zračenje, ali i infracrveno s površine zemlje. Ukupan efekt povećane naoblake je ipak hlađenje. Novija istraživanja ukazuju da regionalne promjene mogu biti mno-

go veće i važnije no što bi se moglo pretpostaviti iz globalnih parametara. Zato je vrlo važno realnije modeliranje oceanske cirkulacije. Također je uočeno da ljudske aktivnosti mogu utjecati na klimu i na načine koji nisu bili uključeni u model. Satelitski snimci pokazuju da sumporni spojevi emitirani u atmosferu mogu utjecati na povećanje oblačnosti i time reflektivnost atmosfere.

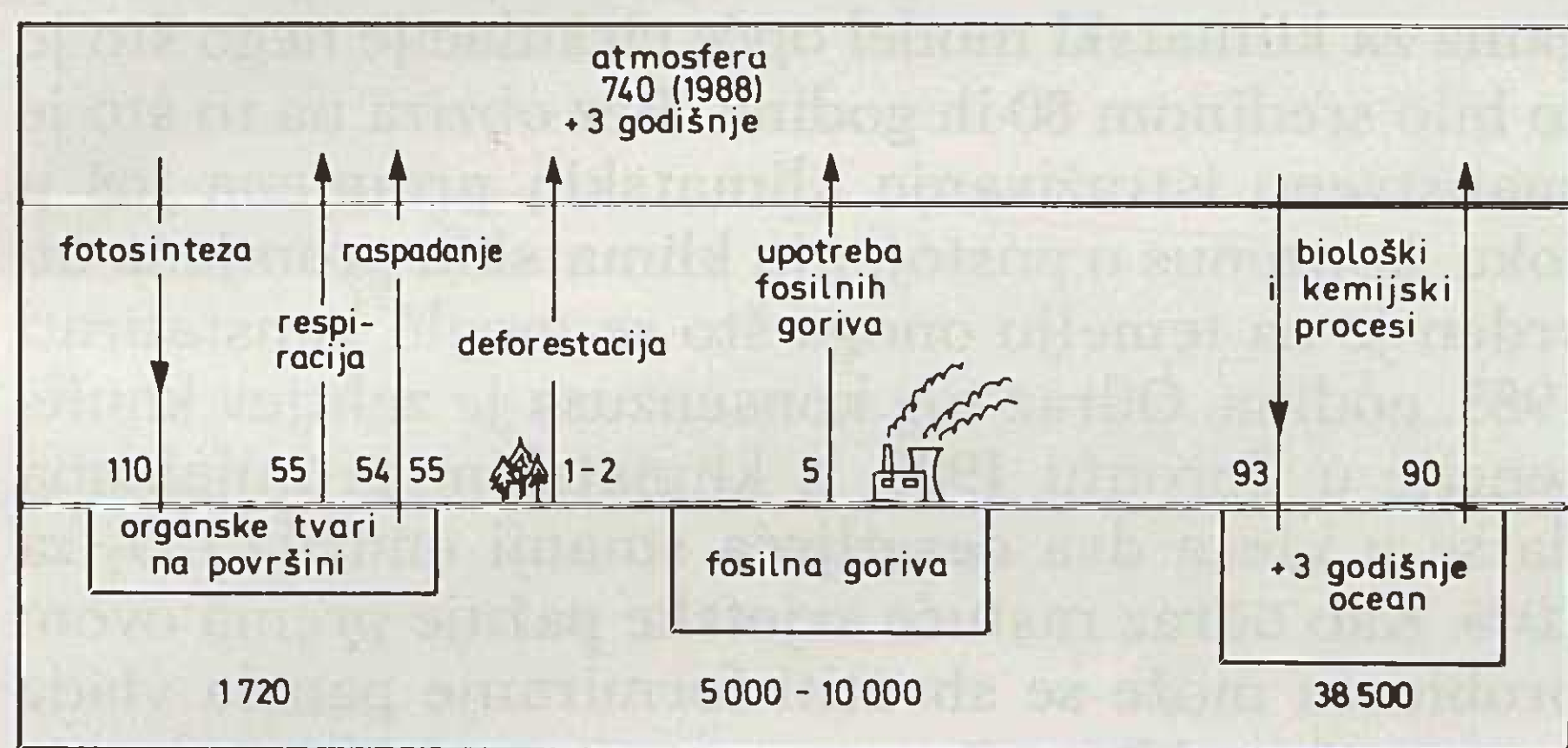
Opaženo je znatno povećanje naoblake nad oceanom stotine kilometara niz vjetar iza Los Angelesa i San Franciska.

Ako bi i bile poznate količine CO<sub>2</sub> koje se ljudskim aktivnostima emitiraju u atmosferu, složen put kruženja CO<sub>2</sub> kroz oceane, biosferu i atmosferu ne omogućava da se dovoljno pouzdano odredi odgovarajuće povećanje koncentracije u atmosferi. A to je osnovni ulazni podatak za model. Bolje poznavanje tih tokova nužan je preduvjet za veću određenost u predviđanjima modela.

Dakako, sama buduća emisija CO<sub>2</sub> u atmosferu predviđa se u velikom rasponu, no to je problem koji možemo odvojiti od razmatranja klimatskog modela.

## 6. NEKI PROBLEMI PRI POSTAVLJANJU KLIMATSKOG MODELA

Unatoč vrlo jasnoj korelaciji temperature i koncentracije CO<sub>2</sub> u analizi istraživača iz baze VOSTOK, porast temperature znatno je veći, i za više od 10 puta od onog koji bi slijedio iz stakleničkih efekata samog CO<sub>2</sub>. Ako se pogleda slika 8. i uoče velike količine CO<sub>2</sub> koje cirkuliraju kroz biološke procese fotosinteze i dekompozicije, onda je jasno da pozitivna povratna veza može proizaći iz temperaturne ovisnosti tih procesa.



Slika 8. Biokemijski ciklus ugljika. Količine u milijardama

Utvrđeno je da se proces respiracije mijenja za 10% do 30% pri promjeni temperature za 1 K, a slično i proces razgradnje. Fotosinteza je malo temperaturno ovisna, što znači da porastom temperature dolazi do znatnog povećanje pritoka CO<sub>2</sub> u atmosferu, koji može biti nekoliko puta veći od sadašnjeg godišnjeg neto porasta od približno 3 milijarde tona.

Daljnja važna povratna veza istražuje se posljednjih godina u sklopu već spomenutog poretka ERBE.

Prema rezultatima satelitskih istraživanja (3) povećanje naoblake s porastom temperature izaziva negativnu povratnu vezu. Iako oblaci reflektiraju dugo-

valno zračenje s površine i time pridonose efektu staklenika, u većoj mjeri reflektiraju kratkovalno ulazno zračenje. Ukupan efekt povećanja naoblake stoga je negativna povratna veza. Iako ta istraživanja još nisu definitivna, ona čine bitan doprinos poznavanju mehanizama klimatskih promjena.

Odnosi između kratkovalnog i dugovalnog efekta naoblake ovise o geografskoj lokaciji i nizu drugih uvjeta. Ilustracije radi, globalno usrednjeni podaci za srpanj 1985 (ERBE projekat) daju 30,1 W/m<sup>2</sup> za reflektirano dugovalno zračenje, a 46,7 W/m<sup>2</sup> za reflektirano upadno kratkovalno zračenje. Neto smanjenje dozračene energije iznosi 16,6 W/m<sup>2</sup>, pa slijedi da povećanje naoblake izaziva hlađenje. Ako se te veličine uporede s pozitivnim doprinosom reflektiranog dugovalnog zračenja stakleničkih plinova od 2,2 W/m<sup>2</sup>, postaje jasnije s koliko se teškoća mora sresti pokušaj da se proračuna utjecaj tih stakleničkih plinova na klimu. Jedan od otvorenih problema je interakcija ocean – atmosfera, koja pokreće globalne cirkulacije. Promjene cirkulacije mogu izazvati efekte koji regionalno kudikamo premašuju one od stakleničkih plinova. Ako bi npr. nastupilo sušno razdoblje na geografskoj širini SAD, u tom području povećanje ulaznog kratkovalnog zračenja bilo bi približno 50 W/m<sup>2</sup>, preko 20 puta više od dugovalnog doprinosa stakleničkih plinova.

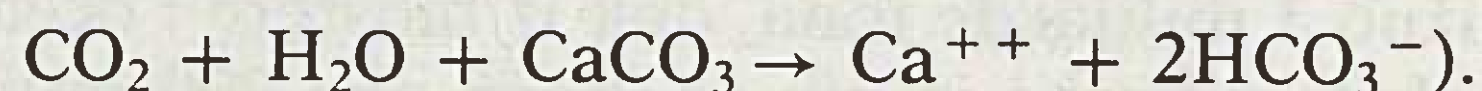
## 7. ANORGANSKI IZVORI UGLJIK-DIOKSIDA U ATMOSFERI

Daljni izvor neodređenosti u pretkazivanju budućih klimatskih promjena jest nedovoljno poznavanje ostalih izvora i ponora CO<sub>2</sub> u atmosferi.

Uloga određenih izvora i ponora ovisi o vremenskoj skali promatranja. Ako se promatraju intervali u stotinama i tisućama godina, onda je najvažniji prije opisan biološki ciklus ugljika, tj. izmjene cirkulacija između biosfere i atmosfere te između oceana i atmosfere. U posljednjih pedesetak godina značajne promjene su nastale zbog ljudskih aktivnosti. Ako se pak promatraju mnogo duži vremenski intervali koji se mjere milijunima godina, tada je bitan geokemijski ciklus ugljika, tj. tokovi ugljika između sedimentnih stijena atmosfere, biosfere i oceana. Pri promatranju kraćih vremenskih intervala potrebno je ipak procijeniti doprinose geokemijskih procesa.

Pogledajmo najbitnije.

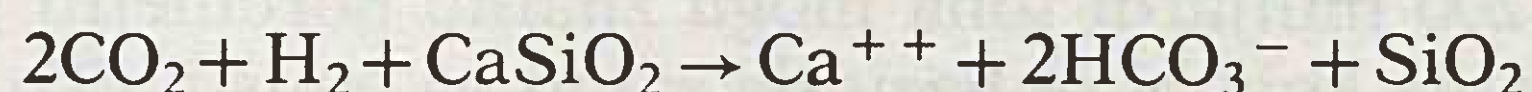
Pri kemijskoj eroziji površinskih vapnenačkih i silikatnih stijena troši se CO<sub>2</sub> reakcijom na vapnencu.



Pošto su produkti erozije nađu u oceanima, reakcijom u suprotnom smjeru stvara se vapnenac:



Silikatne stijene erodiraju također uz utrošak CO<sub>2</sub> i proizvodnju vapnenca ili kalcija:



Dio nastalog vapnenca i silicij-dioksida taloži se na oceansko dno i formira sedimentnu stijenu. Geofizičari smatraju da se geokemijski odljev ugljik-dioksida kemijskom erozijom stijena i taloženjem vapnenca balansira emisijom CO<sub>2</sub> u vulkanskoj aktivnosti i srodnim pojavama. Porijeklo CO<sub>2</sub> je u reakciji između kalcijeva i magnezijeva karbonata sa silikatima u uvjetima povišene temperature na dubinama od više kilometara.



Stvoreni ugljik-dioksid pronalazi putove do atmosfere, i time se zatvara geokemijski ciklus ugljika.

Prema (7), kada bi se količina CO<sub>2</sub> koja dolazi u atmosferu iz geokemijskog ciklusa raspolovila, te ako bi ostali procesi tekli jednako, u toku 600 000 godina bio bi utrošen sav ugljik u atmosferi i dostupan oceanski ugljik, te bi fotosinteza bila zaustavljena. Razabire se da su godišnji tokovi ugljika maleni prema onima koji se zbivaju u biološkom ciklusu, gdje su godišnje količine apsorbirane fotosintezom reda veličine 100 milijardi tona. Gornja procjena za geokemijski ciklus daje godišnju vrijednost manju za približno tri reda veličine. To je neznatno prema neodređenostima biološkog ciklusa, te se na vremenskoj skali od interesa tj. nekoliko stotina godina, može zanemariti. Promjene stanje zbog biološkog ciklusa dešavaju se u vremenskim periodima od tisuću godina i superponiraju na geokemijske promjene. Te su male na godišnjoj skali, ali se mogu zbrajati kroz geološke periode određenih tektonskih aktivnosti i izazvati velike klimatske efekte, kakvih je bilo u ranijim geološkim periodima. Prve primjene modela geokemijskog ciklusa (7) vode na koncentraciju CO<sub>2</sub> preko 30 puta veću od današnje prije 100 milijuna godina. Neodređenosti su, međutim, velike, a geološki podaci koji bi mogli ta predviđanja provjeriti zasada još nedovoljni. Tek će buduća istraživanja detaljnije potvrditi zaključak do kojeg već dolaze istraživači geokemijskog ciklusa CO<sub>2</sub>, da je u tim periodima koncentracija CO<sub>2</sub> u atmosferi bila odlučan faktor globalne klime.

U svakom slučaju, intervencija čovjeka u biološki ciklus, i znatno brže promjene koje ga karakteriziraju važne su za vremenske periode koji se razmatraju u energetici i ekologiji.

Bez obzira na ograničenje na biološki ciklus, problemi nisu maleni. Čak kada bi imali potpunu određenu buduću emisiju CO<sub>2</sub>, ostale bi velike neodređenosti u budućoj koncentraciji CO<sub>2</sub> u atmosferi. To je razumljivo iz osnovnih podataka o biološkom ciklusu. Godišnje povećanje količine CO<sub>2</sub> u atmosferi je približno 3 milijarde tona, dok iz biosfere i oceana u atmosferu odlazi i iz nje se vraća oko 200 milijardi tona. U odnosu na godišnje promjene vrlo su velike količine CO<sub>2</sub> u glavnim rezervoarima, atmosferi, biosferi i oceanu. Temperatura nesumnjivo utječe na biološki ciklus, pa je jasno da i relativno malene promjene godišnjih tokova biološkog ciklusa na nivou od 200 milijardi tona mogu znatno poremetiti predviđanja koja bi se bazirala samo na emisiji CO<sub>2</sub> iz izgaranja fosilnih goriva.

## 8. ZAKLJUČAK

Ako bismo zaključke konferencije u Villachu 1985. godine uzeli kao rezime gledanja na efekt staklenika u prvoj polovini 80-ih godina, interesantno je pitanje u kojoj mjeri oni vrijede na kraju 80-ih godina, odnosno u kojoj ih mjeri treba revidirati. U drugoj polovini 80-ih godina načinjeni su krupni koraci u upoznavanju klimatskih međuovisnosti, odnosno u uklanjanju neodređenosti u klimatskom modelu opće cirkulacije. Ti su, primarno, utvrđivanje korelacije temperaturnih promjena i promjena koncentracije CO<sub>2</sub> analizom antarktičkog leda, te mjerenja radijacijske ravnoteže Zemlje. Otkriće ozonske rupe bilo je zabrinjavajuće upozorenje na to da je jedna gotovo banalna akcija čovjeka, emisijom klor-flour-karbona, u relativno i apsolutno vrlo malim količinama, ipak imala za posljedicu dramatične promjene u ekosistemu. U toku je intenzivna aktivnost za unapređivanje znanstvenog razumijevanja klimatskih promjena i uklanjanje neizvjesnosti u kvantitativnom procjenama. Svjetska meteorološka organizacija (World Meteorological Organization, WMO) sa svojih 160 zemalja — članica koordinira niz istraživačkih projekata koji će unaprijediti klimatski model, a čine dijelove opsežnog programa istraživanje svjetske klime (World Climate Research Programme, WCRP). Dva vrlo važna projekta su projekt koji istražuje efekte naoblake na klimu, kao i njezinu globalnu raspodjelu (International Satellite Cloud Climatology Project, ISCCP), te nov projekt istraživanja globalnih oceanskih strujanja WOCE (World Ocean Circulation Experiment).

Ubrzava se novi tip globalnih interdisciplinarnih istraživanja uz korištenje novih tehnologija komuniciranja i opažanja. Spomenuti i drugi projekti rezultirat će sredinom 90-tih godina u mnogo boljim podlogama za klimatski model opće cirkulacije nego što je to bilo sredinom 80-ih godina. Bez obzira na to što je znanstveno istraživanje klimatskih promjena još u toku, konzenus o postojanju klimatskih promjena utvrđen je na temelju onoga što se moglo konstatirati 1985. godina. Odras tog konsenzusa je zahtjev konferencije u Torontu 1988. o klimatskim promjenama da se u iduća dva desetljeća smanji emisija CO<sub>2</sub> za 20%. Kao odraz rastuće svjetske pažnje prema ovom problemu može se shvatiti formiranje panela vlada za promjene klime (Intergovernmental Panel on Climate Change), što su ga inicirale WMO i UNEP. Panel je formiran 1988. od Generalne skupštine UN, a njegove ocjene i prijedlozi bit će podneseni Drugoj svjetskoj konferenciji o klimi u 1990. godini. Panel priprema izvještaje u tri grupe: (1) za znanstveni status, (2) za impakt na društvo i ekonomije i (3) za strategije ublažavanja efekata.

Generalna skupština UN razmatrala je također probleme klimatskih promjena i u rezoluciji u prosincu 1988. pozvala panel vlada o klimatskim promjenama da izvijesti Generalnu skupštinu o napretku u svim aspektima problema. Sav taj razvoj istraživačke aktivnosti na problemu staklenika, njezino internacionalno povezivanje i koordiniranje, pažnja s kojom se

problem prati u Organizaciji ujedinjenih naroda i njezinim specijaliziranim agencijama, a sve to najvećim dijelom u drugoj polovini 80-ih godina, upućuje na rast svjetskog konsenzusa o ozbiljnosti problema koji opravdava, omogućuje i traži da se počne s razmatranjem i razvojem nacionalnih i internacionalnih strategija za njegovo rješavanje odnosno ublažavanje.

Nakon ovogodišnje druge Svjetske konferencije o klimi može se očekivati da će danas sve brojniji zahtjevi znanstvenih i drugih organizacija za redukciju emisije CO<sub>2</sub> i javno mnijenje dovesti i do međunarodno usvojenih obaveza na ograničenje emisije, te se u dugoročnom planiranju razvoja energetike o ovoj mogućnosti mora voditi računa.

## LITERATURA

- [1] Projecting the Climatic Effects of Increasing Carbon Dioxide. DOE 1985.
- [2] Report of the International Conference on the Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts Villach, Austrija 9–15. October 1985, WMO-No 661.
- [3] C. RAMANATHAN, B. R. BARKSTROM, E. F. HARRISON: »Climate and the Earth Radiation Budget«, Physics Today, May 1989.
- [4] R. A. HOUGHTAN, G. M. WOOWELL: »Global Climatic Change«, Scientific American, VI 260, No 4, 1989.
- [5] S. MANABE, R. T. WETHERALD: »The Effects of Doubling the CO<sub>2</sub> Concentration on a Climate of a General Circulation Model«, Journal of Atmospheric Sciences 32: 3–15, 1975.
- [6] S. MANABE, R. T. WETHERALD: »On the Distribution of Climate Change Resulting from an Increase in CO<sub>2</sub>

Content of the Atmosphere«, Journal of Atmospheric Sciences 37: 99–118, 1980.

- [7] R. BERNER, A. C. LASAGA: »Modeling the Geochemical Carbon Cycle«, Scientific American, March 1989.

## GREENHOUSE EFFECT AND ENERGY DEVELOPMENT

Correct evaluation of scientific understanding of the greenhouse effect and its global influence on climate is an important element in determination of long term energy strategies. Paper presents the state of scientific understanding with a conclusion that in spite of still existing uncertainties there is sufficient consensus on future effects of greenhouse gases to formulate national and international policies for prevention or reduction of consequences. Steps in this direction are urged by several international scientific and expert associations.

## GLOBALES ERWÄRMEN UND DIE ENTWICKLUNG DER ENERGETIK

Eine wichtige Frage für die Bestimmung einer langfristigen Strategie der energetischen Entwicklung ist eine einwandfreie Beurteilung des wissenschaftlichen Status und des ungünstigen Einflusses auf das Klima bzw. den Glashauseffekt. Im Referat ist der wissenschaftliche Status des Problems mit dem Beschluß präsentiert, daß ohne Rücksicht auf die Unbestimmtheiten schon genügend Übereinstimmungen bestehen um die Formeln der nationalen und internationalen Maßnahmen zur Verhinderung der Folgen zu formulieren. Eine Reihe internationaler wissenschaftlicher und fachlicher Organisationen macht auf die Notwendigkeit aufmerksam, Maßnahmen zu einer Kohlendioxid Emission zu treffen.

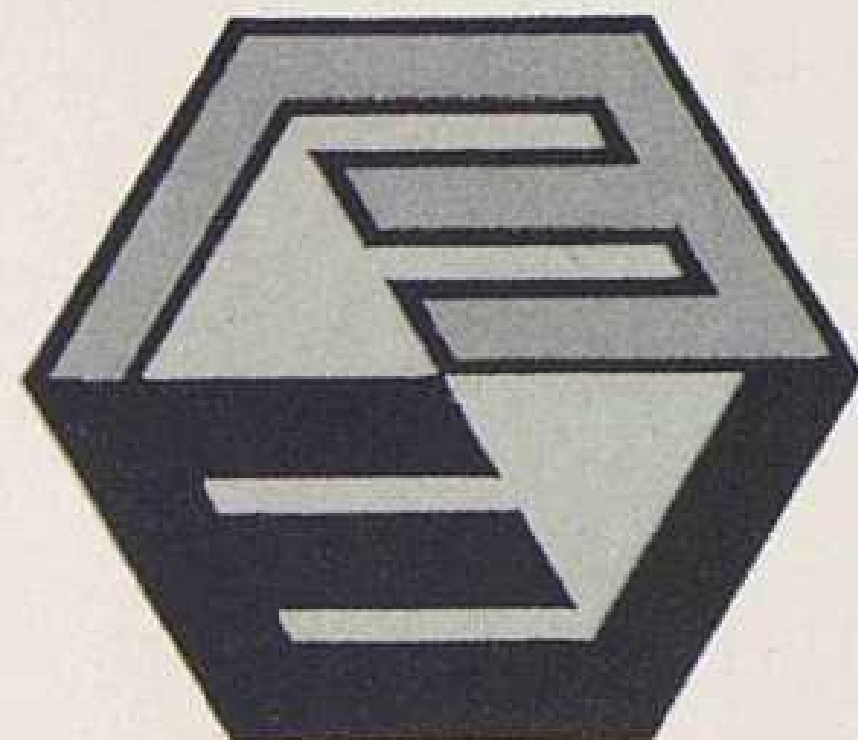
## ГЛОБАЛЬНОЕ НАГРЕВАНИЕ И РАЗВИТИЕ ЭНЕРГЕТИКИ

Конкретная оценка научного статуса и неблагоприятного влияния на климат, так называемой пробырки, является важным вопросом для определения долгосрочной стратегии энергетического развития. В докладе представлен научный статус проблем с заключением, что несмотря на то, чтобы сформироваться национальные и интернациональные мероприятия во спрепятствования последствий. Ряд международных научных и специальных организаций обращает внимание на необходимость предпринять меры по сокращению и спускания углекислого газа.

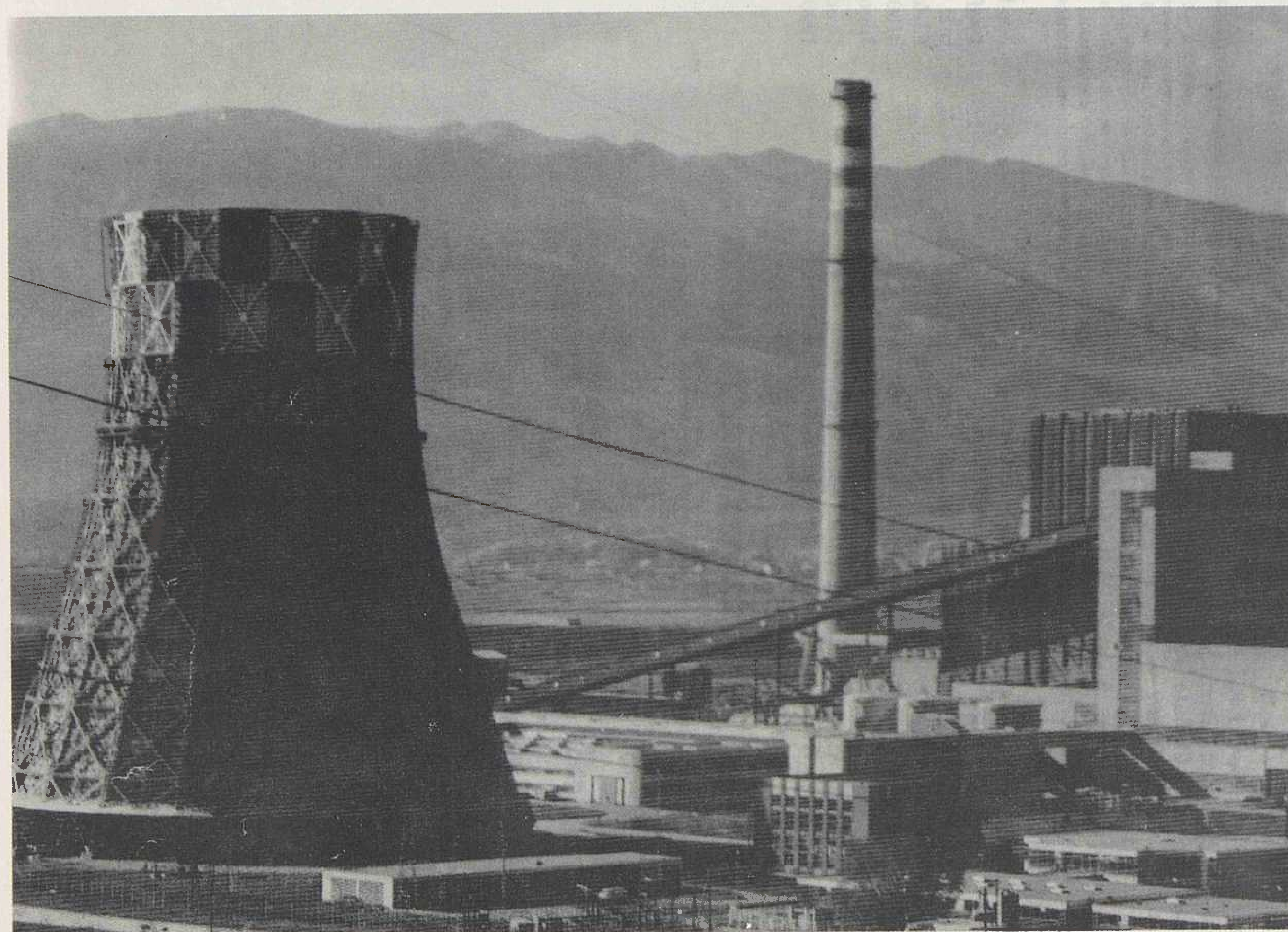
Naslov pisca:

**Prof. dr. Vladimir Knapp, dipl. inž.**  
**Elektrotehnički fakultet Zagreb,**  
**41000 Zagreb, Unska 17,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1990-05-11



# MONTING ENERGETIKA ZAGREB



**PODUZEĆE ZA IZGRADNJU,  
PROIZVODNJU OPREME I  
MONTAŽU ENERGETSKIH I  
INDUSTRIJSKIH OBJEKATA**

**41000 ZAGREB  
Kesterčankova 1**

Telefoni:  
Centrala 041/217-700  
Generalni direktor 235-644  
Komercijalni sektor 235-270  
Tehnički sektor 233-880  
Financijski sektor 234-007  
Kadrovski sektor 233-878  
Telex 21473 yu mont  
Telefax 235-560

TE »GACKO« – Gacko: Kompletna montaža bloka 1 instalirane snage 1 × 300 mW, 1982. godine.  
Rekonstrukcija kotla kapaciteta 990 t/h pare i kapitalni remont turbogenerators 300 MW, 1989. godine.

# FINANCIJSKO VREDNOVANJE MJERA ZA RACIONALNO KORIŠTENJE ENERGIJE

Mr. Irislav D r e z g a , Zagreb

UDK 621.3.003.1  
PREGLEDNI RAD

Prikazana je metodologija za ocjenu financijske efikasnosti mjera za racionalno korištenje energije. Dan je pripadni matematički model i opisan interaktivni programski paket za elektroničko računalo razvijen na osnovi opisane metodologije. Pomoću programskog paketa analizirana je financijska efikasnost investicije na jednom konkretnom primjeru.

**Ključne riječi:** financijska analiza, racionalno korištenje energije.

## 1. UVOD

S porastom cijena pojedinih energenata te zagađivanjem okoliša povezanim s proizvodnjom i potrošnjom energije, racionalno korištenje energije postalo je jedan od prioritetnih zadataka energetske politike u gotovo svakoj zemlji. Cilj je racionalnog korištenja energije poboljšanje efikasnosti korištenja odnosno smanjenje potrošnje energije. Na taj način mogu za postići pozitivni efekti mnogo prije nego mjerama za povećanje opskrbe energijom, te se smanjiti neželjene ekološke posljedice proizvodnje i potrošnje energije.

Ekonomski gledano, mjere za racionalno korištenje energije mogu se podijeliti u kratkoročne i dugoročne. Kod kratkoročnih mjera razdoblje povrata investicije iznosi do dvije godine, a te mjere ne zahtijevaju velika investicijska ulaganja. Dugoročnim se smatraju sve mjere čije je razdoblje povrata duže od dvije godine i koje u pravilu zahtijevaju veća investicijska ulaganja.

Dominantan faktor pri izboru neke mjere za racionalno korištenje energije jest ekonomski. Pri ocjenjivanju financijske efikasnosti mjera poseban problem predstavlja porast cijena pojedinih kategorija investicije. Uzrok tome porastu može biti stvaran porast vrijednosti ili porast uvjetovan inflacijom, a često su odgovorna oba ova faktora. U takvim slučajevima vrlo je teško odrediti udio pojedinog faktora u stopi porasta cijena. Zbog toga se u ovom radu stopa inflacije eksplicitno ne uzima u obzir, uz napomenu da je u tom slučaju potrebno korigirati dobivenu internu stopu rentabilnosti, te imati tu činjenicu na umu pri izboru diskontne stope.

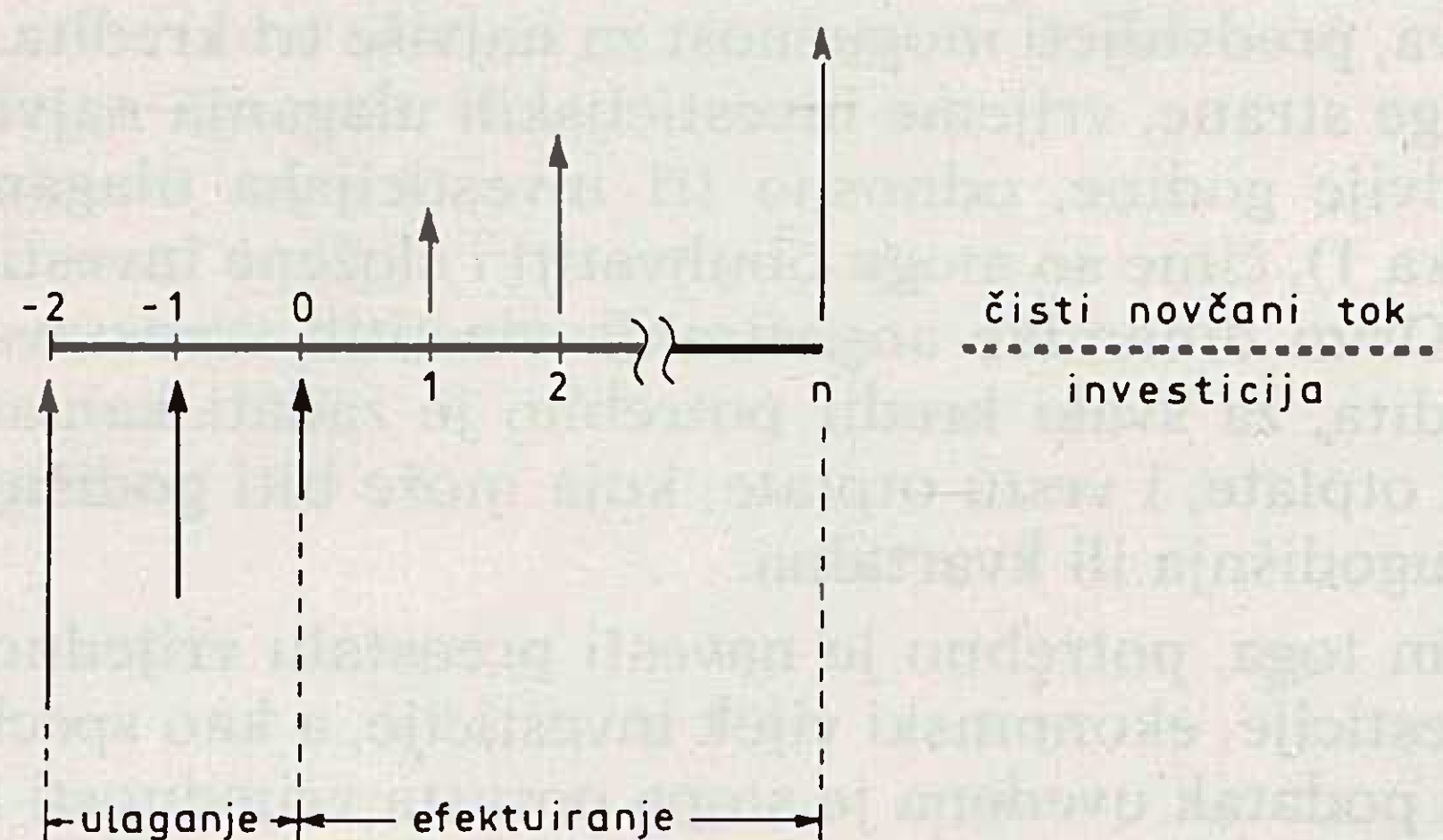
Za analize financijske efikasnosti zahtijevane u takvim slučajevima, kao i za izradu rebalansa investicija razvijena je odgovarajuća metodologija prema kojoj je napravljen interaktivni programski paket. Na taj način omogućeno je brzo uspoređivanje financijskih efekata svake predložene mjere, analiziranje poslje-

dica promjene nekih ulaznih podataka na financijske efekte investicije i pohranjivanje podataka za kasnije dohvaćanje. Metodološki je financijska analiza podijeljena na pet istaknutih cjelina odnosno koraka, a to su:

1. Predračunska vrijednost investicije
2. Financijska konstrukcija s dinamikom ulaganja
3. Ukupni godišnji prihod investicije
4. Ukupni godišnji troškovi investicije
5. Proračun financijske efikasnosti investicije.

U ovom radu dan je detaljan matematički opis svake metodološke cjeline. Također je opisan interaktivni programski paket za ocjenu financijske efikasnosti mjera za racionalno korištenje energije, te prikazano korištenje tog paketa na konkretnom primjeru.

Usvojena je konvencija da su svi novčani iznosi zadani u iznosu aktualnom u trenutku početnog ulaganja, koji se naziva referentnim trenutkom, a za koji se pretpostavlja da se vremenski poklapa s trenutkom izrade ekonomske analize. Povećanja tih iznosa obuhvaćaju se odgovarajućim stopama porasta vrijednosti. Trenutak početnog ulaganja može biti bilo koja godina do uključivo nulte godine, kao što je to prikazano na slici 1.



Slika 1. Vremenski dijagram novčanih tokova investicije

## 2. PREDRAČUNSKA VRIJEDNOST INVESTICIJE

Svrha je ove cjeline da se odrede izdaci investicije po kategorijama, kao i ukupni iznos promatrane investicije. Izdaci su podijeljeni na šest kategorija, kao što se vidi s ekranskog prikaza za tu cjelinu danom na slici 2.

Svaka od prikazanih kategorija razlaže se prema nahođenju analitičara na stavke. Ukupno ulaganje po pojedinoj kategoriji dobije se zbrajanjem iznosa za stavke te kategorije, a ukupna investicija dobiva se kao zbroj ulaganja po pojedinoj kategoriji. Ovaj korak je u programskom paketu realiziran s glavnim i s nekoliko sporednih ekranskih prikaza.

PREDRAČUNSKA VRIJEDNOST INVESTICIJE u 10exp 3 dinara (= 1NJ)		
Red. br.	Stavka	Ukupno N J
1.	Zahvati na postojećoj opremi	.0
2.	Nabava domaće opreme	148 900.0
3.	Nabava strana opreme	.0
4.	Montaža opreme	.0
5.	Građevinski radovi	10 000.0
6.	Ostalo	5 000.0
Ukupno		163 900.0

Slika 2. Ekranski prikaz za predračunsku vrijednost investicije

Glavni meni prikazan je na slici 2, a služi za odabiranje pojedinih kategorija za specificiranje stavki, za pregledan prikaz investicije po kategorijama, kao i za izračunavanje ukupnog investicijskog ulaganja. Za svaku kategoriju pojavljuje se isti sporedni ekranski prikaz na kojem je moguće definirati sedamnaest stavki. Za svaku stavku navodi se njezin opis i novčani iznos. Iznosi stavki se sumiraju da se dobije ulaganje po kategoriji.

## 3. FINANCIJSKA KONSTRUKCIJA INVESTICIJE

Investicije u mjere za racionalno korištenje energije redovito nemaju složenu investicijsku konstrukciju. Stoga je usvojeno da je dovoljno, osim vlastitih sredstava, predvidjeti mogućnost za najviše tri kredita. S druge strane, vrijeme investicijskih ulaganja najviše je dvije godine, odnosno tri investicijska ulaganja (slika 1), čime se mogu obuhvatiti i složene investicije. Osim dinamike angažiranja vlastitih sredstava i kredita, za svaki kredit potrebno je zadati kamate, rok otplate, i vrstu otplate, koja može biti godišnja, polugodišnja ili kvartalna.

Osim toga, potrebno je navesti preostalu vrijednost investicije, ekonomski vijek investicije, a kao specifičan podatak uvedena je stopa porasta vrijednosti investicije. Prema toj stopi uvećavat će se vrijednost investicije od trenutka angažiranja sredstava.

KONSTRUKCIJA FINANCIRANJA S DINAMIKOM ULAGANJA (u NJ)							
Izvor sredstava				Godina ulaganja			Ukupno
				-2.	-1.	0.	
Vlastita sredstva						15 000	15 000.0
br.	Kamate	Rok	Otp				
1.	10	2	3			148 900	148 900.0
2.							.0
3.							.0
Krediti po godinama				.0		148 900.0	148 900.0
Ukupno				.0	0.	163 900.0	163 900.0

Otp: 1 – godišnja, 2 – polugodišnja, 3 – kvartalna Rok (otplate): godina

Preostala vrijednost (% od ukupne): 5 Porast vrijed. invest.: 10 Prva godina ulaganja: –0. Vijek investicije: 10

Slika 3. Ekranski prikaz za financijsku konstrukciju investicije

U programskom paketu ovaj je dio realiziran ekranskim prikazom prikazanim na slici 3. Sa slike se vidi da se izračunava nominalni iznos angažiranih sredstava po godinama ulaganja, po vrsti izvora sredstava, kao i ukupan iznos investicijskih ulaganja. Time je investicija razložena na vremenske kategorije, kao i na financijske izvore.

## 4. UKUPNI GODIŠNJI PRIHOD INVESTICIJE

Ukupni godišnji prihod investicije predstavlja razne uštede na energentima koje će se ostvarivati realiza-

SPECIFIKACIJA GODIŠNJE POTROŠNJE ENERGIJE				
Mjesec	Stavka 1. VDTS-VTS Jed.: kVArh	Stavka 2. NDTS-VTS Jed.: kVArh	Stavka 3. VDTS-NTS Jed.: kVArh	Stavka 4. NDTS-NTS Jed.: kVArh
1.	30 720	23 037	0	0
2.	28 930	22 734	0	0
3.	25 464	19 226	0	0
4.	0	0	30 062	24 438
5.	0	0	23 084	18 744
6.	0	0	23 000	20 189
7.	0	0	23 936	24 466
8.	0	0	10 780	12 321
9.	0	0	21 366	22 900
10.	26 382	27 213	0	0
11.	30 840	36 010	0	0
12.	25 638	31 312	0	0
Ukupno	167 974.0	159 532.0	132 228.0	123 058.0

Slika 4. Ekranski prikaz za specifikaciju godišnje potrošnje energije



UKUPNI GODIŠNJI PRIHOD INVESTICIJE								
(1 NJ = 10 exp 3 dinara)								
Red. br.	Stavka (energ.)	Jed.	Godišnja potrošnja	Ušteda		Cij. NJ/J	Rast %	Vrijed. (N J)
				%	Jed.			
1.	VDTS-VTS	kVArh	167 974.0	84	141 098.2	41	10	57 850.2
2.	NDTS-VTS	kVArh	159 532.0	88	140 388.2	.20	10	28 077.6
3.	VDTS-NTS	kVArh	132 228.0	106	140 161.7	.16	10	22 425.9
4.	NDTS-NTS	kVArh	123 058.0	100	123 058.0	.08	10	9 844.6
Ukupno								118 198.4

Slika 5. Ekranski prikaz za ukupan godišnji prihod investicije

cijom investicije. U tu svrhu potrebno je najprije specificirati godišnju potrošnju energije po stavkama i po iznosu u naturalnim jedinicama za sve energente koji će biti obuhvaćeni investicijom. Za svaku stavku se potrošnja daje po mjesecima. To je učinjeno iz praktičnih razloga jer se obrčau kod većine potrošača energije obavlja mjesečno. Na taj način jasno su istaknuti oni energenti smanjenjem potrošnje kojih će se ostvariti dobit od investicije.

Nakon toga se za svaku navedenu stavku procjenjuje ušteda energije, i to u postocima ukupne godišnje potrošnje, zadaje se cijena dotičnog energenta odnosno stavke, te se zadaje godišnja stopa porasta vrijednosti tog energenta.

Ovaj dio je programski realiziran pomoću dva ekranska prikaza. Glavni ekranski prikaz služi za specifikaciju potrošnje energije po stavkama i mjesecima. Za svaku stavku izračunava se ukupna godišnja potrošnja u naturalnim jedinicama (slika 4). Nakon toga se ulazi u ekranski prikaz u kojemu se definiraju ukupne godišnje uštede investicije, dakle godišnji prihod investicije (slika 5). Na ovom ekranskom prikazu izlistavaju se sve stavke navedene u prethodnom, zajedno s ukupnom godišnjom potrošnjom. Analitičar upisuje uštede energije u postocima, jediničnu cijenu i stopu porasta cijene energenta. Zatim se programski izračunavaju uštede u naturalnim jedinicama, kao i vrijednost ušteda uz zadane cijene energenata. Sumiranjem vrijednosti svih ušteda dobiva se ukupna vrijednost godišnjeg prihoda investicije.

## 5. UKUPNI GODIŠNJI TROŠKOVI INVESTICIJE

U ukupne godišnje troškove investicije ubrajaju se:

1. Investiciono održavanje opreme (zadaje se kao postotak od investicije u opremu) i godišnja stopa porasta vrijednosti opreme u postocima
2. Investiciono održavanje građevinskog dijela (zadaje se kao postotak od investicije u građevinski dio) i godišnja stopa porasta građevinskog dijela investicije
3. Premija osiguranja (zadaje se u novčanim jedinicama) i pripadajuća godišnja stopa porasta u postocima

4. Ostali rashodi financiranja (zadaju se u novčanim jedinicama) i pripadajuća godišnja stopa porasta u postocima
5. Bruto osobni dohodak (OD) uslovljen investicijom (zadaje se u novčanim jedinicama) i pripadajuća godišnja stopa porasta u postocima
6. Porezi (zadaju se u postocima od porezne osnovice)
7. Doprinosi (zadaju se u postocima od porezne osnovice)
8. Varijabilni troškovi (zadaju se u novčanim jedinicama) i pripadajuća stopa porasta u postocima
9. Ostali poslovni rashodi (zadaju se u novčanim jedinicama) i pripadajuća stopa porasta u postocima
10. Amortizacija (zadaje se kao postotak od ukupne vrijednosti investicije).

OPERATIVNI TROŠKOVI INVESTICIJE				
(1NJ = 10exp 3 dinara)				
Red. br.	Stavka	Jedinica	Iznos	God. stopa porasta (%)
1.	Investic. održavanje opreme	% od inv. u opremu	0.5	10.
2.	Investic. održavanje građ. dijela	% od inv. u građ.	0.01	10.
3.	Premija osiguranja	N J	2900	10.
4.	Ostali rashodi financiranja	N J		
5.	Brutto O D uslovljen investicijom	N J		
6.	Porezi	% od por. osnovice	3.	
7.	Doprinosi	% od por. osnovice	2.5	
8.	Varijabilni troškovi	N J	1500	10.
9.	Ostali poslovni rashodi	N J		
10.	Amortizacija	% od ukup. invest.	10.0	

Slika 6. Ekranski prikaz za godišnje troškove investicije

Ekranški prikaz za upis godišnjih troškova investicije prikazan je na slici 6.

## 6. PRORAČUN FINANCIJSKE EFIKASNOSTI INVESTICIJE

U prethodnim poglavljima prikupljeni su svi potrebni podaci za ekonomsku analizu investicije koja se sastoji od nekoliko koraka. Sve veličine koje se odnose na referentni trenutak označavaju se kao referentne.

Brojanje godina počinje od referentnog trenutka, u skladu s praksom u takvim analizama kao nulti trenutak označava se početak prve godine efektuiranja investicije (slika 1.). Period koji je obuhvaćen analizom  $n_a$  je jednak:

$$n_a = n_u + n_e \quad (1)$$

gdje je:

$n_u$  — broj godina investiranja  
 $n_e$  — broj godina efektuiranja.

Također će se smatrati da se radi o »point input — point output« tipu investicije prema kojemu investicijska ulaganja nastupaju na početku godine, dok se svi efekti investicije očituju na kraju godine, kao što je prikazano na slici 1.

### 6.1. Računanje ušteda na energiji

Da bi se bolje uočio efekt investicije, izračunati su izdaci za energiju bez investicije, odnosno s investicijom, kao i uštede uzrokovane investicijom koje predstavljaju prihod investicije.

Troškovi energije bez investicije računaju se prema:

$$T_{e,i} = \sum_{j=1}^{m_e} g_j \cdot c_j \cdot (1 + f_{e,j})^i \quad i = 1, 2, \dots, n_a \quad (2)$$

gdje je:

$T_{e,i}$  — troškovi energije u  $i$ -toj godini  
 $m_e$  — broj energenata  
 $g_j$  — godišnja  $j$ -tog energenta  
 $c$  — referentna cijena  $j$ -tog energenta  
 $f$  — stopa porasta cijene  $j$ -tog energenta.

Uštede na troškovima energije u  $i$ -toj godini se računaju prema:

$$U_i = 0 \quad i = 1, \dots, n_u \quad (3)$$

$$U_i = \sum_{j=1}^{m_e} d_j \cdot g_j \cdot c_j \cdot (1 + f_{e,j})^i \quad i = (n_u + 1), \dots, n_a \quad (4)$$

gdje je:

$d_j$  — ušteda energije za  $j$ -ti energent u relativnom iznosu.

Osim uštede u novčanim jedinicama, izračunava se i ušteda u postocima za  $i$ -tu godinu  $u_i$ :

$$u_i = \frac{U_i}{T_{e,i}} \quad (5)$$

U slučaju štednje raznih vrsta energenata, u različitim relativnim iznosima i s različitim stopama poras-

ta cijene pojedinog energenta ovaj je podatak korisna informacija o ukupnoj uštedi investicije.

Izdaci za energiju u  $i$ -toj godini sa investicijom

$$T'_{e,i} = T_{e,i} - U_i \quad (6)$$

Na osnovi tog podatka mogu se u fazi efektuiranja investicije brzo i lako pratiti osnovni efekti investicije, te izvršiti eventualni rebalansi.

UŠTEDE NA TROŠKOVIMA ZA ENERGIJU				
1NJ = 10exp 3 din				
God.	Troškovi bez invest. (NJ)	Troškovi s invest. (NJ)	Ušteda (NJ)	Ušteda (%)
0.	131776.9000	131776.9000	0000000000	.0
1.	144954.5000	14936.33000	130018.2000	89.7
2.	159450.0000	16429.95000	143020.1000	89.7
3.	175395.0000	18072.95000	157322.1000	89.7
4.	192934.5000	19880.25000	173054.3000	89.7
5.	212228.0000	21868.28000	190359.7000	89.7
6.	233450.8000	24055.09000	209395.7000	89.7
7.	256795.9000	26460.61000	230335.3000	89.7
8.	282475.5000	29106.69000	253368.8000	89.7
9.	310723.0000	32017.34000	278705.7000	89.7
10.	341795.3000	35219.06000	306576.3000	89.7

Slika 7. Uštede investicije

Na slici 7. prikazana je izlazna lista programa za opisani proračun.

### 6.2. Čisti novačani tok investicije

Za proračune financijske efikasnosti investicije potrebno je formirati čist novčani tok po godinama investiranja i efektuiranja investicije. Čist novčani tok formira se kao razlika originalnih iznosa prihoda i rashoda investicije.

Rashodi investicije sastoje se od nekoliko stavki:

1. Rashodi investicije u toku perioda investiranja  $R_i$  računaju se prema formuli:

$$R_i = (H_i + \sum_{j=1}^{m_{k,i}} K_{i,j}) \cdot (1 + f_i)^i \quad i = 1, \dots, n_u \quad (7)$$

gdje su:

$H_j$  — vlastita sredstva u  $i$ -toj godini  
 $K_{i,j}$  —  $j$ -ti kredit u  $i$ -toj godini  
 $m_{k,i}$  — broj kredita investiranih u  $i$ -toj godini  
 $f_i$  — godišnja stopa porasta vrijednosti investicije.

U  $i$ -toj godini efektuiranja investicije ( $i = n_u + 1, \dots, n_a$ ) imamo sljedeće troškove:

2. Investiciono održavanje opreme:

$$T_{o,i} = (1 + f_o)^i \cdot \sum_{j=1}^{m_o} t_{o,j} \quad (8)$$

gdje je:

$T_{o,i}$  — investiciono održavanje opreme  
 $f_o$  — stopa porasta vrijednosti opreme  
 $s_o$  — stopa izdvajanja za investiciono održavanje opreme  
 $m_o$  — broj stavki troškova za opremu  
 $t_{o,j}$  — referentni trošak  $j$ -te stavke.

## 3. Investiciono održavanje građevinskog dijela:

$$T_{g,i} = (1 + f_g)^i \cdot s_g \cdot \sum_{j=1}^{m_g} t_{g,j} \quad (9)$$

gdje je:

- $T_{g,i}$  — investiciono održavanje građevinskog dijela  
 $f_g$  — godišnja stopa porasta vrijednosti građevinskog dijela  
 $s_g$  — stopa izdvajanja za investiciono održavanje  
 $m_g$  — broj stavki  
 $t_{g,j}$  — trošak  $j$ -te stavke.

## 4. Premija osiguranja:

$$O_i = O \cdot (1 + f_s)^i \quad (10)$$

gdje je:

- $O_i$  — premija osiguranja u  $i$ -toj godini  
 $O$  — referentna premija osiguranja  
 $f_s$  — godišnja stopa porasta premije osiguranja.

## 5. Ostali rashodi financiranja:

$$B_i = B \cdot (1 + f_b)^i \quad (11)$$

gdje su:

- $B_i$  — rashodi financiranja u  $i$ -toj godini  
 $B$  — referentni rashodi financiranja  
 $f_b$  — godišnja stopa rashoda financiranja.

## 6. Bruto osobni dohodak uvjetovan investicijom:

$$D_i = D \cdot (1 + f_d)^i \quad (12)$$

gdje je:

- $D_i$  — bruto osobni dohodak u  $i$ -toj godini  
 $D$  — referentni iznos osobnog dohotka  
 $f_d$  — godišnja stopa porasta osobnog dohotka.

## 7. Porezi bez kamata računaju se prema:

$$P_i = [U_i - (T_{o,i} + T_{g,i} + O_i + B_i + D_i + V_i + F_i + A_i)] \cdot s_p \quad (13)$$

gdje su:

- $P_i$  — porezi u  $i$ -toj godini  
 $V_i$  — varijabilni troškovi  
 $F_i$  — ostali poslovni rashodi  
 $A_i$  — amortizacija  
 $s_p$  — porezna stopa.

Porezi korigirani za utjecaj kamata.  $P_i$  se dobija prema:

$$P'_i = P_i - I'_i \cdot s_p \quad (14)$$

gdje su:

- $I'_i$  — ukupne godišnje kamate u  $i$ -toj godini.

Računanje godišnjih kamata prikazano je u poglavlju 6.6.

## 8. Doprinosi bez kamata iznose:

$$S_i = [U_i - (T_{o,i} + T_{g,i} + O_i + B_i + D_i + V_i + F_i + A_i)] \cdot s_s \quad (15)$$

gdje su:

- $S_i$  — doprinosi u  $i$ -toj godini  
 $s_s$  — stopa izdvajanja za doprinose.

Doprinosi korigirani za utjecaj kamata  $S'_i$  iznose:

$$S'_i = S_i - I'_i \cdot s_s \quad (16)$$

## 9. Varijabilni troškovi:

$$V_i = V \cdot (1 + f_v)^i \quad (17)$$

gdje su:

- $V_i$  — varijabilni troškovi u  $i$ -toj godini  
 $V$  — referentni varijabilni troškovi  
 $f_v$  — stopa porasta varijabilnih troškova.

## 10. Ostali poslovni rashodi:

$$F_i = F \cdot (1 + f_z)^i \quad (18)$$

gdje su:

- $F_i$  — ostali poslovni rashodi za  $i$ -tu godinu  
 $F$  — referentni ostali poslovni rashodi  
 $f_z$  — stopa porasta ostalih poslovnih rashoda.

## 11. Amortizacija se dobiva prema:

$$A_i = s_a \cdot F_{n_u} \cdot (1 + f_i)^{(i - n_u)} \quad (19)$$

gdje je:

- $s_a$  — stopa amortizacije  
 $F_{n_u}$  — revalorizirani iznos investicije na početku perioda efektuiranja.

Ukupni rashodi investicije za  $i$ -tu godinu u razdoblju efektuiranja  $R_i$  dobiju se prema:

$$R_i = T_{o,i} + T_{g,i} + O_i + B_i + D_i + V_i + F_i + P_i + S_i \quad (20)$$

Čisti novčani tok za  $i$ -tu godinu u razdoblju efektuiranja investicije  $C_i$  dobije se prema:

$$C_i = U_i - R_i \quad (21)$$

Izlazna lista programa sadrži čist novčani tok investicije u originalnim iznosima za razdoblje investiranja i efektuiranja investicije, a prikazana je na slici 8.

ČISTI NOVČANI TOK – ORIGINALNI IZNOS			
1NJ = 10exp 3 din			
God.	Izdaci (NJ)	Primici (NJ)	Čist nov. tok (NJ)
0.	163900.0000	0000000000	-163900.000
1.	11508.15000	130018.2000	118510.100
2.	12658.97000	143020.1000	130361.100
3.	13924.87000	157322.1000	143397.200
4.	15317.35000	173054.3000	157736.900
5.	16849.09000	190359.7000	173510.600
6.	18534.00000	209395.7000	190861.700
7.	20387.40000	230335.3000	209947.800
8.	22426.14000	253368.8000	230942.600
9.	24668.75000	278705.7000	254036.900
10.	27135.63000	306576.3000	279440.600

Rezidualna vrijednost investicije (NJ): 21255.72000

Slika 8. Čist novčani tok investicije

## 6.3. Metoda perioda povrata

Metoda perioda povrata koristi prethodno izračunati čisti novčani tok umanjeno za troškove kapitala, dakle kamate čime se dobivaju raspoloživa sredstva. Potrebno je odrediti prvu godinu perioda efektuiranja za koju je revalorizirani ostatak vrijednosti investicije manji ili jednak revaloriziranoj vrijednosti raspoloživih sredstava u toj godini.

Pri ovoj metodi potrebno je uzeti u obzir i smanjenje poreza i doprinosa zbog kamata, čime se pak uvećava prethodno izračunat čisti novčani tok.

Određivanje perioda povrata obavlja se iterativno, a sastoji se u traženju prve godine  $j$  za koju je zadovoljena relacija:

$$F'_j \leq 0 \quad j = n_u + 1, \dots, n_a \quad (22)$$

pri čemu se  $F'_j$  dobije prema:

$$F'_j = F'_{j-1} \cdot (1 + f_i) - [C_j - I'_j \cdot (1 - s_p - s_s)] \quad (23)$$

Za početni iznos varijable  $F'$  vrijedi:

$$F'_{n_u} = F_{n_u} \quad (24)$$

Uz pretpostavku da je gornja nejednadžba prvi put zadovoljena u  $j$ -toj godini, period povrata  $n_p$  u godinama iznosi:

$$n_p = j - n_u \quad (25)$$

Rezultat programske realizacije ove cjeline dan je na slici 9.

PERIOD POVRATA INVESTICIJE		
(1NJ = 10exp 3 dinara)		
God.	Cista dobit (NJ)	Preostalo od investicije (NJ)
0.	000000000	163900.000
1.	106425.000	73864.9800
2.	125288.100	-44036.5900

Period povrata investicije je od 1 do 2 godina.

Slika 9. Razdoblje povrata investicije

#### 6.4. Metoda čiste sadašnje vrijednosti

Čista sadašnja vrijednost investicije dobije se diskontiranjem odgovarajućih vrijednosti na nulti trenutak i oduzimanjem diskontiranih rashoda od diskontiranih prihoda investicije. Rezidualna vrijednost investicije ubraja se u prihode investicije u zadnjoj godini efektuiranja.

Diskontirani prihod investicije dobije se kao:

$$U_d = \sum_{i=1}^{n_a} U_i \cdot (1 + d)^{-(i - n_u)} \quad (26)$$

gdje je:

$U_d$  — diskontirani prihod investicije  
 $d$  — godišnja diskontna stopa.

Diskontirani rashod investicije  $R_d$  računa se prema:

$$R_d = \sum_{i=1}^{n_a} R_i \cdot (1 + d)^{-(i - n_u)} \quad (27)$$

Rezidualna vrijednost investicije, koja se zadaje kao relativni dio aktualizirane vrijednosti investicije, ubraja se u prihode investicije u zadnjoj godini ekonomskog vijeka, pa se njezin diskontirani iznos računa prema:

$$P_d = F_{n_u} \cdot s_r \cdot \left[ \frac{1 + f_i}{1 + d} \right]^{n_c} \quad (28)$$

gdje je:

$P_d$  — diskontirana rezidualna vrijednost investicije

$s_r$  — relativni iznos rezidualne vrijednosti investicije.

Izraz za čistu sadašnju vrijednost investicije  $N$  sada ima oblik:

$$N = U_d - R_d + P_d \quad (29)$$

Za čistu sadašnju vrijednost investicije usko je vezan indeks profitabilnosti  $p$  koji se dobije kao omjer sadašnjih vrijednosti prihoda i rashoda:

$$p = \frac{U_d + P_d}{R_d} \quad (30)$$

Izlazna lista programskog dijela za određivanje čiste sadašnje vrijednosti investicije prikazana je na slici 10.

ČISTA SADAŠNJA VRIJEDNOST INVESTICIJE					
Diskontna stopa: 15.0 %					
1NJ = 10exp 3 dinara					
(Iznosi se diskontiraju na nultu godinu.)					
God.	Originalni		Disk. faktor	Diskontirani	
	izdaci (NJ)	primici (NJ)		izdaci (NJ)	primici (NJ)
0.	163900.000	000000000	1.0000	163900.000	000000000
1.	11508.1500	130018.200	8696	10007.0900	113059.300
2.	12658.9700	143020.100	7561	9572.00100	108143.700
3.	13924.8700	157322.100	6575	9155.82800	103441.800
4.	15317.3500	173054.300	5718	8757.74700	98944.3400
5.	16849.0900	190359.700	4972	8376.97700	94642.4200
6.	18534.0000	209395.700	4323	8012.76100	90527.5400
7.	20387.4000	230335.300	3759	7664.38000	86591.5700
8.	22426.1400	253368.800	3269	7331.14600	82826.7200
9.	24668.7500	278705.700	2472	6707.51500	81035.0600
10.	27135.6300	327832.000	2472	6707.51500	81036.0600
Su- ma	347310.400	2093412.00		246497.900	938438.100

Čista sadašnja vrijednost (NJ): 691940.300

Indeks profitabilnosti: 3.81

Slika 10. Čista sadašnja vrijednost

Uz pretpostavku da je porast vrijednosti uzrokovan i inflacijom, realna diskontna stopa će iznositi:

$$d' = \frac{d - i}{1 + i} \quad (31)$$

gdje je:

$d'$  — realna diskontna stopa  
 $i$  — stopa inflacije.

#### 6.5. Interna stopa rentabilnosti investicije

Interna stopa rentabilnosti je ona diskontna stopa za koju je čista sadašnja vrijednost investicije jednaka nuli:

$$\sum_{i=1}^{n_a} U_i \cdot (1 + r)^{-(i - n_u)} + F_{n_u} \cdot s_r \cdot \left[ \frac{1 + f_i}{1 + d} \right]^{n_c} = \sum_{i=1}^{n_a} R_i \cdot (1 + r)^{-(i - n_u)} \quad (32)$$

Na osnovi karaktera gornje jednadžbe vidljivo je da bi analitičko traženje vrijednosti interne stope rentabilnosti bilo vrlo komplicirano, te se stoga ista određuje iterativno. Zbog toga nastaje greška u računanju stope rentabilnosti reda desetine postotka, koja

uzrokuje da čista sadašnja vrijednost nije nula nego neki mali, najčešće zanemariv iznos.

U slučaju inflacije realna interna stopa rentabilnosti se dobiva na analogan način kao i za diskontnu stopu.

Rezultati ovakvog proračuna vidljivi su sa programске izlazne liste prikazane na slici 11.

INTERNA STOPA RENTABILNOST INVESTICIJE					
1NJ = 10exp 3 dinara					
(Iznosi se diskontiraju na nultu godinu.)					
God.	Originalni		Disk. faktor	Diskontirani	
	izdaci (NJ)	primici (NJ)		izdaci (NJ)	primici (NJ)
0.	163900.000	.000000000	1.0000	163900.000	.000000000
1.	11508.1500	130018.200	5498	6326.63800	71477.8600
2.	12658.9700	143020.100	3022	3825.89500	43224.6600
3.	13924.8700	157322.100	1662	2313.62600	26139.1600
4.	15317.3500	173054.300	0913	1399.11400	15807.0800
5.	16849.0900	190359.700	0502	846.083300	9558.98200
6.	18534.0000	209395.700	0276	511.650200	5780.58400
7.	20387.4000	230335.300	0152	309.409100	3495.68000
8.	22426.1400	253368.800	0083	187.108400	2113.93600
9.	24668.7500	278705.700	0046	113.149600	1278.35600
10.	27135.6300	327832.000	0025	68.4247600	826.655600
Su- ma	347310.400	2093412.00		179801.100	179703.000

Int. stopa rentabilnosti (%): 81.9 Čista sad. vrijednost (NJ): -98.1250000

Slika 11. Interna stopa rentabilnosti

## 6.6. Plan otplate kredita

Plan otplate kredita prikazuje kreditne obaveze investicije prema vremenu dospijeća, odnosno po godinama, a daje se pomoću anuiteta, kamata, otplatne kvote i stanja glavnice.

Anuitet se za  $j$ -i kredit računa prema:

$$A_j = \frac{z_j \cdot (1 + z_j)^{m_j}}{(1 + z_j)^{m_j} - 1} \cdot L_j \quad (33)$$

gdje je:

- $A_j$  — anuitet za  $j$ -ti kredit
- $z_j$  — ukupna kamatna stopa po prispjjeću kreditne obaveze
- $m_j$  — broj prispjjeća  $j$ -te kreditne obaveze
- $L_j$  — ukupni revalorizirani iznos  $j$ -tog kredita.

Ukupna kamatna stopa po prispjjeću  $j$ -te kreditne obaveze dobiva se na osnovi stope porasta vrijednosti investicije i godišnje kamatne stope:

$$z_j = k_j + f_{i,j} + k_j \cdot f_{i,j} \quad (34)$$

gdje je:

- $k_j$  — kamatna stopa po prispjjeću  $j$ -tog kredita
- $f_{i,j}$  — stopa porasta vrijednosti investicije po prispjjeću  $j$ -tog kredita.

Kamatna stopa po prispjjeću  $j$ -tog kredita dobije se:

$$k_j = \frac{k'_j}{b_j} \quad (35)$$

gdje je:

- $k'_j$  — godišnja kamatna stopa za  $j$ -ti kredit
- $b_j$  — broj prispjjeća  $j$ -tog kredita u jednoj godini.

Stopa porasta vrijednosti po prispjjeću  $j$ -tog kredita jednaka je:

$$f_{i,j} = \frac{f_i}{b_j} \quad (36)$$

Broj prispjjeća kreditne obaveze u razdoblju otplate  $j$ -tog kredita računa se prema:

$$m_j = o_j \cdot b_j \quad (37)$$

gdje je:

- $o_j$  — rok otplate  $j$ -tog kredita u godinama.

Ukupni revalorizirani iznos  $j$ -tog kredita dobije se prema:

$$L_j = \sum_{k=1}^{n_u} K_{k,j} \cdot (1 + f_i)^k \quad (38)$$

Anuitet se sastoji od kamata i otplatne kvote.

Kamate za  $i$ -to prispjjeće  $j$ -tog kredita  $I_{i,j}$  računaju se iterativno:

$$I_{i,j} = G_{i-1,j} \cdot (1 + f_{i,j}) \cdot k_j \quad i = 1, \dots, m_j \quad (39)$$

gdje je:

- $G_{i-1,j}$  — glavnica  $j$ -tog kredita nakon  $(i-1)$ -ve otplate.

Otplatna kvota za  $i$ -to prispjjeće  $j$ -tog kredita  $O_{i,j}$  dobiva se prema:

$$O_{i,j} = A_j - I_{i,j} \quad (40)$$

Stanje glavnice dobiva se oduzimanjem otplatne kvote od revalorizirane vrijednosti preostalog iznosa kredita, pa nakon  $i$ -tog dospijeća  $j$ -tog kredita glavnica za dotični kredit iznosi:

$$G_{i,j} = G_{i-1,j} \cdot (1 + f_{i,j}) - O_{i,j} \quad (41)$$

s time da je:

$$G_{0,j} = L_j \quad (42)$$

Ukupne kreditne obaveze za  $i$ -tu godinu ( $i = n_u + 1, \dots, n_a$ ) dobivaju se zbrajanjem godišnjih obaveza po svakom kreditu.

Za ukupni godišnji anuitet u  $i$ -toj godini  $A'_i$  se dobije:

$$A'_i = \sum_{j=1}^{m_{0,i}} A_j \cdot b_j \quad (43)$$

gdje je:

- $m_{0,i}$  — broj različitih kredita koji dospjevaju u  $i$ -toj godini.

Ukupne godišnje kamate se određuju prema:

$$I'_i = \sum_{j=1}^{m_{0,i}} \sum_{k=1}^{l_z} I_{k,j} \quad (44)$$

pri čemu je:

$$I_1 = (i - n_u - 1) \cdot b_j + 1 \quad (45)$$

$$I_2 = (i - n_u) \cdot b_j \quad (46)$$

Godišnja otplatna kvota za  $i$ -tu godinu dobije se iz:

$$O_i = \sum_{j=1}^{m_{0,i}} \sum_{k=1}^{l_z} O_{k,j} \quad (47)$$

Ukupna glavnica na kraju  $i$ -te godine dobiva se prema:

$$G_i = \sum_{j=1}^{m_{k,i}} G_{12,j} \quad (48)$$

Plan otplate kredita po prispjeću (ratama) za jedan kredit prikazan je na slici 12. Ovakva izlazna lista daje se za svaki angažirani kredit investicije. Plan otplate kredita za sve kredite ukupno po godinama dan je na slici 13.

PLAN OTPLATE KREDITA (PO RATAMA)				
Kredit broj 1 od 1				
1NJ = 10exp 3 dinara				
Rata	Anuitet	Kamate	Otplatna kvota	Stanje glavnice
0.	.0000000000	.0000000000	.0000000000	148900.000
1.	23096.33000	3815.563000	19280.77000	133341.700
2.	23096.33000	3416.882000	19679.45000	116995.800
3.	23096.33000	2998.018000	20090.31000	99822.4100
4.	23096.33000	2557.949000	20538.38000	81779.5900
5.	23096.33000	2095.602000	21000.73000	62823.3600
6.	23096.33000	1609.849000	21486.48000	42907.4600
7.	23096.33000	1099.504000	21996.82000	21983.3300
8.	23096.33000	563.3228000	22533.01000	-.960449200E-01
Suma	184770.6000	18156.69000	166613.9000	

Kamatna stopa (%): 10.0

Rok otplate (godina): 2. Otplata: tromjesečna

Slika 12. Otplata kredita po ratama

PLAN OTPLATE KREDITA (PO GODINAMA-UKUPNO)				
1NJ = 10exp 3 dinara				
God.	Anuitet	Kamate	Otplatna kvota	Stanje glavnice
0.	.0000000000	.0000000000	.0000000000	148900.000
1.	92385.31000	12788.41000	79596.91000	81779.5900
2.	92385.31000	5368.277000	87017.04000	-.960449200E-01
Suma	184770.600	18156.6900	166613.900	

Slika 13. Otplata kredita po godinama

### 6.7. Ukupan prihod i dobit s raspodjelom

Da bi se što bolje pratilo ponašanje investicije u toku vremena efektuiranja, za svaku godinu se izračunava ukupni prihod i dobit te daje njegova raspodjela. Na osnovi toga se izračunavaju raspoloživa sredstva od kojih se oduzimaju kreditne obaveze, tako da se na kraju dobiva ostatak osredstava investicije.

Sve veličine relevantne za proračun se uzimaju sa revaloriziranim vrijednostima.

Ponašanje investicije se prati pomoću sljedećih stavki:

1. Ukupan prihod investicije — ova stavka obuhvaća realizaciju investicije, a to su uštede energije u promatranoj godini. U zadnjoj godini efektuiranja tako dobivenoj realizaciji dodaje se i preostala vrijednost investicije.

2. Poslovni rashodi investicije — ova stavka dobiva se zbrajanjem sljedećih izdataka:
  - 2.a. Materijalni troškovi — predstavljaju varijabilne operativne troškove.
  - 2.b. Investiciono održavanje — dobije se zbrajanjem izdataka za investiciono održavanje opreme i građevinskog dijela.
  - 2.c. Amortizacija
  - 2.d. Premija osiguranja
  - 2.e. Osobni dohoci bruto
  - 2.f. Ostali poslovni rashodi
3. Rashodi financiranja dobivaju se zbrajanjem sljedećih stavki:
  - 3.a. Kamate na kredite — predstavljaju ukupne godišnje kamate
  - 3.b. Ostali rashodi financiranja
4. Ukupni rashodi — dobivaju se sumiranjem poslovnih rashoda i rashoda financiranja.
5. Dobit — dobiva se oduzimanjem ukupnih rashoda od ukupnog prihoda.
6. Davanja iz rezultata — dobivaju se zbrajanjem poreza i doprinosa.
  - 6.a. Porezi korigirani za utjecaj kamata.
  - 6.b. Doprinosi korigirani za utjecaj kamata
7. Ostatak dobiti — dobiva se oduzimanjem davanja od dobiti.
8. Raspoloživa sredstva — dobivaju se zbrajanjem amortizacije i ostatka dobiti.

UKUPNI PRIHOD I DOBIT S RASPODJELOM				
1NJ = 10exp 3 dinara				
Re. br.	Stavka u (NJ)	Godina		
		1	2	3
1a.	Realizacija	130018.200	143020.100	157322.100
1.	UKUPAN PRIHOD	130018.200	143020.100	157322.100
2a.	Materijalni troškovi	1650.000000	1815.000000	1996.500000
2b.	Invest. održavanje	820.0500000	902.0551000	992.2606000
2c.	Amortizacija	18029.000000	19831.900000	21815.090000
2d.	Premija osiguranja	3190.0000000	3509.0000000	3859.9000000
2e.	Osobni dohoci bruto	.0000000000	.0000000000	.0000000000
2f.	Ostali posl. rashodi	.0000000000	.0000000000	.0000000000
2.	POSLOVNI RASHODI	23689.050000	26057.960000	28663.750000
3a.	Kamate na kredite	12788.410000	5368.2770000	.0000000000
3b.	Ostali rashodi fin.	.0000000000	.0000000000	.0000000000
3.	RASHODI	12788.410000	5368.2770000	.0000000000
4.	FINANCIRANJA			
4.	UKUPNI RASHODI (2 + 3)	36477.460000	31426.230000	28663.750000
5.	DOBIT (1 – 4)	93540.760000	111593.800000	128658.300000
6a.	Porezi	2806.2230000	3347.8150000	3859.7490000
6b.	Doprinosi	2338.5190000	2789.8460000	3216.4580000
6.	DAVANJA IZ REZULTATA	5144.7420000	6137.6610000	7076.2070000
7.	OSTATAK DOBITI (5 – 6)	88396.020000	105456.200000	121582.100000
8.	RASP. SREDSTVA (2c + 7)	106425.000000	125288.100000	143397.200000
9.	OTPLATNA KVOTA	79596.910000	87017.040000	.0000000000
10.	OST. SREDSTAVA (8 – 9)	26828.110000	38271.020000	143397.200000

Slika 14. Ukupni prihod s raspodjelom

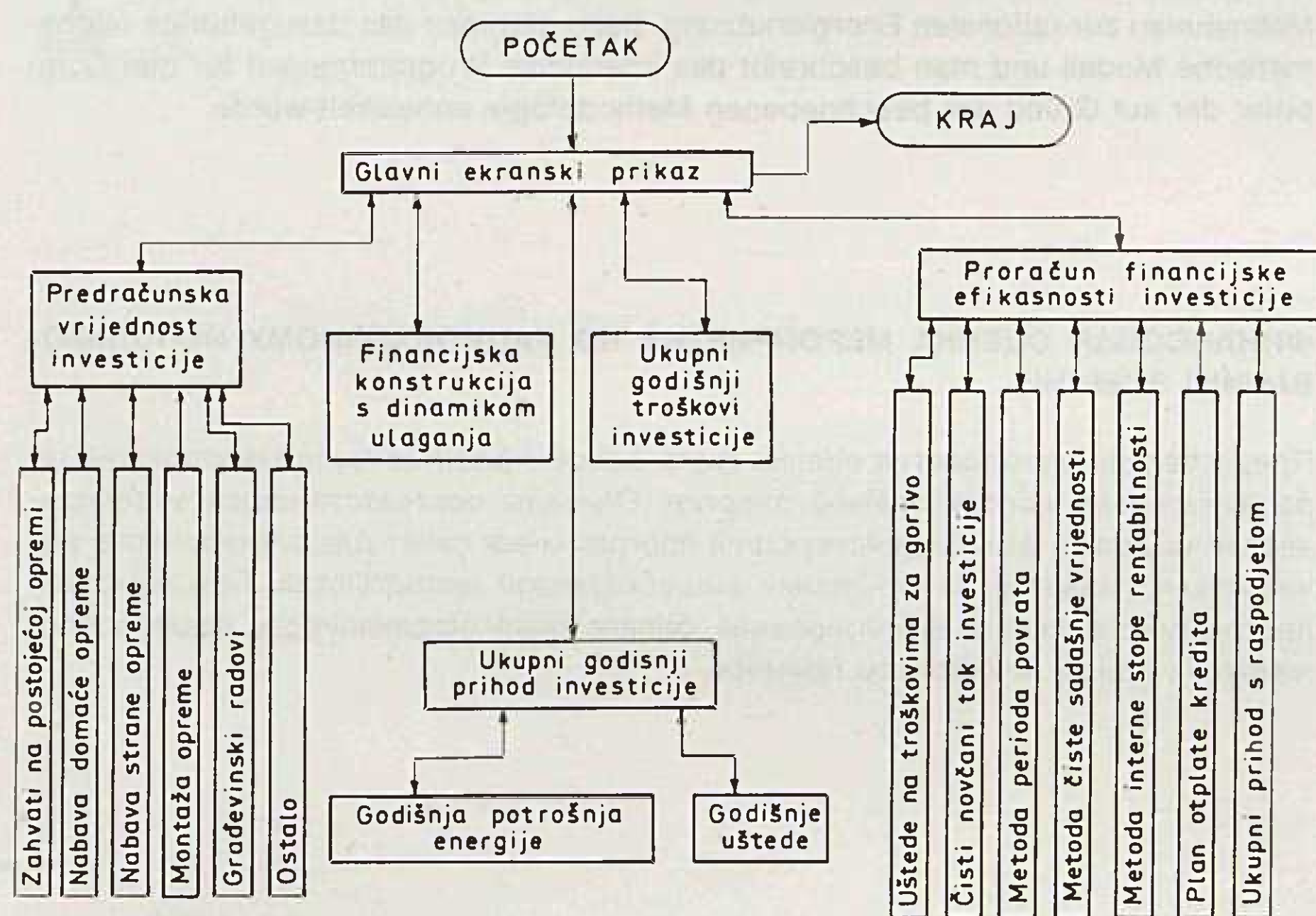
9. Otplatna kvota — predstavlja ukupnu godišnju otplatnu kvotu.
10. Ostatak sredstava — dobije se oduzimanjem otplatne kvote od raspoloživih sredstava.

Na taj način rekapitulirana je čitava investicija u toku razdoblja efektuiranja, čime je omogućeno pregledno praćenje njezinih financijskih efekata.

Izlazna lista programa za ovu cjelinu za prve tri godine ekonomskog vijeka investicije prikazana je na slici 14.

## 7. PROGRAMSKI PAKET

Programski paket za interaktivnu ekonomsku analizu raden je na personalnom računalu MDS-HERO firme Mohawk Data Scientists, a baziran je na programskom jeziku FORTRAN 77, kao i na MDS-HERO Indexed Sequential Access Method (ISAM) kojom je formirana baza podataka, te na MDS-HERO Forms Utility za izradu ekranskih prikaza.



Slika 15. Blok-dijagram programa za ocjenu financijske efikasnosti investicija

Blok-dijagram programskog paketa prikazan je na slici 15. Kao što se sa slike vidi, metodološka podjela opisana u Uvodu dosljedno je realizirana i kroz programski paket u kojem su pojedine cjeline povezane preko glavnog ekranskog prikaza koji služi za unošenje naziva investicije i odabir opcije. Cijeli skup podataka potrebnih za jednu ekonomsku analizu pohranjen je u odgovarajućoj bazi podataka pod nazivom investicije, čime je omogućeno njegovo naknadno dohvaćanje specificiranjem naziva investicije.

## 8. PRIMJER

Za ilustraciju izložene metodologije prikazan je proračun efikasnosti investicije u smanjenje potrošnje induktivne energije proveden na temelju podataka iz [4].

U tablici 1. prikazana je potrošnja električne energije promatranog objekta u toku godine.

Tablica 1. Potrošnja električne energije

1	2	3	4	5	V D T S		N D T S	
					MJ-	(kWh)	(k V A r h)	(kWh)
1.	29028	9579	40299	30720	14706	4852	27889	23037
2.	27120	8950	37880	28930	12954	4275	27009	22734
3.	24990	8247	33711	25464	11796	3893	23119	19226
4.	26988	8906	38968	30062	12990	4287	28725	24438
5.	20670	6821	29905	23084	10410	3435	22179	18744
6.	17952	5924	28924	23000	8458	2791	22980	20189
7.	13650	4505	28441	23936	6825	2252	26718	24466
8.	5148	1699	12479	10780	2426	801	13122	12321
9.	13056	4308	25674	21366	6530	2150	25050	22900
10.	19374	6393	32775	26382	9756	3219	30432	27213
11.	24906	8219	39069	30869	30840	4494	1483	37493
12.	22026	7269	32907	25638	6104	2014	33326	31312

U tablici su u prvom stupcu mjeseci. U drugom stupcu prikazana je izmjerena mjesečna potrošnja radne energije u doba viših dnevnih tarifnih stavova (VDTS). Prema Tarifnom sistemu za prodaju električne energije (L5) potrošnja induktivne energije koja se ne naplaćuje iznosi 33% potrošene radne energije, što je prikazano u trećem stupcu. Stvarno izmjerena potrošnja induktivne energije u doba viših dnevnih tarifnih stavova prikazana je u četvrtom stupcu, dok je u petom prikazana obračunska, dakle prekomjerno preuzeta induktivna energija. Potrošnja radne energije u doba nižih dnevnih tarifnih stavova (NDTS) prikazana je u šestom stupcu. U sedmom stupcu prikazana je potrošnja induktivne energije koja se ne naplaćuje. Ostvarena potrošnja induktivne energije u doba nižih dnevnih tarifnih stavova dana je u osmom stupcu, a u devetom je prikazana obračunska induktivna energija.

Prema Tarifnom sistemu cijene električne energije su podijeljene na kategorije prikazane u tablici 2. (iznosi su aktualni za trenutak izrade studije iz L5):

Tablica 2. Cijene električne energije po tarifnom sistemu

energija	viša tarifna sezona		niža tarifna sezona	
	VDTS	NDTS	VDTS	NDTS
radna (NJ/kWh)	1,30	0,65	0,52	0,27
induktivna (NJ/kVArh)	0,41	0,20	0,16	0,08

Viša tarifna sezona (VTS) primjenjuje se na 1, 2, 3, 10, 11. i 12. mjesec, a za ostale se mjeseci primjenjuje niža tarifna sezona (NTS).

Za kompenzaciju induktivne energije odabrana je kondenzatorska baterija nazivne snage 140 kVAr po cijeni 148 900 NJ, kojom će se prema procjeni moći poboljšati faktor snage do najviše 0,98.

Procijenjeno je da će se tom baterijom u VTS u doba VDTS uštedjeti 84% obračunske induktivne energije, dok će taj iznos za NDTS biti 88%. Za NTS relativna ušteta u doba VDTS iznosi 106%, a ušteta za NDTS 100%. Ušteta od 106% dobiva se na osnovi člana 7. Tarifnog sistema, prema kojemu potrošač dobiva naknadu od isporučioaca električne energije za manje

preuzetu jalovu energiju od one kod koje je faktor snage jednak 0,95, a po cijeni prekomjerno preuzete jalove energije.

Za kupnju kondenzatorske baterije koristit će se kredit isporučioća opreme s rokom otplate dvije godine, uz realnu kamatu od 10% i kvartalnom otplatom. Za pripreme radove će se izdvojiti vlastita sredstva u iznosu 15 000 NJ. Stopa porasta vrijednosti investicije iznosi 10%.

Proračun efikasnosti investicije prikazan je na slikama 2–14. i neće se posebno komentirati.

## 9. ZAKLJUČAK

Metodologijom razvijenom za ocjenu financijske efikasnosti mjera za racionalno korištenje energije moguće je na sistematski način ocijeniti svaku takvu investiciju. Posebna karakteristika prikazane metodologije jest ugradnja efekata porasta cijena u proračun, i to za svaku kategoriju investicije posebno, čime je omogućena realna ocjena investicije u danim ekonomskim uvjetima. Razvijeni interaktivni programski paket omogućuje vrlo brzo ekonomsko analiziranje investicija, izradu njihovih rebalansa, izradu izvještaja, te pohranjivanje podataka o investiciji u bazi podataka. Kao što je u primjeru pokazano, program je tako koncipiran da se njime mogu obuhvatiti i razne netipične situacije. Posebna karakteristika paketa jest mogućnost brzog provođenja analize osjetljivosti investicija na ulazne parametre koja proizlazi iz njegova interaktivnog karaktera.

Na osnovi spomenutih značajki opisani se programski paket može koristiti pri donošenju investicijskih odluka u mjere za racionalno korištenje energije.

## LITERATURA

- [1] ĐURIĆ, M.: »Investicioni program industrijske termoelektrane«, 2. Savjetovanje o ekonomici izgradnje, pogona i održavanja energetske postorjenja, Vodice, travanj 1979.
- [2] RIGGS, J. L.: »Engineering Economics«, McGraw-Hill Inc., New York 1977.

- [3] TEPŠIĆ, R.: »Financijska efikasnost investicijskih mogućnosti, Financijske udruženog rada«, Informator, Zagreb 1982.
- [4] ZELIĆ, R.: »Kompenzacija induktivne energije na ET-F-u Zagreb«, interna publikacija, Elektrotehnički fakultet, Zagreb 1982.
- [5] xxx : Tarifni sistem za prodaju električne energije, Narodne novine br. 10/1985, Zagreb, 1985.

### FINANCIAL EVALUATION OF CRITERIA FOR RATIONAL USE OF ELECTRIC POWER

In the article is presented a methodology for financial effectivity of criteria for rational use of electric power. It is presented a mathematical model with description of interactive program package. By the use of program it is analysed financial effectiveness for investment on the real example.

### FINANZIELLE BEWERTUNG DER MASSNAHMEN ZUR RATIONALEN ENERGIE-NUTZUNG

Hier präsentiert man die Methodologie zur Bewertung des finanziellen Effektes der Maßnahmen zur rationalen Energienutzung. Dazu gibt man das dazugehörige mathematische Modell und man beschreibt das interaktive Programmpaket für den Computer der auf Grund der beschriebenen Methodologie entwickelt wurde.

### ФИНАНСОВАЯ ОЦЕНКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО РАЦИОНАЛЬНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЭНЕРГИИ

Представлена методология оценки финансовой эффективности мероприятий по рациональному использованию энергии. Описаны соответствующая математическая модель и взаимодействующий программный пакет для электронного вычислителя, развитой на основании вышесказанной методологии. При помощи программного пакета анализирована финансовая эффективность капиталовложения на одном конкретном примере.

Naslov pisca:

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

Uredništvo primilo rukopis:  
1990-03-28



# ANALIZA SLUČAJNIH VRIJEDNOSTI STRUJE KRATKOG SPOJA U ELEKTROENERGETSKOM SISTEMU

Dr. Matislav Majstrovic, Split

UDK 621.3.012.5:621.31  
ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Prezentira se utjecaj naponskih prilika prije kvara kao slučajnih veličina na struju kratkog spoja — koja je također slučajna veličina — kod određenog stanja sistema. Definirani su matematički modeli za izračunavanje struje kratkog spoja kod determinističkog i kod stohastičkog proračuna. Pritome se za stohastički proračun koristi metoda procjene i metoda stohastičkog modeliranja.

**Ključne riječi:** struja, napon, snaga, vjerojatnost, očekivanje, varijanca, elektroenergetski sistem.

## 1. UVOD

Najteži kvar koji se može dogoditi u nekom elektroenergetskom sistemu jest kratki spoj. Zbog toga je proračun struja kratkog spoja jedan od najčešćih proračuna unutar elektroenergetskog sistema.

Kratki spoj na nekom mjestu može nastati u bilo kojem trenutku promatranoga vremenskog intervala. Pritom je iznos struje funkcija naponskih prilika u sistemu prije nastanka kvara i uklopnog stanja sistema. Ovo stanje je u funkciji snaga potrošača. Kod pojedinog stanja sistema postoji mogućnost promjene snaga čvorova, što automatski dovodi do promjene naponskih prilika prije kvara, a s time i do promjene iznosa struje kratkog spoja, koja je također slučajna veličina kod određenog stanja sistema. Na analogan način mogu se analizirati i ostali tipovi kratkih spojeva.

Na osnovi iznesenog proizlazi da je struja kratkog spoja slučajna (stohastička) veličina kojoj je potrebno odrediti distribuciju vjerojatnosti pojave modula i kuta.

## 2. DETERMINISTIČKI PRORAČUN STRUJE KRATKOG SPOJA

Deterministički proračun struja kratkog spoja podrazumijeva analizu naponskih i strujnih prilika u trofaznom izbalansiranom elektroenergetskom sistemu za vrijeme tropskog kratkog spoja na nekom mjestu sistema. Ova analiza se pojednostavljuje upotrebom simetričnih komponenata. Budući da se u konkretnom slučaju radi o tropskom kratkom spoju, daljnje analize su rađene u direktnom sistemu.

U realnom sistemu naponi sabirnica prije nastanka kratkog spoja nisu međusobno jednaki kako po modulu, tako ni po kutu. Da bi se mogao odrediti modul i kut struje tropskog kratkog spoja u nekom čvoru

$k$ , potrebno je poznavati elektromotorne sile elektra (generatora) u subtranzientnom periodu. Analizirani sistem ima ukupno  $N$  čvorova, od toga se u njima nalaze elektrane (generatori). Neka je u čvoru  $j$  priključena elektrana. Elektromotorna sila u subtranzientnom periodu određuje se prema izrazu:

$$V_i = (1 + y_{jj} Z'_{gl}) V_j + Z'_{gl} \sum_{j=1}^N y_{ij} V_j \quad (2.1)$$

$$i = N + 1, N + 2, \dots, N + M.$$

gdje je:

- $V_i$  — napon čvora  $i$  prije nastanka kvara
- $y_{ij}$  — član matrice admintancija čvorova
- $Z'_{gl}$  — impedancija elektrane (generatora) u subtranzientnom periodu.

U dijagonalne članove matrice admintancija čvorova mogu se uključiti pripadne admintancije potrošača. Struja tropskog kratkog spoja u čvoru  $k$  može se odrediti pomoću ove matrične jednadžbe:

$$I_k = Y_k V_k \quad (2.2)$$

gdje je  $Y_k$  matrica admintancija čvorova za vrijeme kratkog spoja čiji je oblik:

$$Y_k = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1k} & \dots & y_{1N} & y_{1N+1} & \dots & y_{1N+M} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2k} & \dots & y_{2N} & y_{2N+1} & \dots & y_{2N+M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{k1} & y_{k2} & \dots & y_{kk} & \dots & y_{kN} & y_{kN+1} & \dots & y_{kN+M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{N1} & y_{N2} & \dots & y_{Nk} & \dots & y_{NN} & y_{NN+1} & \dots & y_{NN+M} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

dok je  $V_k$  matrica napona čvorova za vrijeme kratkog spoja. Elementi transponirane ove matrice jesu:

$$V_k^t = [V'_1 \ V'_2 \ \dots \ V'_{k-1} \ 0 \ V'_{k+1} \ \dots \ V'_N \ V'_{N+1} \ \dots \ V'_{N+M}] \quad (2.4)$$

Matrica struja čvorova za vrijeme tropskog kratkog spoja u čvoru  $k$  ( $I_k$ ) pisana u transponiranoj formi jest:

$$I_k^t = [0 \ 0 \ \dots \ -I_k \ \dots \ 0 \ 0 \ \dots \ 0]. \quad (2.5)$$

Struja kratkog spoja u čvoru  $k$  ima negativan predznak zbog toga što izlazi iz čvora.

Zamijene li se reci u matricnoj jednadžbi (2) tako da se  $k$ -ti redak (redak u kojem se nalazi struja  $-I_k$ ) stavi na mjesto posljednjeg, a ostali reci se pomaknu za jedno mjesto prema gore do  $k$ -tog retka, te rastavljanjem na submatrice dobije se:

$$O = Y' V' + Y^+ V^+ \quad (2.6)$$

gdje je:

$O$  — nul vektor (vektor čiji su elementi jednaki nuli)

$$Y' = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1k} & \dots & y_{1N} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2k} & \dots & y_{2N} \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ y_{N1} & y_{N2} & \dots & y_{Nk} & \dots & y_{NN} \end{bmatrix}; \quad V'^+ = \begin{bmatrix} V'_1 \\ V'_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ O \\ \cdot \\ \cdot \\ V'_N \end{bmatrix}$$

$$Y^+ = \begin{bmatrix} y_{1N+1} & y_{1N+2} & \dots & y_{1N+M} \\ y_{2N+1} & y_{2N+2} & \dots & y_{2N+M} \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot \\ y_{NN+1} & y_{NN+2} & \dots & y_{NN+M} \end{bmatrix}; \quad V^+ = \begin{bmatrix} V_{N+1} \\ V_{N+2} \\ \cdot \\ \cdot \\ V_{N+M} \end{bmatrix}$$

U jednadžbi (2.6) kod prvog sumanda  $k$ -ti stupac se množi nulnim elementom vektora  $V'$ . Izostavljanjem tog stupca kod matrice  $Y'$  dobiva se kvadratna matrica  $Y''$ , a izostavljanjem nulnog elementa vektora  $V'$  dobiva se novi vektor  $V''$ . U skladu s tim razmatranjem proizlazi iz jednadžbe (2.6) da su naponi čvorova za vrijeme troleznog kratkog spoja u čvoru  $k$ :

$$V'' = P V^+ \quad (2.7)$$

Matrica  $P$  je nazvana poveznom matricom zbog toga što povezuje napone čvorova za vrijeme kratkog spoja i elektromotorne sile.

Njezini elementi određuju se pomoću izraza:

$$P = -Y''^{-1} Y^+ \quad (2.8)$$

Iz jednadžbe (2.2) slijedi da je struja troleznog kratkog spoja:

$$-I^k = Y'^k V' + Y^{+k} V^+ \quad (2.9)$$

gdje je:

$$\begin{aligned} I^k &= [I_k] \\ Y'^k &= [y_{k1} \ y_{k2} \ \dots \ y_{kk} \ \dots \ y_{kN}] \\ Y^{+k} &= [y_{kN+1} \ y_{kN+2} \ \dots \ y_{kN+M}] \end{aligned}$$

U drugoj rednoj matrici može se izostaviti član  $y_{kk}$  jer ga množi nulti element vektora  $V'$ . Prema tome, sada matrica  $Y'^k$  prelazi u matricu  $Y''^k$ . Isto tako se može izostaviti  $k$ -ti element koji je jednak nuli u matrici  $V'$ . Novonastala matrica označava se sa  $V''$ . U skladu s tim razmatranjima proizlazi da je struja kratkog spoja:

$$I^k = D V^+ \quad (2.10)$$

gdje je:

$$D = -(Y'^k P + Y^{+k}) \quad (2.11)$$

Modul i kut struje troleznog kratkog spoja može se direktno dobiti pomoću napona čvorova prije nastanka kratkog spoja. Na osnovi jednadžbe (2.1) može se napisati sljedeća matricna jednadžba za određivanje modula i kuta elektromotornih sila:

$$V^+ = S V \quad (2.12)$$

Matrica  $S$  nazvana je spojnom matricom zbog toga što daje vezu između elektromotornih sila ( $V^+$ ) i napona čvorova prije nastanka kratkog spoja ( $V$ ). Ona ima  $M$  redaka i  $N$  stupaca. Indeks retka je redni broj čvora  $j$  u kojem se nalazi dotična elektrana. Element spojne matrice što ga množi pripadni  $j$ -ti napon dobije se pomoću izraza:

$$S_{ij} = 1.0 + y_{jj} Z_{gN+i}'' \quad (2.13)$$

$$i = 1, 2, \dots, M.$$

Ostali se elementi retka dobiju pomoću izraza:

$$S_{ik} = y_{jk} Z_{gN+i}'' \quad (2.14)$$

$$i = 1, 2, \dots, M.$$

$$k = 1, 2, \dots, M; i \neq j.$$

U skladu s jednadžbom (2.10) i (2.12) proizlazi da je:

$$I^k = F V \quad (2.15)$$

gdje je:

$$F = D S \quad (2.16)$$

### 3. PRORAČUN STRUJE KRATKOG SPOJA KAO SLUČAJNE VARIJABLE

Analizirajući jednadžbu (2.15) uočava se funkcionalna veza između struje kratkog spoja i napona čvorova prije kratkog spoja. Budući da su naponi čvorova, kako je već prije rečeno, slučajne varijable, slijedi da je i struja kratkog spoja slučajna varijabla. Analiza struje kratkog spoja kao slučajne varijable urađena je na dva načina: metodom procjene i metodom stohastičkog modeliranja. U daljnjem tekstu bit će opisana jedna i druga metoda.

#### 3.1. Analiza struje kratkog spoja metodom procjene

U jednadžbi (2.15) svi elementi matrice su kompleksne veličine s pripadnim modulom i kutom. Općenito se može napisati da je:

$$\begin{aligned} I_k &= I_k e^{j\varphi_k} \\ V_i &= V_i e^{j\theta_i} \\ F_{ki} &= F_{ki} e^{j\mu_i} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Pomoću tih jednadžbi može se eksplicitno izraziti modul i kut struje troleznog kratkog spoja u čvoru  $k$ . Te veličine mogu se pisati u matricnoj formi:

$$I_k = \begin{bmatrix} \varphi_k \\ I_k \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

One su funkcije napona čvorova u normalnom pogonu. Dakle, može se napisati da je:

$$I_k = I_k(x) \quad (3.3)$$

gdje je  $x$  vektor stanja čiji su elementi moduli i kutovi napona čvorova u normalnom pogonu.

Elementi vektora stanja su u funkciji snaga čvorova (snaga potrošača i snaga elektrana). Budući da su te snage slučajne (stohastičke) veličine, proizlazi da su i elementi vektora stanja slučajne veličine. Prema tome su i elementi vektora  $I_k$  slučajne veličine.

Prema jednadžbi (2.15) elementi vektora  $I_k$  nisu u linearnoj funkciji modula i kutova napona čvorova. Svodenjem te funkcije na linearni oblik u točki »s« (točka očekivanih vrijednosti) dobije se:

$$\Delta I_k = \delta I_k \delta x \quad (3.4)$$

gdje je:

$$\delta I_k = \left[ \frac{\delta I_k(x)}{\delta x} \right]_{x = x^{(s)}} \quad (3.5)$$

Budući da su elementi vektora stanja  $x$  slučajne veličine, proizlazi da su i elementi vektora promjena stanja  $\Delta x$  također slučajne veličine.

Općenito se može napisati da je vektor modula i kuta struje:

$$I_k = I_k(x^{(s)}) + \Delta I_k. \quad (3.6)$$

Očekivane vrijednosti elemenata slučajnog vektora  $I_k$  jesu:

$$E(I_k) = I_k(x^{(s)}) + E(\Delta I_k). \quad (3.7)$$

Očekivanje promjene slučajnog vektora modula i kuta struje ( $E(\Delta I_k)$ ) jednako je nulvektoru. Slijedi da je:

$$E(I_k) = I_k(x^{(s)}). \quad (3.8)$$

Na osnovi tih razmatranja može se zaključiti da je očekivanje slučajnog vektora modula i struje jednako ovom vektoru u točki »s«.

Matrica varijanci i kovarijance vektora promjena modula i kuta struje dobije se pomoću izraza:

$$C(\Delta I_k) = E\{[\Delta I_k - E(\Delta I_k)][\Delta I_k - E(\Delta I_k)]^t\}. \quad (3.9)$$

Kako je već rečeno, očekivanje promjena slučajnog vektora modula i kuta struje jednako je nulvektoru. Proizlazi da je:

$$C(\Delta I_k) = \delta I_k C(\Delta x) (\delta I_k)^t \quad (3.10)$$

gdje  $t$  označava transponiranu matricu.

Elementi vektora  $I_k(x^{(s)})$  nisu slučajne veličine, pa slijedi da je matrica varijanci i kovarijance modula i kuta struje kratkog spoja u čvoru  $k$ :

$$C(I_k) = \partial I_k J^{-1} C(\varepsilon) (J^{-1})^t (\partial I_k)^t \quad (3.11)$$

gdje je:

$J$  — jakobijana sistema u točki »s«,  
 $C(\varepsilon)$  — matrica varijanci i kovarijanci snaga čvorova.

### 3.2 Analiza struje kratkog spoja metodom stohastičkog modeliranja

U prethodnom se poglavlju na osnovi očekivanih vrijednosti i matrice kovarijancija snaga elektrana i potrošača odredila očekivana vrijednost i matrica kovarijancija modula i kuta struje tropskog kratkog spoja u čvoru  $k$  kod određenog stanja sistema. Treba reći

pri ovim razmatranjima nije bilo govora o funkciji distribucije pripadnih snaga. Ti se rezultati mogu dobiti i na drugi način, a taj je da se koristi metoda stohastičkog modeliranja (metoda simulacije). Osnovu te metode čini modeliranje snaga potrošača i elektrana po normalnoj ili nekoj drugoj razdiobi. Kasnije će se pokazati da s aspekta funkcije vjerojatnosti modula i kuta struje kratkog spoja nije bitno koja je funkcija vjerojatnosti pripadnih snaga.

Razmatrane su marginalne distribucije modula i kuta struje, pa se matematička formulacija stohastičkog modeliranja bazirala na spoznaji da su radne ( $P$ ) i jalove ( $Q$ ) snage čvorova slučajne veličine koje se mogu modelirati. Općenito se može napisati za  $i$ -ti slučaj da je modul struje kratkog spoja.

$$I_k^{(i)} = f(P_1^{(i)}, P_2^{(i)}, \dots, P_N^{(i)}, Q_1^{(i)}, Q_2^{(i)}, \dots, Q_N^{(i)}) \quad (3.12)$$

$$i = 1, 2, \dots, n.$$

gdje je  $n$  ukupni broj elemenata u uzorku. Funkcija  $f$  je nelinearna funkcija.

Na analogan način definirana je relacija za računanje kuta struje kratkog spoja.

Dakle, vrijednosti modula čine uzorak od  $n$  elemenata. Taj uzorak je uzet iz beskonačno velikoga osnovnog skupa. Pomoću tog uzorka odredili su se parametri osnovnog skupa, kao što su matematičko očekivanje  $E(I_k)$  i varijanca  $C(I_k)$ .

Arifmetička sredina uzorka definirana je relacijom:

$$\hat{I}_k = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n I_k^{(j)} \quad (3.13)$$

dok je nepristrana procjena varijance:

$$\hat{S}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (I_k^{(j)} - \hat{I}_k)^2. \quad (3.14)$$

Neka je slučajna varijabla  $I_k$  osnovnog skupa distribuirana po normalnoj razdiobi  $N[E(I_k); C(I_k)]$ . Arifmetičke sredine ozoraka od  $n$  elemenata pokoravaju se zakonu normalne razdiobe  $N[E(I_k); C(\hat{I}_k)]$ , gdje je prema literaturi [3]  $C(\hat{I}_k) = C(I_k)/n$ .

Iz svojstva normalne razdiobe proizlazi da će se uz vjerojatnost ( $PTu$ ) očekivati modul struje u intervalu:

$$\hat{I}_k - u\sqrt{C(\hat{I}_k)} < E(I_k) < \hat{I}_k + u\sqrt{C(\hat{I}_k)} \quad (3.15)$$

Budući da nije poznata varijanca osnovnog skupa  $C(I_k)$ , može se uzeti za uzorke kod kojih je broj elemenata ( $n$ ) veći od 30 da je:

$$\hat{I}_k - u\sqrt{\hat{S}^2/n} < E(I_k) < \hat{I}_k + u\sqrt{\hat{S}^2/n}. \quad (3.16)$$

Širina intervala je to veća što je veća pouzdanost  $P(u)$ . Osim toga ta širina ovisi i od  $\sqrt{\hat{S}^2/n}$ . Na kraju se može zaključiti da je preciznost procjene to veća što je uzorak veći.

Intervalna procjena varijance osnovnog skupa ( $C(I_k)$ ) može se odrediti na osnovi varijance uzorka ( $C_n(I_k)$ ) koja se definira relacijom:

$$C_n(I_k) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (I_k^{(j)} - \hat{I}_k)^2 \quad (3.17)$$

Prema literaturi [3] je:

$$\frac{nC_n(I_k)}{\chi_{1-\alpha/2}^2} < C(I_k) < \frac{nC(I_k)}{\chi_{\alpha/2}^2} \quad (3.18)$$

gdje su  $\chi_{1-\alpha/2}^2$  i  $\chi_{\alpha/2}^2$  tako odabrane vrijednosti  $\chi^2$  pri gama razdiobi sa stupnjem slobode  $n-1$  da je vjerovatnost:

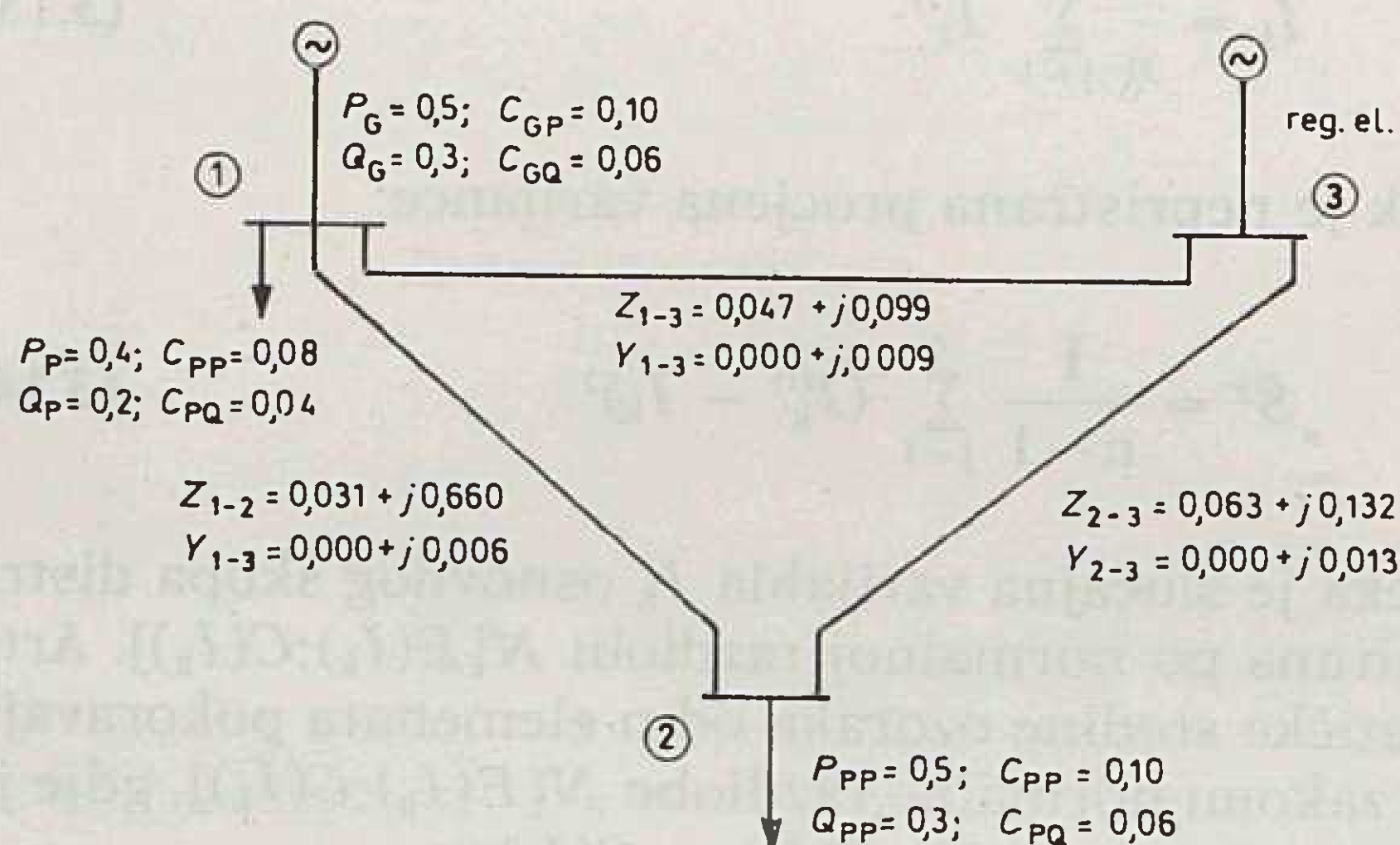
$$\begin{aligned} P(\chi^2 < \chi_{\alpha/2}^2) &= \alpha/2 \\ P(\chi^2 < \chi_{1-\alpha/2}^2) &= \alpha/2. \end{aligned} \quad (3.19)$$

Na isti način može se provesti analiza i za marginalnu razdiobu kuta struje kratkog spoja. S aspekta analize sistema interesantniji je modul struje. Zato se prema njemu definira veličina uzorka.

Struja kratkog spoja je slučajna varijabla sa dva obilježja (modul i kut) koja su međusobno stohastički zavisna, što znači da egzistira koeficijent korelacije koji i sam ima slučajan karakter. Njegov iznos u ovom slučaju nije bitan, pa se neće ni analizirati.

#### 4. TEST-PRIMJER

Da bi se testirale prije iznesene teorijske postavke, uzeta je mala test-mreža (slika 1). Ako dobiveni rezultati budu zadovoljavali na maloj mreži, a zadovoljavaju, onda će sigurno rezultati dobiveni na ovaj način zadovoljavati i na velikoj mreži.



Slika 1. Mala test-mreža

Analiza je provedena u metodi jediničnih vrijednosti (p.u.). Stohastičku snagu čvorova čini stohastička snaga potrošača (radna ( $P_p$ ) i reaktivna ( $Q_p$ )) i stohastička snaga elektrane (radna ( $P_G$ ) i reaktivna ( $Q_G$ )). Te stohastičke veličine mogu biti međusobno kolerirane kako u jednom čvoru, tako i između različitih čvorova. Budući da je interesantna maksimalna disperzija modula struje, faktori korelacije uzeti su s vrijednošću 0,0, dok je impedancija potrošača uzeta sa očekivanom vrijednošću.

Tropolni kratki spoj dogodio se u čvoru 2.

Metodom procjene dobiveni su sljedeći rezultati proračuna struje tropolnog kratkog spoja:

— očekivana vrijednost modula struje  $E(I_k) = 5,816$

— očekivana vrijednost kuta struje  $E(\varphi_k) = -1,395$  (rod.)

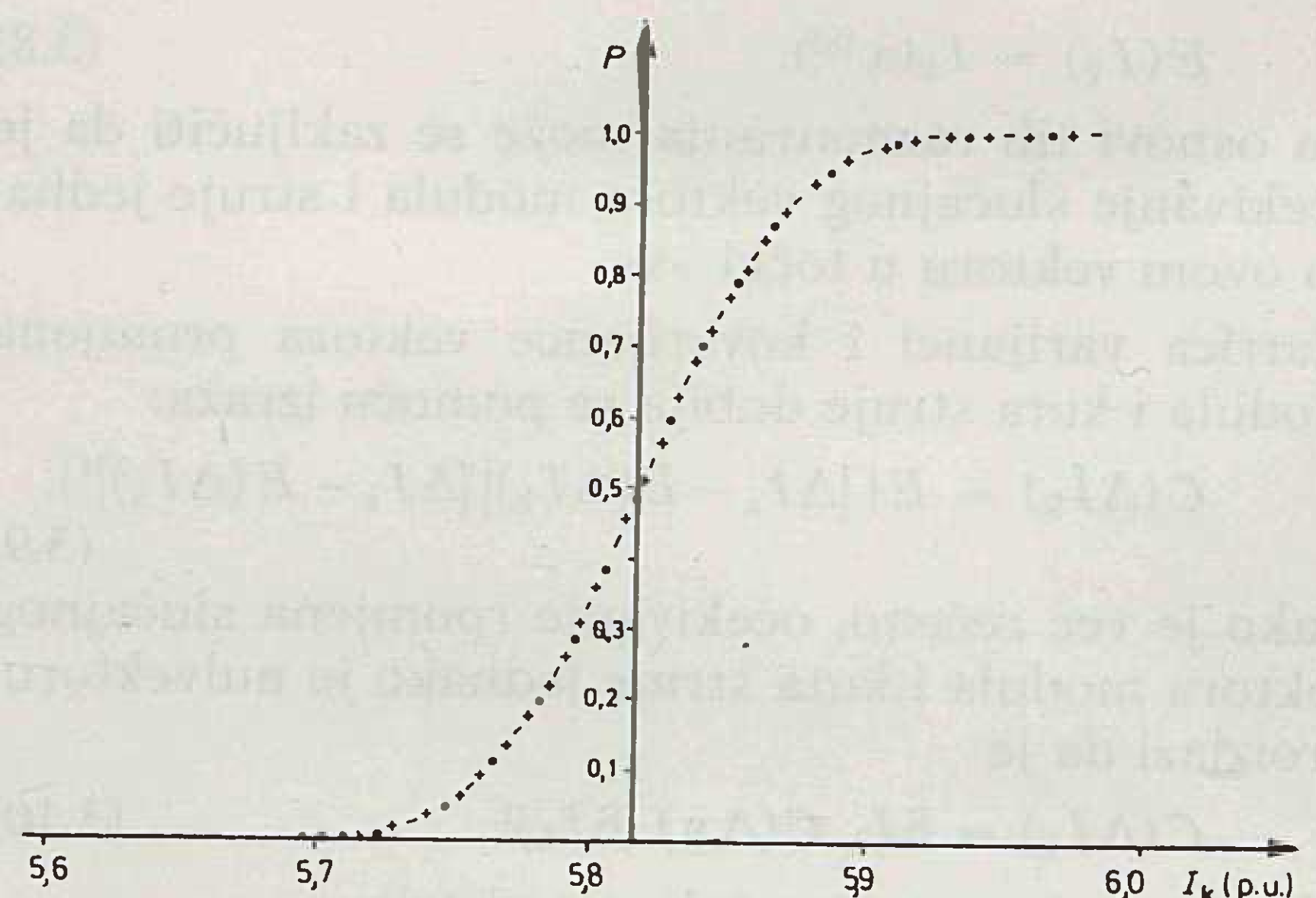
— matrica varijanci modula i kuta struje.

$$C(I_k) = \begin{bmatrix} C(I_k) & K(I_k, \varphi_k) \\ K(I_k, \varphi_k) & C(\varphi_k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,838 \cdot 10^{-3} & 8,128 \cdot 10^{-5} \\ 8,128 \cdot 10^{-5} & 1,360 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix}$$

Uočava se da nije određena funkcija distribucija modula i kuta struje. Pri ovim razmatranjima nije se inzistiralo na poznavanju funkcije distribucije snaga čvorova, jer se u skladu s centralnim graničnim teoremom može pretpostaviti da oni imaju normalnu razdiobu. Rezultati su provjereni metodom stohastičkog modeliranja. Rezultati proračuna ovom metodom za uzorak veličine  $n = 10\,000$  elemenata jesu:

- srednja vrijednost modula struje  $\hat{I}_k = 5,817$
- srednja vrijednost kuta struje  $\hat{\varphi}_k = -1,395$  (rad.)
- varijanca modula struje  $C(I_k) = 1,790 \cdot 10^{-3}$
- varijanca kuta struje  $C(\varphi_k) = 1,342 \cdot 10^{-4}$
- kovarijanca modula i kuta  $K(I_k, \varphi_k) = 7,453 \cdot 10^{-5}$ .

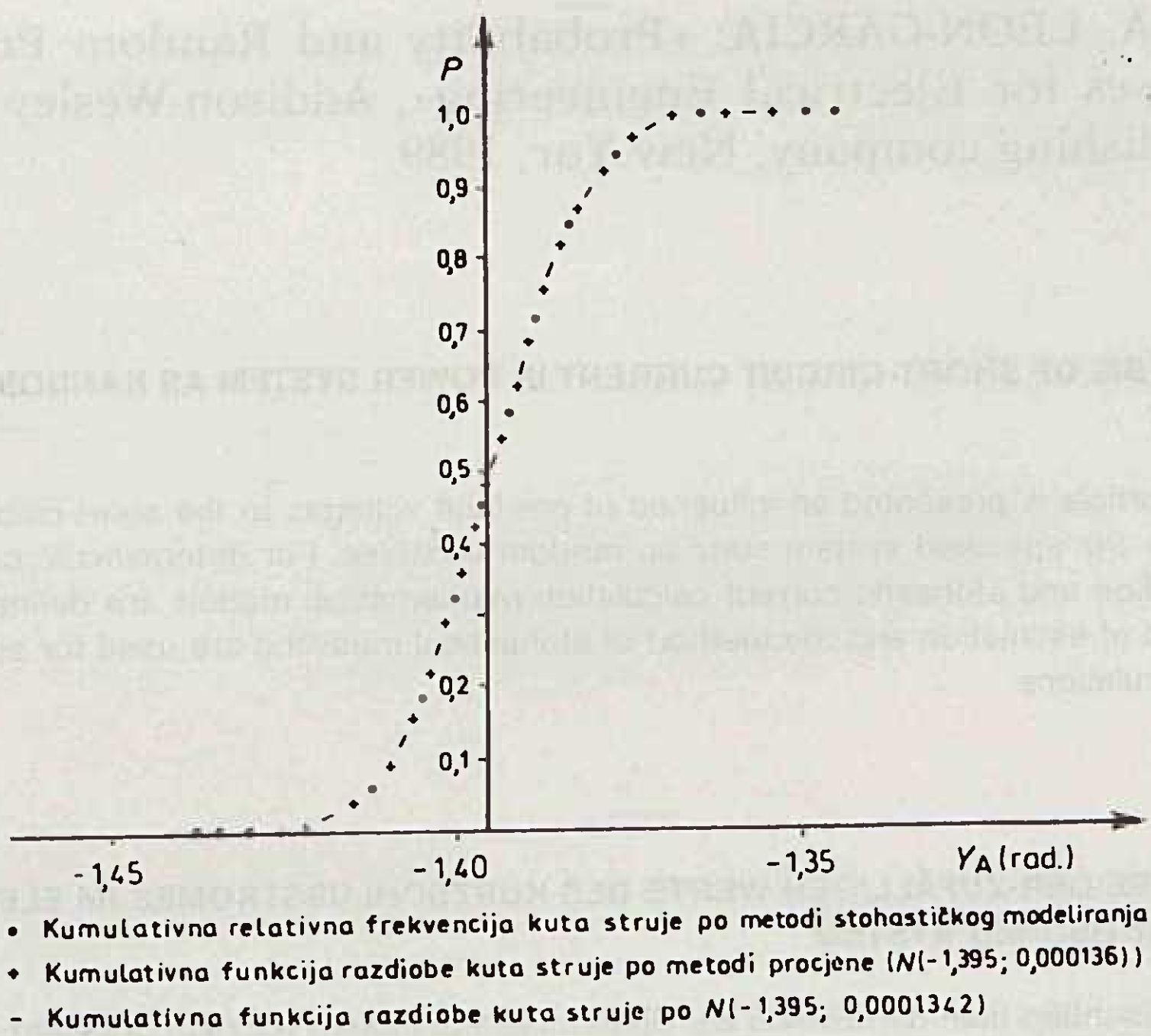
Usporede li se ti rezultati s rezultatima koji su dobiveni metodom procjene, uočava se da je razlika između očekivanih vrijednosti modula struje veoma mala (0,017%), dok ne postoji razlika između očekivanih vrijednosti kuta struje. Stanovite razlike postoje kod varijance modula (2,68%) i kuta (1,34%) te kod kovarijanca modula i kuta (9,0%).



- Kumulativna relativna frekvencija modula struje po metodi stohastičkog modeliranja
- + Kumulativna funkcija razdiobe modula struje po metodi procjene ( $N(5,816; 0,001838)$ )
- Kumulativna funkcija razdiobe modula struje po  $N(5,817; 0,00179)$

Slika 2. Kumulativna funkcija razdiobe modula struje tropolnog kratkog spoja u čvoru 2 (var. 1)

Na slikama 2. i 3. prikazane su kumulativne funkcije modula i kuta struje po metodi stohastičkog modeliranja i po metodi procjene. Kod metode procjene polazi se od pretpostavke da razdioba modula i kuta podliježe zakonu normalne razdiobe. Nadalje, na slici 2. nacrtana je kumulativna frekvencija modula struje normalne razdiobe  $N(5,817; 0,00179)$ , a na slici 4.3. kumulativna funkcija kuta struje normalne razdiobe  $N(-1,395; 0,0001342)$ . Analizirajući pripadne krivulje, uočava se da se one, praktično, međusobno poklapaju.



Slika 3. Kumulativna funkcija razdiobe kuta struje troleznog kratkog spoja u čvoru 2 (var. 1)

Ovdje je bitno napomenuti da se kod prije promatranih analiza nije spominjala funkcija vjerojatnosti snaga potrošača i elektrana, tj. nije se eksplicitno odredila njihova razdioba.

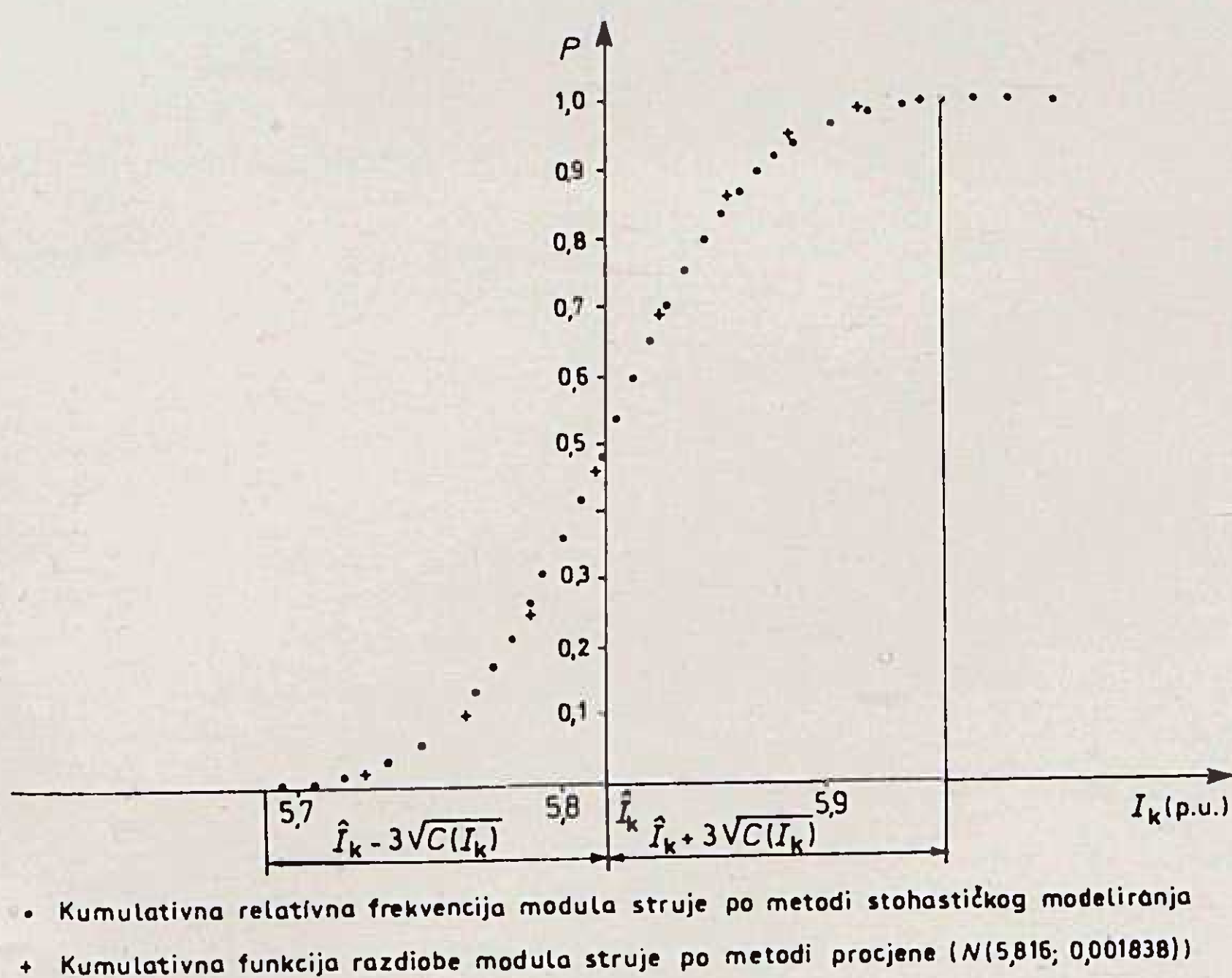
Analizirajući dobivene rezultate (sl. 2. i sl. 3), može se reći da se modul ikut struje pokoravaju zakonu normalne razdiobe, bez obzira na to kakvu razdiobu imaju snage potrošača i elektrana. Ovo je u skladu s centralnim graničnim teoremom koji kaže sljedeće (literatira [2]):

— Ako je slučajna veličina  $A$  zbroj velikog broja u cjelini nezavisnih slučajnih veličina  $x_1, x_2, x_n$  pri čemu je utjecaj svake od tih veličina na čitav zbroj zanemariv, tada veličina  $A$  ima razdiobu koja je vrlo bliska normalnoj.

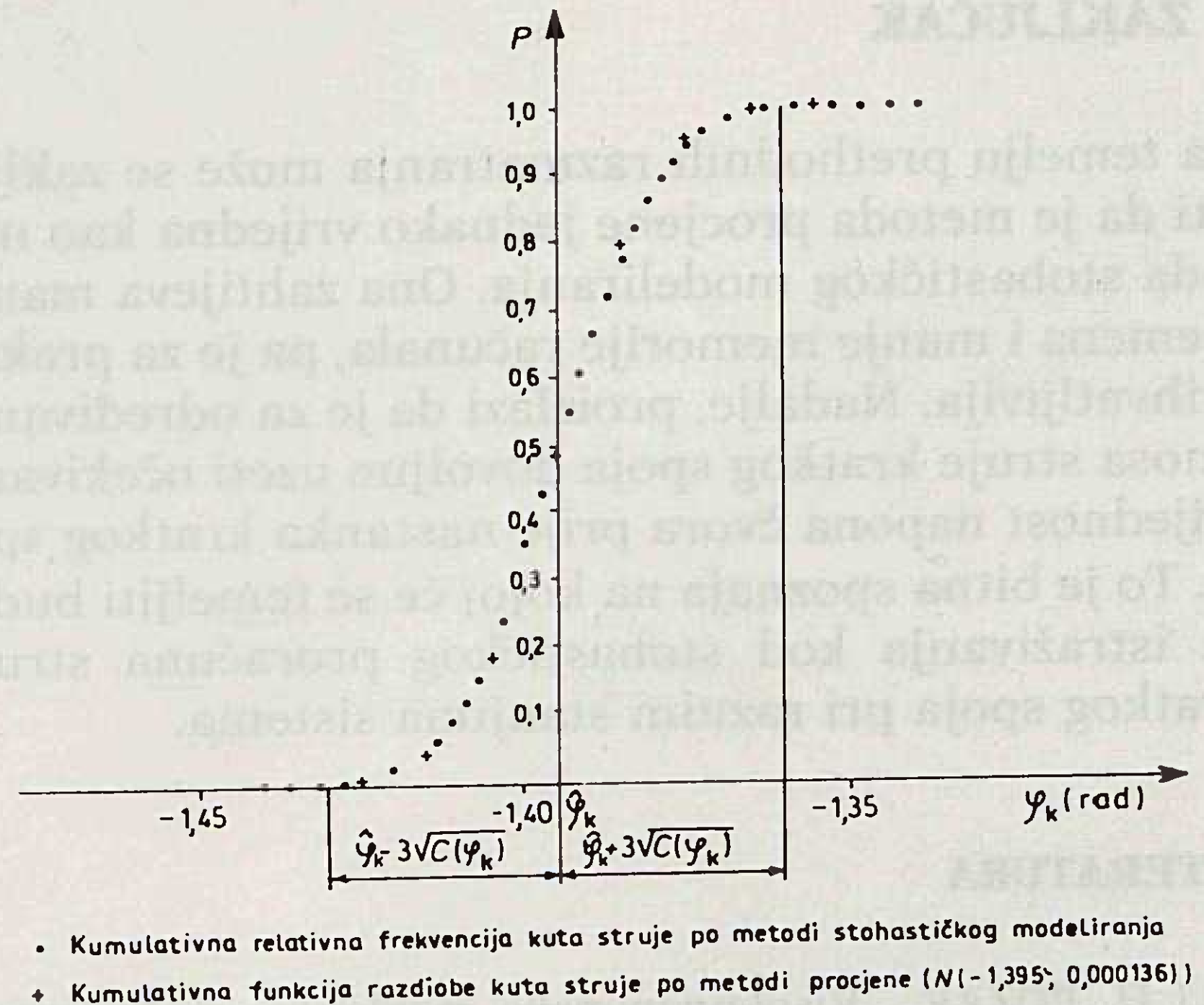
Prema literaturi [2] ovaj teorem je još poopćen, pa omogućava blagu zavisnost među slučajnim veličinama u zbroju.

U skladu s tim proizlazi da nije potrebno brinuti o razdiobama snaga u čvorovima.

Razmatran je i slučaj kada se umjesto očekivanih vrijednosti impedancija potrošača uzimaju stvarne vrijednosti. Analiza je provedena samo metodom



Slika 4. Kumulativna funkcija razdiobe modula struje troleznog kratkog spoja u čvoru 2 (var. 2)



Slika 5. Kumulativna funkcija razdiobe kuta struje troleznog kratkog spoja u čvoru 2 (var. 2)

stohastičkog modeliranja, jer se metoda procjene nije mogla primijeniti zbog toga što se u ovom trenutku ne može unaprijed definirati razdioba impedancija, odnosno ne može se unaprijed definirati čvrsta funkcijska veza između struje kratkog spoja i napona čvorova prije kvora tipa matrice  $F$  u poglavlju 2. Rezultati provedene analize prikazani su na slikama 4. i 5.. Odatle se može zaključiti da na struju kratkog spoja neznatno utječe promjena impedancija potrošača. Taj je utjecaj najveći u slučaju kada se kratki spoj dogodi u čvoru u kojem se nalazi potrošač. Jasno, taj utjecaj vezan je i za veličinu mreže. Tako će biti veći kod manjih mreža, a manji kod većih mreža. Analizirajući krivulje na slici 4, može se zapaziti da modul struje kratkog spoja ima praktički normalnu razdiobu. Kod metode procjene, gdje se pretpostavlja normalna razdioba, u 99,73% slučajeva ovaj modul će se nalaziti u intervalu

$$\hat{I}_k - 3\sqrt{C(I_k)} < I_k < \hat{I}_k + 3\sqrt{C(I_k)}. \quad (4.1)$$

Kod metode stohastičkog modeliranja on će se pak nalaziti u promatranom intervalu u 99,46% slučajeva.

Promatrajući krivulje na slici 5, može se zaključiti da kut struje kratkog spoja ima praktički normalnu razdiobu; u 99,73% slučajeva ovaj kut će se nalaziti u intervalu

$$\hat{\varphi}_k - 3\sqrt{C(\varphi_k)} < \varphi_k < \hat{\varphi}_k + 3\sqrt{C(\varphi_k)}. \quad (4.2)$$

a kod metode stohastičkog modeliranja on će se nalaziti u promatranom intervalu u 99,63% slučajeva.

Nadalje je, uz pouzdanost procjene od 99,73%, odstupanje dobiveno metodom procjene modula struje od očekivane vrijednosti  $\pm 2,21\%$  i kuta struje od očekivane vrijednosti  $\pm 2,50\%$ .

Nadalje je, uz pouzdanost procjene od 99,73%, odstupanje dobiveno metodom procjene modula struje od očekivane vrijednosti  $\pm 2,21\%$  i kuta struje od očekivane vrijednosti  $\pm 2,50\%$ .

## 5. ZAKLJUČAK

Na temelju prethodnih razmatranja može se zaključiti da je metoda procjene jednako vrijedna kao metoda stohastičkog modeliranja. Ona zahtijeva manje vremena i manje memorije računala, pa je za praksu prihvatljivija. Nadalje, proizlazi da je za određivanje iznosa struje kratkog spoja dovoljno uzeti očekivanu vrijednost napona čvora prije nastanka kratkog spoja. To je bitna spoznaja na kojoj će se temeljiti buduća istraživanja kod stohastičkog proračuna struja kratkog spoja pri raznim stanjima sistema.

## LITERATURA

- [1] H. POŽAR: »Visokonaponska rasklopna postrojenja«, Školska knjiga, Zagreb, 1967.
- [2] D. UGRIN-ŠPARAC: »Primijenjena teorija vjerojatnosti I. i II. dio«, ETF, Zagreb, 1976.
- [3] I. PAVLIĆ: »Statistička teorija i primjena«, Tehnička knjiga, Zagreb, 1977.
- [4] Z. A. IVKOVIĆ: »Matematička statistika«, Naučna knjiga, Beograd, 1980.
- [5] M. A. EL - KADY: »Probabilistic short-circuit analysis by Monte Carlo simulation«, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 5, May 1983.
- [6] M. A. EL-KADY: »An advanced probabilistic short-circuit program«, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-102, No. 5, May 1983.
- [7] M. i K. OŽEGOVIĆ: »Električne mreže II«, FESB, Split, 1980.
- [8] M. i K. OŽEGOVIĆ: »Električne mreže III«, FESB, Split, 1982.
- [9] F. BOYTES: »Stochastic contingency analysis«, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-97, No.2, March/April 1978.
- [10] J. DOPAZO, O. KLITIN, A. SASSON: »Stochastic load flow«, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-94, No. 2, March/April 1975.

- [11] A. LEON-GARCIA: »Probability and Random Processes for Electrical Engineering«, Addison-Wesley publishing company, New York, 1989.

### ANALYSIS OF SHORT-CIRCUIT CURRENT IN POWER SYSTEM AS RANDOM VARIABLES

In the article is presented an influence of pre-fault voltages to the short-circuit current for the specified system state as random variables. For deterministic currents calculation and stochastic current calculation mathematical models are defined. The method of estimation and the method of stochastic modeling are used for stochastic calculations.

### ANALYSE DER ZUFÄLLIGEN WERTE DES KURZSCHLUßSTROMES IM ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEM

Hier präsentiert man den Einfluß der Spannungssituationen vor dem Schaden, als zufällige Werte auf den Kurzschlußstrom der ebenfalls eine zufällige Größe ist, bei einem bestimmten Zustand des Systems. Es werden mathematische Modelle zur Berechnung des Kurzschlußstromes bei deterministischen und stochastischen Berechnungen definiert. Dabei benutzt man für die stochastische Berechnung die Methode der Schätzung und die Methode des stochastischen Modellierens.

### АНАЛИЗ СЛУЧАЙНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Представлено влияние состояния напряжения до повреждений в виде случайных величин на ток короткого замыкания, который также является случайной величиной при определенном состоянии системы. Определены математические модели для вычисления тока короткого замыкания при определенном и вероятном расчете, причем для вероятного расчета используются метод оценки и метод вероятного моделирования.

Naslov pisca:

**Dr. Mislav Majstrovic, dipl. inž.**  
Fakultet elektrotehnike,  
strojarstva i brodogradnje  
58000 Split, Ruđera Boškovića  
bb

Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:  
1990-05-09

# INTERAKTIVNO OPTIMALNO PLANIRANJE RAZDJELNIH MREŽA — STUKTURIRANJE PRSTENASTE MREŽE

Dr. Slavko Krajcar, Zagreb

UDK 6U.316.11

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

U radu se obrađuje problematika strukturiranja prstenaste razdjelne mreže u urbanim područjima. Problem se razmatra kao problem dostave. Za rješenje problema koristi se algoritam pretraživanja za određivanje opskrbnog područja napojnih kabela te Linov algoritam za rješenje problema optimalnog povezivanja jednog prstena mreže.

**Ključne riječi:** razdjelne mreže, linearno programiranje, problem dostave.

## 1. UVOD

Planiranje se, kao metodičan i sistematičan postupak spoznaja budućih problema susreće na svim stupnjevima razvoja elektroenergetskog sustava. Prirodno je da je složenost planiranja rasla kako je sustav postajao složeniji, od planiranja kada je broj rješenja bio toliki da je inventivnost planera bila dostatna, pa do današnjeg dana, kada se planer zbog mnogobrojnosti rješenja mora služiti dodatnim pomagalicama da bi mogao pronaći što bolje rješenje.

Planiranje se zasniva na informacijama iz prošlosti, na spoznajama današnjosti i na predviđanju budućnosti. Cilj je planiranja, osim ostvarenja nužnih tehničkih uvjeta, da se za vrijeme ukupnog trajanja pogonskih sredstava, ili bar većim dijelom, postignu što je moguće manji troškovi pogona i izgradnje. Budući da se planiranje zasniva na predviđanju, a time i na neizvjesnosti, posljedično i na riziku, vrlo je važno raspolagati prikladnim i brzim postupkom kako bi se svakog momenta moglo brzo reagirati spoznajom novih izvjesnosti.

Razdjelne mreže predstavljaju dio elektroenergetskog sustava koji električnom energijom opskrbljuje transformatorske stanice zadnjeg stupnja transformacije ili, doduše rjeđe, direktne potrošače. Osnovna je karakteristika razdjelne mreže njezina pogonska radikalnost, svojstvo mreže da potrošača napaja električnom energijom svakog trenutka samo iz jednog smjera. Mogućnost napajanja iz dva ili više smjerova predstavlja kategoriju pouzdanosti što se kod razdjelnih mreža, pogotovo urbanih područja, najčešće postiže prostornom uzamčenošću. U ovisnosti o načinu ostvarenja prostorne uzamčenosti u stručnoj praksi susreću se razdjelne mreže tipa *prsten*, *povezna*, *s protustanicom* i sl. U ovom se radu govori samo o prstenastoj strukturi razdjelne mreže.

## 2. PROBLEM DOSTAVE

Problem strukturiranja razdjelne mreže tipa *prsten* može se definirati kao:

*Postoji jedan izvor (TS 110/x kV) i (n-1) mjesto potražnje (potrošača, TS × 10.4 kV). Kako s m kabela, svaki ograničenog kapaciteta (presjeka), obiće sva mjesta potražnje uz minimalni prijeđeni put (trošak), zadovoljavajući pritom tehničke uvjete kvalitete električne energije? Svaki kabel polazi iz izvora i u njega se vraća obilazeći određeni broj potrošača samo jednom.*

Problem kako je prije postavljen može se poistovjetiti s problemom poznatim pod nazivom »problem dostave« ili »problem otpreme«, s time da tada izvor predstavlja skladište a kabeli transportna vozila. U literaturi taj se problem najčešće susreće pod nazivom *vehicle dispatch problem*, ali i pod nazivima *capacited routing problem*, *multiple travelling salesman problem* itd.

Iako je zadatak relativno jednostavno postavljen, njegovo rješenje i nije tako jednostavno. Tome u prilog dovoljno govori da do danas ne postoji opća metoda kojom bi se mogao riješiti. No zbog svog značenja u mnogim granama ljudske djelatnosti do danas je razvijeno više metoda, što egzatnih što heurističkih, koje s različitom razinom djelotvornosti daju optimalno ili blizu optimalno rješenje [npr. 1, 2, 3, 4]. Heurističke metode u ovom slučaju imaju prednost nad egzaktnim jer realne probleme rješavanju u znatno kraćem vremenu.

Treba također kazati da do danas ne postoji ni opća matematička formulacija problema. Autori se stoga najčešće služe formulacijama koje su prilagođene metodi koju razrađuju, što će biti učinjeno i u ovom radu.

Prije matematičkog opisa uvest će se neke oznake:

- Ukupno ima  $n$  lokacija, od čega jedan izvor (neka je uvijek  $i=1$ ) i  $(n-1)$  lokacija potražnje ( $i=2,3,\dots,n \in N$ ).
- Poznata je matrica udaljenosti (troška)  $T$  čiji elementi  $t_{ij}$  predstavljaju udaljenosti (trošak) između pojedinih lokacija. Vrijedi  $t_{ij} = \infty$  ako između pojedinih lokacija nema valjanog puta. Radi jednostavnosti u daljnjem će se tekstu govoriti samo o udaljenosti.
- Svaki čvor potražnje ima zahtjev za snagom  $x^i$ .
- Ukupni je broj kabela  $m$  (ne mora biti ograničen).
- Svaki kabel ima ograničenje po kapacitetu  $x_{\max}$  i ograničeni djelokrug  $d_{\max}$  (najveći kružni put koji može obići). Najveći djelokrug u funkciji je dozvoljenog pada napona, ali se radi jednostavnosti prikaza modela u ovom radu neće egzaktno razmatrati [v.1].

Neka prvi kabel polazi iz izvora i obilazi  $k$  potrošača koji čine podskup:

$$N^1 = \{1,2,3,\dots,k\} \subseteq N,$$

uz uvjet:

$$\begin{aligned} \sum_{i \in N^1} x^i &\leq x_{\max}, \\ \min \sum_{i,j \in N^1} t_{ij} &\leq d_{\max}, \end{aligned} \quad (2.1)$$

i vraća se natrag, tvoreći stazu  $S^1$  uz minimalni prijedni put.

Drugi kabel polazi na isti način, obilazi potrošače od  $k+1$  do  $h$  koji čine podskup:

$$N^2 = \{1,k+1,k+2,\dots,h\} \subseteq N,$$

uz uvjet:

$$\begin{aligned} \sum_{i \in N^2} x^i &\leq x_{\max}, \\ \min \sum_{i,j \in N^2} t_{ij} &\leq d_{\max}, \end{aligned} \quad (2.2)$$

i vraća se prolazeći minimalnom stazom  $S^2$ .

Konačno  $m$ -ti kabel obilazi potrošače od  $l$  do  $n$  koji čine podskup:

$$N^m = \{1,l+1,l+2,\dots,n\} \subseteq N,$$

uz uvjet:

$$\begin{aligned} \sum_{i \in N^m} x^i &\leq x_{\max}, \\ \min \sum_{i,j \in N^m} t_{ij} &\leq d_{\max}, \end{aligned} \quad (2.3)$$

polazeći iz izvora i vraćajući se u njega. Ako putem prolazi minimalni put, tada tvori stazu  $S^m$ .

Treba pronaći takav skup staza  $S$  tako da vrijedi:

$$\left[ \min \sum_{i,j \in N^1} t_{ij} + \min \sum_{i,j \in N^2} t_{ij} + \dots + \min \sum_{i,j \in N^m} t_{ij} \right] = \min, \quad (2.4)$$

uz uvjete (2.1), (2.2) i (2.3) te:

$$\begin{aligned} N^1 \cup N^2 \cup \dots \cup N^m &= N, \\ t_{i1} + t_{1i} &\leq d_{\max}, \\ x^i &\leq x_{\max}. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Za rješenje problema kako je prije opisan koristit će se heuristički algoritam koji se susreće pod nazivom

algoritam pretraživanja (*engl. sweep algorithm, njem. Fahrstrahlalgorithmus*) [1,3]. Algoritam karakterizira vrlo uspješna dekompozicija i kratko vrijeme računanja i velikih problema. Uz konstantan broj lokacija po stazi vrijeme računanja približno raste linearno s porastom broja lokacija.

## 2.1. Algoritam pretraživanja

Osnovna je ideja algoritma pretraživanja rastavljanje cijelog problema u  $m$  potproblema u kojima se optimiranje vrši algoritmom trgovačkog putnika. Dekompozicija se vrši pretraživanjem određenog broja lokacija, u polarnom koordinatnom sustavu, dok se ne prekorače ograničenja za kabele. Međuutjecaji potproblema rješavaju se uz heuristička poboljšanja. Lokacije potrošnje predstavljaju točke u Euklidovoj ravnini koje su opisane s pravokutnim koordinatama  $z_i$  i  $y_i$ . Izvor se nalazi na koordinati  $z_1, y_1$ . Za potrebe algoritma pretraživanja treba uvesti polarne koordinate  $r_i$  i  $\alpha_i$  s time da je:

$$\begin{aligned} \alpha_i &= \arctan \left[ \frac{(y_i - y_1)}{(z_i - z_1)} \right] \\ -\pi &< \alpha_i < 0 \text{ za } y_i - y_1 < 0 \\ 0 &\leq \alpha_i < \pi \text{ za } y_i - y_1 \geq 0 \\ r_i &= \sqrt{[(z_i - z_1)^2 + (y_i - y_1)^2]} \end{aligned}$$

Algoritam pretraživanja započinje prenumeriranjem odnosno redanjem lokacija po rastućem kutu. Dakle, lokacija  $i$  prije je lokacije  $j$  ako je  $\alpha_i < \alpha_j$ . Ako su dvije lokacije s istim kutom, onda je  $i < j$  ako je  $r_i < r_j$ . Neka je numeracija u pravokutnom koordinatnom sustavu, radi jednostavnosti, takva da odgovara gornjim uvjetima.

Optimiranje se provodi u dva stupnja. Prvi tzv. pretraživanje unaprijed (*engl. forward*, suprotno od kazaljke na satu) i drugi, tzv. pretraživanje unatrag (*engl. backward*, u smjeru kazaljke na satu).

### a) Formiranje prve staze

Pretraživanje unaprijed započinje se formirajući skup  $N^1$  (2.1) počevši s lokacijom koja ima najmanji kut ( $i=2$ ), zatim se dodaje druga, treća itd. do  $k$ -te vodeći brigu da se ne prekorači ograničenje kapaciteta vozila, odnosno da vrijedi:

$$x_1 = \sum_{i=2,k} x^i \leq x_{\max}.$$

Za tako formiran skup lokacija:

$$N^1 = \{1,2,3,\dots,i_1,\dots,k\},$$

algoritmom trgovačkog putnika (ATP) pronađe se minimalna duljina  $d_1$ , odnosno staza  $S^1$ , da bi se obišlo sve lokacije samo jednom. Za rješenje problema trgovačkog putnika koristi se vrlo djelotvoran algoritam poznat pod nazivom *Lin's algorithm* [1,3]. Provjeri se tada uvjet na maksimalni djelokrug (u realnoj mreži pad napona). Ako je:

$$d_1 > d_{\max},$$

eliminira se posljednja uzeta lokacija iz  $N^1$  ( $k=k-1$  i  $x_1 = x_1 - x^{k-1}$ ). Ponovno se pronađe duljina  $d_1$  i pro-



vjerava ograničenje. Postupak se nastavlja sve dok se ne zadovolji dano ograničenje. Kada je uvjet zadovoljen, nastavlja se s određenim poboljšanjima.

Poboljšanja se sastoje u zamjeni jedne lokacije iz  $N^1$  s jednom ili dvije lokacije u stazi koja slijedi. Naravno, zamjena će se vršiti samo onda ako to daje ukupno manju duljinu.

Pronađu se dvije lokacije. Prva,  $i_{u1}$ , koja je najbliže posljednjoj uzetoj lokaciji ( $k$ ) a nije u  $N^1$  i druga,  $i_{u2}$ , koja je najbliže  $i_{u1}$  a nije u  $N^1$ . Zatim se pronađe jedna lokacija iz  $N^1$  koja je blizu staze koja će se poslije formirati i blizu je izvora. Ta se lokacija odabere iz poretka, ATP-om formirane staze  $S^1$ . Neka je ta lokacija  $i_i$ . Formirana staza  $S^1$  može se pisati kao:

$$S^1 = \{(1,a), \dots, (b,1)\}.$$

Lokacija koja se izbacuje tada se odredi kao:

$$i_i = a \text{ ako je } \alpha_a > \alpha_b \text{ inače } i_i = b. \quad (2.6)$$

Izračuna se sada nova duljina  $d_2$  ako je u stazu uključena lokacija  $i_{u1}$  a nije  $i_i$ . Ako je:

$$d_2 \leq d_{\max} \text{ i } x_1 + x^{i_{u1}} - x^{i_i} \leq x_{\max}, \quad (2.7)$$

nastavlja se poboljšanje; inače se zabilježi staza  $S^1$ , a postupak se nastavlja korakom  $d$  — formiranje nove staze.

Poboljšanje se nastavlja formiranjem staze  $S^*$  s lokacijama:

$$N^* = \{1, k+1, k+2, \dots, i_{u1}, \dots, i_{u2}, \dots, k+a\}. \quad (2.8)$$

Staza  $S^*$  zapravo predstavlja očekivanu stazu nakon staze  $S^1$ . Broj  $a$  određuje se tako da sljedeća staza približno odgovara očekivanoj u sljedećem koraku formiranja (npr. nešto manji od prosječnog broja lokacija po stazi).

Ako je  $i_{u1} \in N^*$  za lokacije  $N^*$  izračuna se minimalna duljina  $d_3$  te duljina  $d_4$  ako se u  $N^*$  uključi  $i_i$  umjesto  $i_{u1}$ , inače se zabilježi staza  $S^1$  i nastavlja formiranjem nove staze.

Ako je  $i_{u2} \in N^*$  nastavi se traženjem poboljšanja; inače se:

$$\text{ako je } d_1 + d_3 < d_2 + d_4, \quad (2.9)$$

nastavi s formiranjem nove staze. Ako nije zadovoljen uvjet (2.9), tada se izvrši:

### b) Zamjena prva

Točke se zamjenjuju tako da se u stazu  $S^1$  uključi  $i_{u1}$  a lokacija  $i_i$  se ostavlja da bi se pokupila sa sljedećom stazom. Postupak se nastavlja dodavanjem sljedeće lokacije iz redoslijeda ( $k+1$ ) ako to kapacitet  $x_{\max}$  dozvoljava ( $x_1 + x^{k+1} \leq x_{\max}$ ). Započinje se tada novo ispitivanje, sa  $N^1$  u koji je uključena lokacije ( $k+1$ ), traženjem  $d_1, d_2$  itd. Ako bi se dodavanjem sljedeće lokacije prekoračilo  $x_{\max}$ , zabilježi se staza  $S^1$  i nastavlja se s formiranjem nove staze.

Drugo poboljšanje se sada traži zamjenom dviju točaka,  $i_{u1}$  i  $i_{u2}$ , koje nisu u stazi s jednom,  $i_i$ , koja će se iz steze eventualno isključiti. Izračunaju se stoga dvije nove duljine. Prva,  $d_5$ , za  $N^1$  s lokacijama  $i_{u1}$  i  $i_{u2}$  a bez  $i_i$  i druga,  $d_6$ , za  $N^*$  bez  $i_{u1}$  i  $i_{u2}$  a sa  $i_i$ .

Ako je:

$$d_5 < d_{\max} \text{ ili } x_1 + x^{i_{u1}} + x^{i_{u2}} - x^{i_i} > x_{\max}, \quad (2.10)$$

zamjena nije moguća, odnosno:

$$\text{ako je } d_1 + d_3 < d_2 + d_4, \quad (2.11)$$

ide se na formiranje nove staze; inače se ide na zamjenu kako je opisano u koraku zamjena prva.

Ako nema ograničenja, ispituje se zamjena, i to:

$$\text{ako je } (d_1 + d_3 \geq d_2 + d_4) \text{ i } (d_2 + d_4 < d_5 + d_6), \quad (2.12)$$

ide se na zamjena prva a ako je:

$$(d_1 + d_3 < d_2 + d_4) \text{ i } (d_1 + d_3 < d_5 + d_6), \quad (2.13)$$

ide se na formiranje nove staze; inače poboljšanje je pronađeno te se izvrši:

### c) Zamjena druga

Zamjena točaka vrši se tako da se u stazu  $S^1$  uključi  $i_{u1}$  i  $i_{u2}$  a lokacija  $i_i$  se ostavlja da bi se pokupila sa sljedećom stazom. Postupak se nastavlja dodavanjem sljedeće lokacije iz redoslijeda ( $k+1$ ) ako to kapacitet  $x_{\max}$  dopušta ( $x_1 + x^{k+1} \leq x_{\max}$ ). Započinje se tada novo ispitivanje, sa  $N^1$  u koji je uključena lokacija ( $k+1$ ), traženjem  $d_1, d_2$  itd. Ako bi se dodavanjem sljedeće lokacije prekoračilo  $x_{\max}$ , zabilježi se staza  $S^1$  i nastavlja se formiranjem nove staze.

### d) Formiranje nove staze

Formiranje nove staze započinje se, slično kao kod prve, stvaranjem skupa  $N^1$ . U skup  $N^1$  uključuju se lokacije po redoslijedu počevši od  $k+1$ . Dodavanje se prekida kada bi se uključivanjem još jedne lokacije prekoračio zadani kapacitet  $x_{\max}$ . Ako se tako nije došlo do posljednje lokacije ( $k=n$ ), ispitivanje se nastavlja na način kako je opisano za prvu stazu inače se, bez daljnjih ispitivanja, zabilježi staza  $S^1 \equiv S^m$  i postupak je završen. Zabilježi se set staza.

$$S_{u1} = \{S^1, S^2, \dots, S^m\}, \quad (2.14)$$

koje imaju ukupnu duljinu:

$$d_{u1} = \sum_{i=1, m} d^i. \quad (2.15)$$

Dobiveno rješenje predstavlja optimum ili približno optimum kada se kao prva točka obilaska odabere lokacija s najmanjim kutem.

Time postupak pretraživanja unaprijed nije završen. Traži se sada drugo moguće rješenje uz promijenjen redoslijed lokacija. Redoslijed lokacija se promijeni tako da druga lokacija postane prva, treća druga itd. a prva se postavi na posljednje mjesto (zakretanje koordinatnog sustava za kut  $\alpha_1$ ). Optimiranje se nastavlja na način kako je opisano za točku s najmanjim kutom. Zabilježi se sada  $S_{u2}$  i  $d_{u2}$ .

Postupak se ponavlja tako da svaka lokacija bude jednom prva. Ono rješenje  $i=1, \dots, n-1$ :

$$S_{ui} = \{S^1, S^2, \dots, S^m\}, \quad (2.16)$$

koje ima najmanju ukupnu duljinu, odnosno ako je:

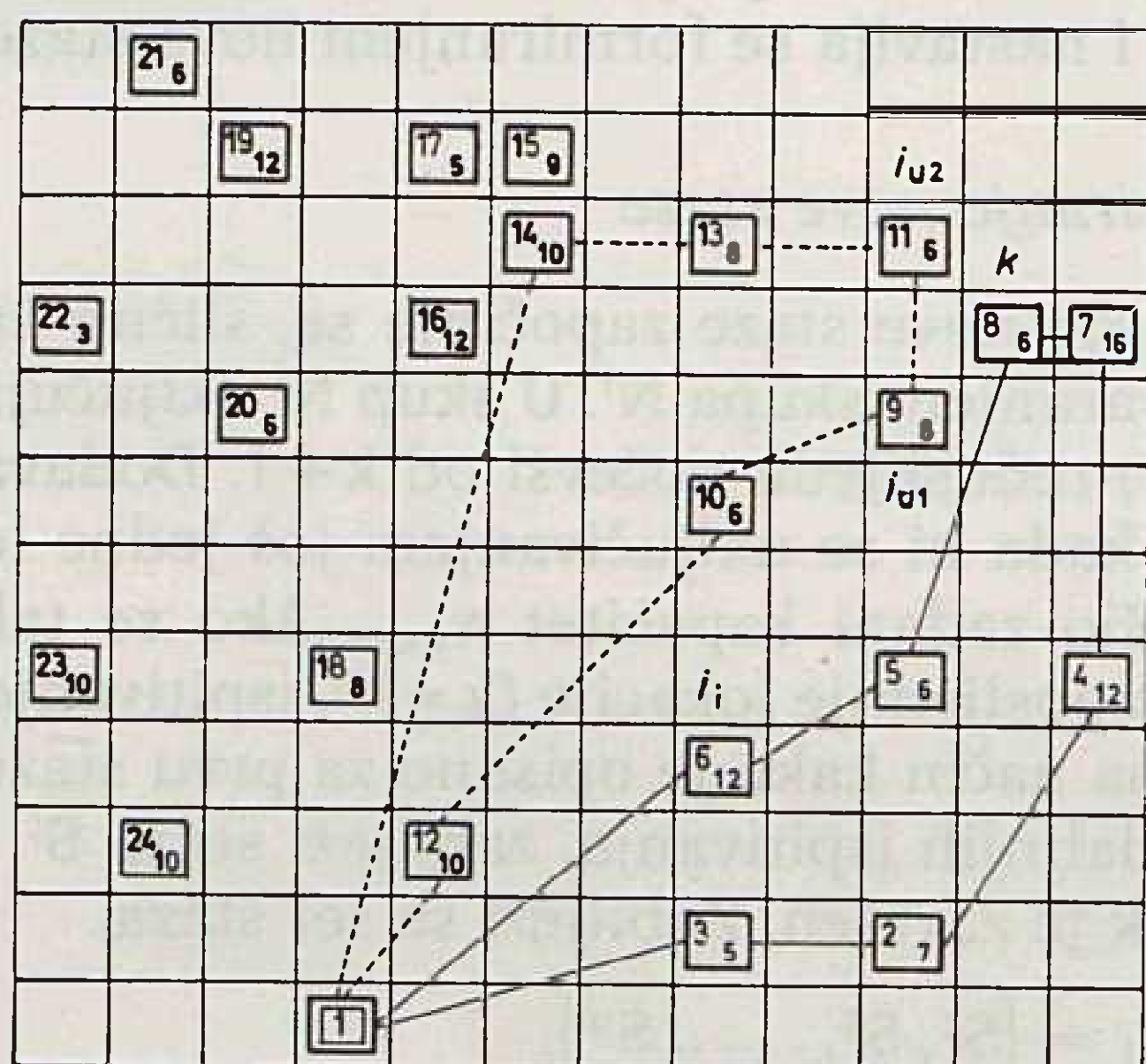
$$d_{ui} = \min(d_{u1}, d_{u2}, \dots, d_{u(n-1)}), \quad (2.17)$$

tada rješenje s početnom točkom i predstavlja optimalno ili blizu optimalno rješenje za algoritam pretraživanja unaprijed.

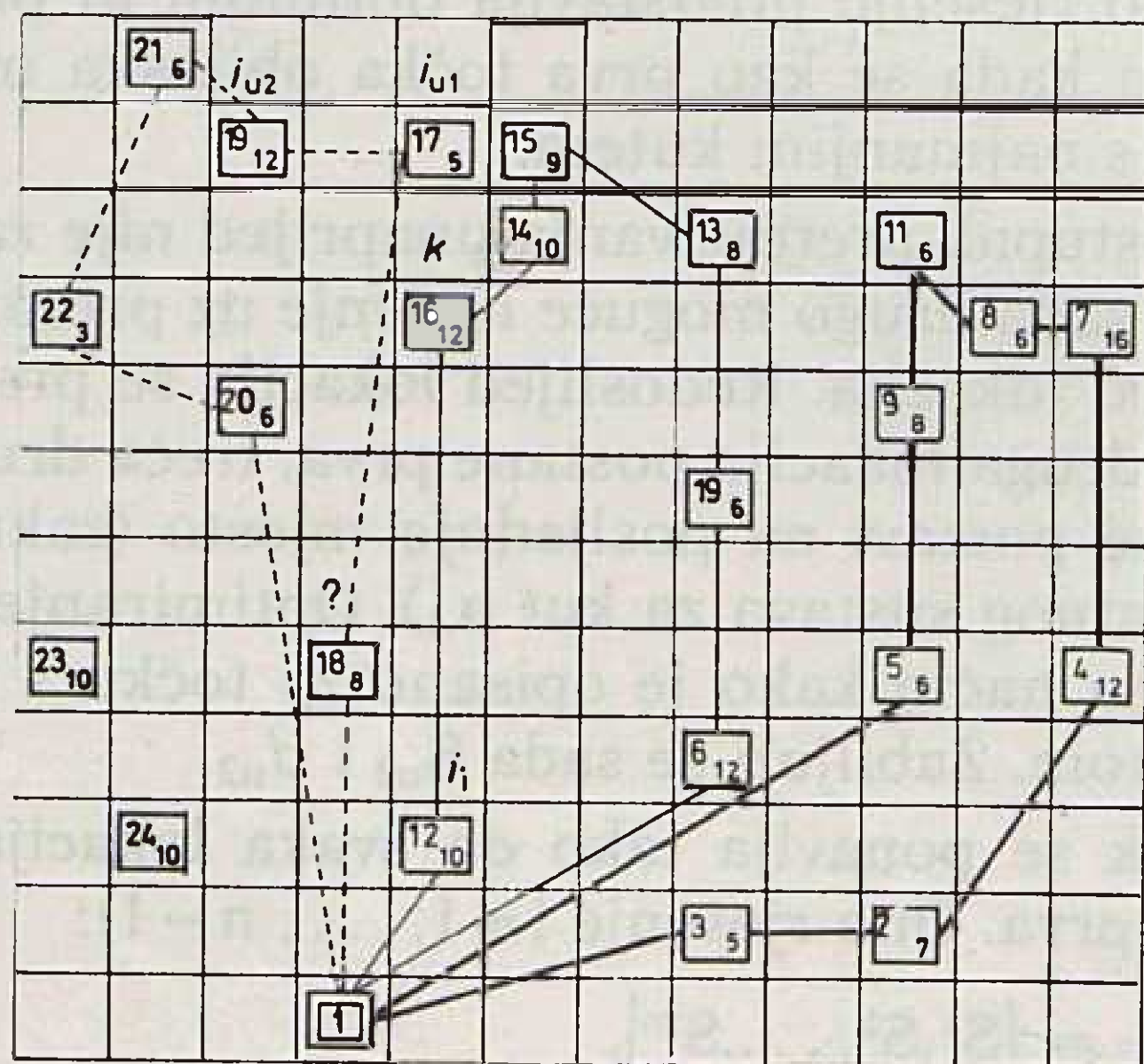
Pretraživanje unatrag, algoritam je koji je istovjetan algoritmu pretraživanja unaprijed, ali s lokacijama koje su poredane od najvećeg kuta prema najmanjem. Izmjena postoji samo u koraku izbora točke koja se iz staze isključuje. Naime, lokacija koja zadovoljava dani uvjet jest ona koja ima manji a ne veći kut kao što je to kod algoritma pretraživanja unaprijed (uvjet 2.6).

Optimalno ili blizu optimalno rješenje problema dostave algoritmom pretraživanja unaprijed, odnosno unatrag, je ono koje ima manju ukupnu duljinu da bi se obišli svi potrošači sa  $m$  transportnih sredstava.

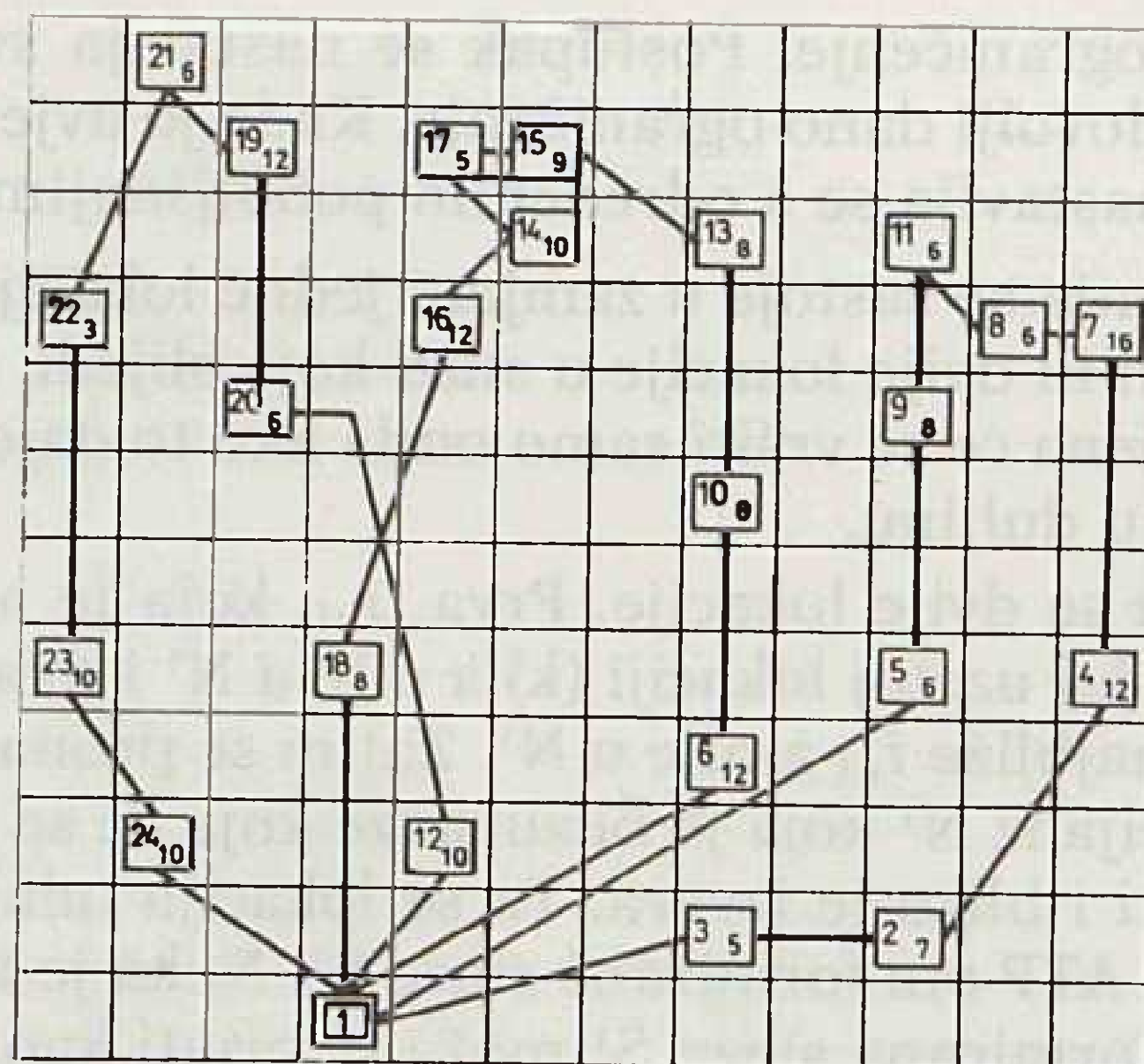
Radi boljeg razumijevanja postupka optimiranja pretraživanjem poslužit će se jednim primjerom. Na slici 1. prikazano je područje s 23 (2,3, ...,24) potrošačka mjesta i jednim izvorom (1). Potražnja svakog potrošača dana je u desnom donjem uglu kvadratića, a redni brojevi, već poredani po rastućem kutu, u gornjem lijevom. Udaljenosti među lokacijama jednake su cjelobrojnoj vrijednosti geometrijske duljine. Ograničenje za kapacitet neka iznosi  $x_{max} = 70$  a za duljinu  $d_{max} = 300$ .



Slika 1. Primjer područja za rješavanje problema dostave prvi korak ispitivanja



Slika 2. Primjer područja za rješavanje problema dostave drugi korak ispitivanja



Slika 3. Primjer područja za rješavanje problema dostave treći korak ispitivanja i najbolje rješenje

Postupak optimalnog povezivanja, ako je prva lokacija ( $i=2$ ), za pretraživanje unaprijed može se pratiti slikama 1 do 3. Ukupna duljina da bi se obišle sve lokacije, samo jednom, s tri prstena iznosi  $d_{u1} = 774$ . Ispitaju li se na isti način i sve ostale lokacije kao prve ( $i=3,4, \dots, n$ ), dobiva se:

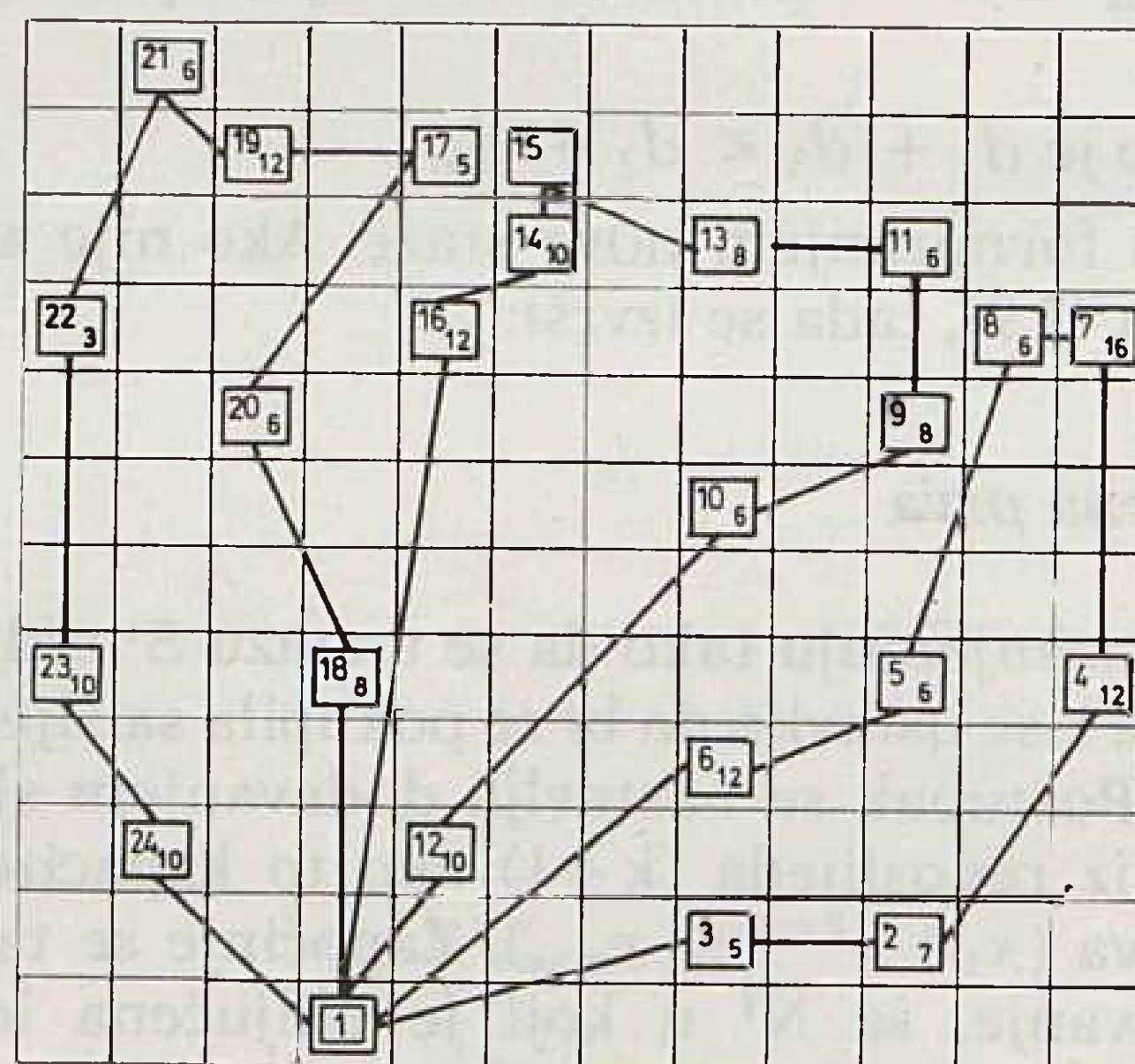
$$d_{ui} \{774, 846, 829, 849, 822, 812, 825, 863, 840, 827, 838, 812, 787, 802, 858, 834, 829, 853, 843, 833, 789, 788\}.$$

Ponovi li se ispitivanje i pretraživanjem unatrag, dobit će se:

$$d_{ui} = \{782, 825, 825, 833, 853, 852, 817, 817, 782, 825, 831, 833, 852, 817, 824, 803, 782, 825, 833, 870, 874, 840, 787\}.$$

Najmanja ukupna duljina od svih ispitivanja unaprijed pokazuje da je najbolje rješenje ono s prvom lokacijom 2 uz ukupnu duljinu  $d_{u2} = 774$  (sl. 3).

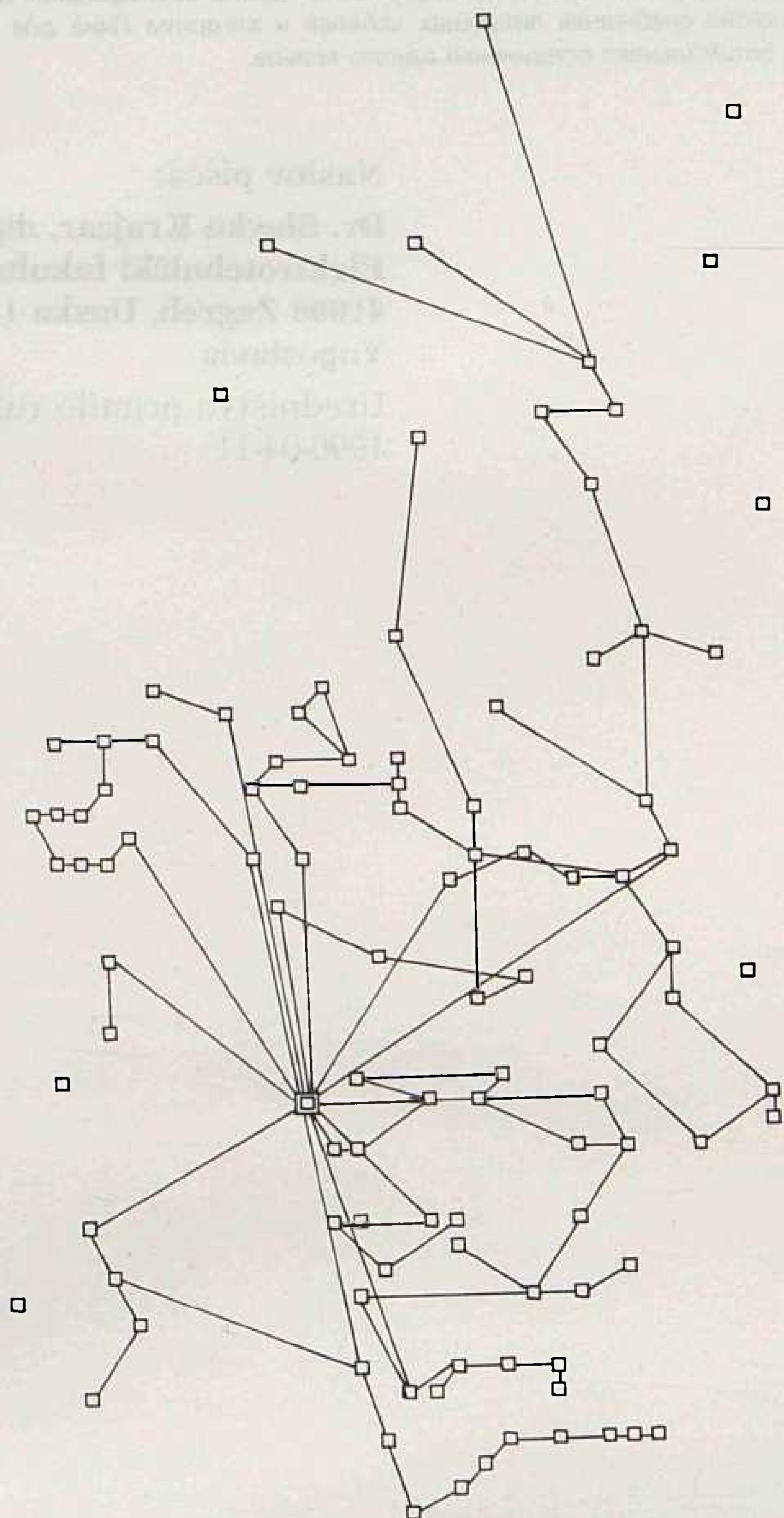
Kod ispitivanja unatrag to svojstvo ima više lokacija, i to: lokacije s rednim brojem 2, 10 i 18 ili po pozitivnom redoslijedu s rednim brojem 24, 16 i 8 uz ukupnu duljinu  $d_{u18} = 782$  (sl. 4).



Slika 4. Primjer područja za rješavanje problema dostave najbolje rješenje pretraživanja unatrag

Radi jednostavnosti prikaza modela koristio se primjer tzv. *Arabian desert* problema, dakle strukturiranja mreže bez postojećeg stanja. To, naravno, nije slučaj u razradi realnih mreža. Model omogućava i

obuhvaćanje postojećeg stanja mreže s time da se postojeći kabeli adekvatno ekonomski vrednuju (npr. u slučaju postojanja veze između dva čvora mreže trošak povezivanja jednak je nuli). Ako se urbano područje geografski modelira, tada se mogu uzimati i različiti troškovi za ostvarivanje strukture u različitim dijelovima područja (npr. prigradsko područje, centar i sl.). Također se u model može ugraditi i vrednovanje gubitka snage i energije. Model je detaljno opisan u [1].



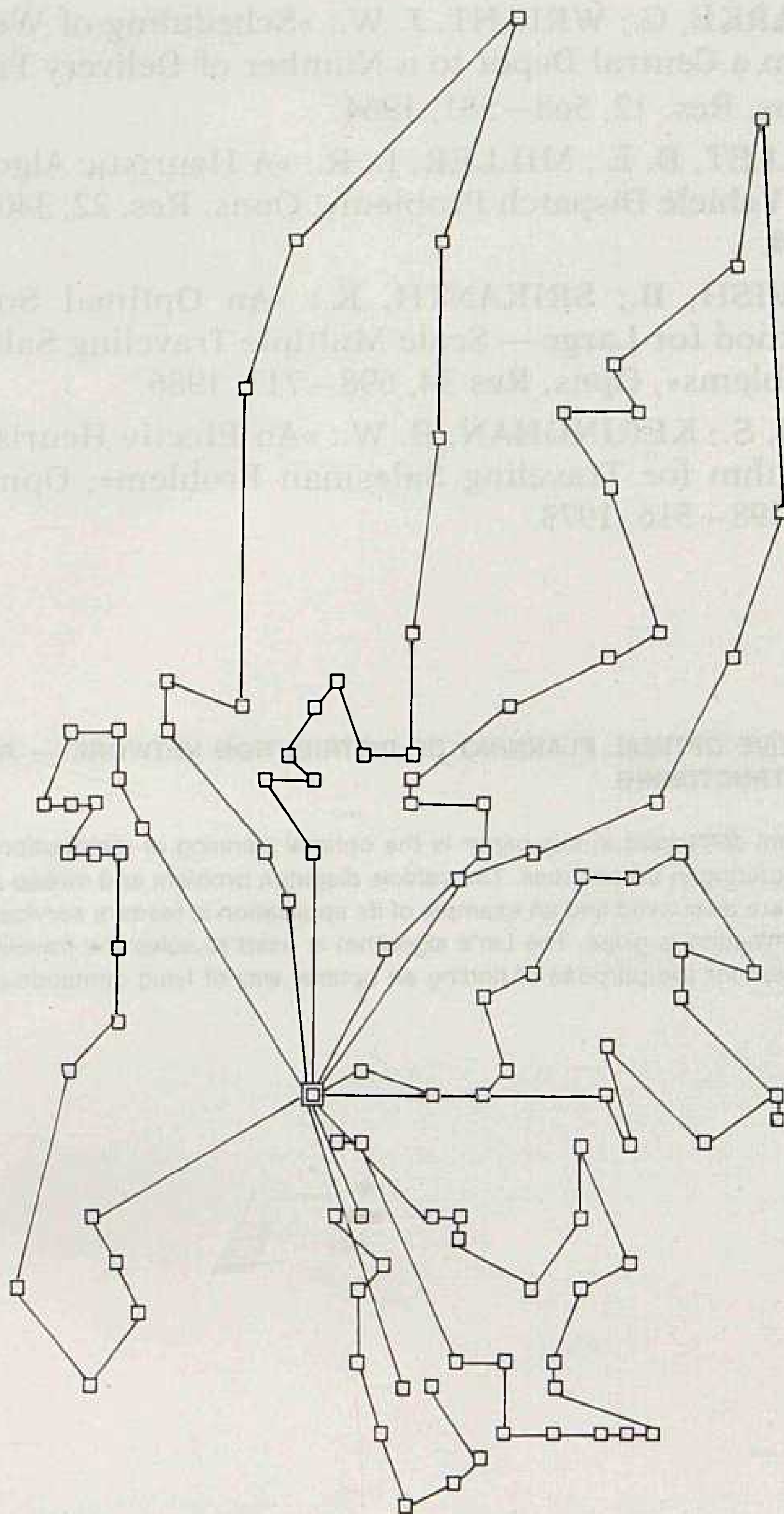
Slika 5. Primjer realne mreže prije strukturiranja

Radi ilustracije i vrednovanja modela u realnim mrežama dan je primjer na slici 5 i 6. Slika 5. prikazuje postojeće stanje mreže a slika 6 mrežu nakon strukturiranja mreže tipa prsten i porasta opterećenja od 50%.

### 3. ZAKLJUČAK

Opskrbiti potrošače kvalitetnom električnom energijom zadatak je, a to postići uz minimalne troškove cilj je svake distributivne organizacije.

Jedno od svojstava planiranja razdjelnih mreža danas postojanje je mnogobrojnih tehničkih jednakovrijednih rješenja. Konvencionalan je, intuitivni i iskustveni pristup planiranju stoga danas gotovo ne-



Slika 6. Mreža sa sl. 5. nakon strukturiranja

moć. *Planiranje podražno računalom*, postupak u kojem računalno zamjenjuje planera u rutinskom računanju, zbog nužnosti zadavanja pojedinih predrješenja, koja se onda optimizacijskim postupcima analiziraju, omogućava ipak usporedbu samo ograničenog broja varijantnih rješenja, te se i ono danas pokazuje nedovoljnim.

Objektiviranje problema, rasterećenje planera rutinskog rada, kvantifikacija što većeg broja uvjeta i ograničenja, na način pogodan za matematičko optimiranje stoga je sljedeći zadatak. Taj se korak, uz imanje pogodnog interaktivnog kompjutorskog programa, može nazvati *planiranjem pomoću računala*. Tada će planski postupak biti vođen računalom, obrađujući znatno veći broj varijantnih rješenja i nudeći neke od njih planeru na kvalitativnu procjenu. Planer tada u interaktivnom radu s računalom, rasterećen rutinskog rada, obavlja vrednovanje pojedinih rješenja uvodeći nekvantificirane uvjete i ograničenja; ili, mijenjajući ulazne parametre i pretpostavke ponavlja postupak u dijelu ili cjelini, a sve radi pronalaska što boljeg rješenja.

### LITERATURA

- [1] KRAJCAR, S.: »Algoritmi za interaktivno optimalno planiranje razdjelnih mreža«, Doktorska disertacija, ETF Zagreb, 1988.

- [2] CLARKE, G.; WRIGHT, J. W.: »Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points«, Opns. Res. 12, 568 – 581, 1964.
- [3] GILLET, B. E.; MILLER, L. R.: »A Heuristic Algorithm for Vehicle Dispatch Problem«, Opns. Res. 22, 340 – 350, 1974.
- [4] GAVISH, B.; SRIKANTH, K.: »An Optimal Solution Method for Large – Scale Multiple Traveling Salesmen Problems«, Opns. Res 34, 698 – 717, 1986.
- [5] LIN, S.; KERINGHAN, B. W.: »An Efectiv Heuristic Algorithm for Traveling Salesman Problem«, Opns. Res 21, 498 – 516, 1973.

**INTERACTIVE OPTIMAL PLANNING OF DISTRIBUTION NETWORK — RING NETWORK STRUCTURING**

The problem discussed in this paper is the optimal planning of distribution ring network structuring in urban areas. The vehicle dispatch problem and sweep algorithm to solve it are discussed and an example of its application in feeders service boundaries determination is given. The Lin's algorithm is used to solve the traveling salesman problem for the purpose of finding an optimal way of tying demands point.

**INTERAKTIVES OPTIMALES PLANEN DER VERTEILUNGSNETZE — STRUKTURIEREN DES RINGNETZES**

Hier behandelt man die Problematik des Strukturierens des Verteilungsnetzes auf urbanen Gebieten. Das Problem wird als Problem der Zustellung betrachtet. Zur Lösung des Problems benutzt man den Allogarithmus des Auskundschaffens zur Bestimmung des Versorgungsgebietes der Versorgungskabel sowie den Linuslogarithmus zur Lösung des Problems des Verbindens eines Netzringes.

**ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЕ ОПТИМАЛЬНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ — СТРОИТЕЛЬСТВО ЗАМКНУТОЙ СЕТИ**

В работе разработана проблематика строительства замкнутой распределительной сети в городских районах. Проблема рассматривается как проблема снабжения. Для решения проблемы используется алгоритм обслеования для определения района снабжения питающих кабелей и алгоритм Лина для решения проблемы оптимального соединения одного кольца.

Naslov pisca:

**Dr. Slavko Krajcar, dipl. inž.  
Elektrotehnički fakultet,  
41000 Zagreb, Unska 17,  
Yugoslavia**

Uredništvo primilo rukopis:  
1990-04-11

# TENDENCIJE RAZVOJA ISTOSMJERNIH VISOKONAPONSKIH SISTEMA

Boris Markovčić, Zagreb

UDK 621.3.051.024

PREGLEDNI RAD

Visokonaponski istosmjerni sistemi danas su sve brojniji, a područje njihove primjene sve se više širi. Nakon uvođenja tiristorskih ventila sredinom sedamdesetih godina sva osnovna pitanja takvih sistema su riješena, pa su daljnja nastojanja u razvoju težila povećanju pouzdanosti, sniženju cijene uređaja i proširenju primjene. Koje su današnje tendencije razvoj, izneseno je u članku.

**Ključne riječi:** istosmjerna tehnika visokog napona, istosmjerni sistemi, razvoj prijenosa električne energije.

## UVOD

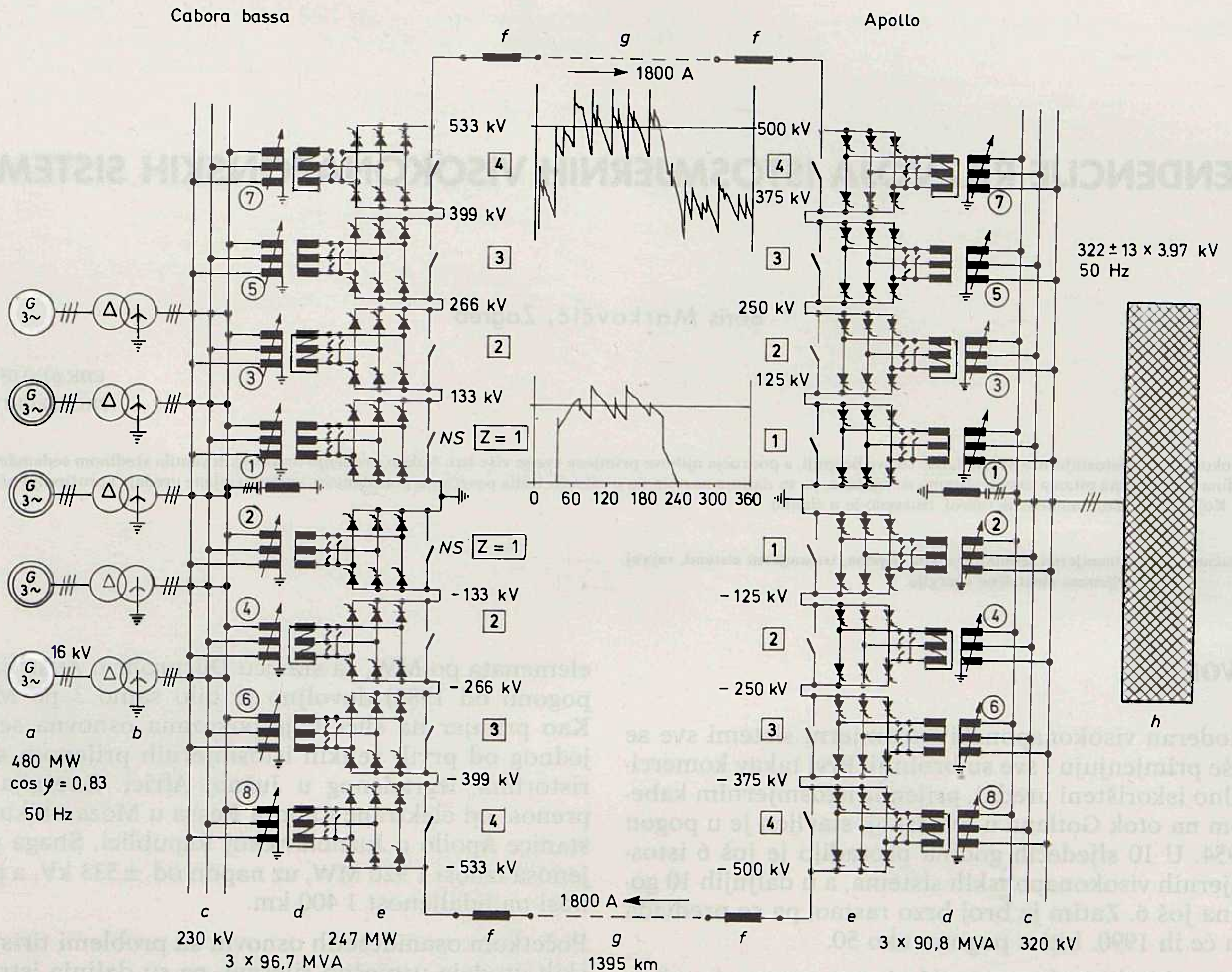
Moderan visokonaponski istosmjerni sistemi sve se više primjenjuju i sve su brojniji. Prvi takav komercijalno iskorišteni uređaj, prijenos istosmjernim kablom na otok Gotlana u Švedskoj, stavljen je u pogon 1954. U 10 sljedećih godina proradilo je još 6 istosmjernih visokonaponskih sistema, a u daljnjih 10 godina još 6. Zatim je broj brzo rastao, pa se predviđa da će ih 1990. biti u pogonu oko 50.

Istosmjerni visokonaponski sistem mogao je ući u komercijalnu upotrebu tek kad su riješeni osnovni problemi upravljivih živinih usmjerivačkih ventila i odgovarajući sistem regulacije. Živin usmjerivač pronađen je još 1903, ali tek umetanjem rešetke (1930) usmjerivač je postao upravljiv i mogao je služiti kao usmjerivač, tj. istosmjernu struju presmjeravati u izmjeničnu. To je, naime bilo nužno za rad prijemnog terminala. Da se pak mogu prenositi dovoljno velike snage, usmjerivački ventili morali su imati visoke zaporne napone. To je omogućeno konstrukcijom uređaja za ujednačenje gradijenta potencijala između anode i rešetke, razvijenom u Švedskoj tvrdci ASEA. Ta je tvrtka izgradila praktički sve živine visokonaponske usmjerivače u svijetu prije uvođenja tiristora. Posljednje živine usmjerivače ugrađene u neki visokonaponski istosmjerni sistem montirala je tvrtka ASEA u Americi (Pacific Intertie) početom sedamdesetih godina, a imali su ventile zapornog napona 133 kV, uz struju od 1200 A. Sredinom sedamdesetih godina počinju se primjenjivati tiristorski ventili kod kojih nema problema povratnih paljenja, a omogućili su niže investicije i sigurniji pogon. Prvi tiristori ugrađeni su 1970. pokusno u već spomenuti prijenosni sistem na otok Gotlandu, a zatim 1972. u stanicu Eal River u SAD. Svi zatim igradeni istosmjerni sistemi imali su tiristorske ventile, a razvojem tiristorskih elemenata sve ih je manje bilo potrebno po MW snage ventila. Dok je za istosmjerni prijenos Cabora Bassa I (u pogonu od 1977) trebalo 38 tiristorskih

elemenata po MW, za stanicu Dürnrrohr u Austriji (u pogonu od 1983) dovoljno je bilo samo 3 po MW. Kao primjer na slici 1. je pokazana osnovna sema jednog od prvih velikih istosmjernih prijenosa s tiristorima, izgrađenog u Južnoj Africi. Energija se prenosi od elektrane Cabora Bassa u Mozambiku do stanice Apollo o Južnoafričkoj Republici. Snaga prijenosa iznosi 1 920 MW, uz napon od  $\pm 533$  kV, a prenosi na udaljenost 1 400 km.

Početak osamdesetih osnovni su problemi tiristorskih uređaja uspješno riješeni, pa su daljnja istraživanja usmjerena na povećanje pouzdanosti pogona, sniženje investicija i proširenje primjene istosmjerne visokonaponske tehnologije. To je problematika koju danas razrađuju stručnjaci ovog područja i predmet su diskusije na stručnim skupinama i raspravama u stručnoj literaturi. Prvenstveno se analiziraju pogonska iskustva postojećih uređaja, kako bi se povećala pouzdanost istosmjernih sistema i njihovih elemenata. Premda su takvi uređaji u principu jednaki, vrlo su specifični razlozi njihove gradnje, tipovi ugrađenih elemenata, kao i prilike pogona u trofaznoj mreži u koju su integrirani. Činjenica je da se raspoloživost istosmjernih visokonaponskih sistema stalno povećava. Dok je 1986. srednja raspoloživost bila oko 81%, dvadeset godina kasnije ona kod većine uređaja dosiže gotovo 100%. Usavršavaju se metode za računanje pouzdanosti, jer ipak treba imati na umu da je broj istosmjernih visokonaponskih sistema razmjerno malen, a svaki je za sebe specifičan pa je statistička obrada otežana.

Istosmjerni napon prvog prijenosa (Gotland) iznosio je 100 kV jednopolno, dok je najveći prijenosni napon danas  $\pm 600$  kV (Brazil). U Sovjetskom Savezu već je dugi niz godina u gradnji istosmjerni prijenos  $\pm 750$  kV, ali još uvijek nije u pogonu, pa se o tom naponu ne može govoriti kao osvojenom. Postavlja se, međutim, pitanje primjene još viših istosmjernih napona. Da li su oni potrebni i da li su tehničko-ekonomski mogući? Kako u prostranstvima Amerike, Af-



Slika 1.

rike i Azije ima još mnogo neiskorištenih vodnih snaga, udaljenih od mjesta potrošnje, u izgledu je prijenos velikih snaga na velike daljine gdje bi došli u obzir ultravisoki istosmjerni naponi. Naprimjer, u Brazilu trebalo bi od sjevera prema jugoistoku i istoku zemlje, na daljine do 2 400 m, prenositi snage od desetak GW. Zbog toga su posljednjih godina mnogo studirane mogućnosti izvedbe istosmjernih sistema u naponskom rasponu  $\pm 600$  kV do  $\pm 1\,200$  kV. Osobito su istraživana ova područja:

- ponašanje vanjske izolacije za lošeg vremena, korona, inonizacija i djelovanje na okoliš
- ponašanje unutarnje izolacije u ulju, papiru i plinu, posebno u vezi transformatora
- ograničenje s obzirom na prenapone i mogućnosti odvodnika prenapona
- ekonomska ograničenja.

Danas prevladava mišljenje da su istosmjerni visokonaponski sistemi tehnički izvedivi do  $\pm 800$  kV, ali su poželjna još neka istraživanja kako bi uređaji bili što ekonomičniji. Rješenja konstrukcija usmjerivačkih stanica za  $\pm 1\,000$  kV mogla bi biti izvediva, premda nije riješen problem transformatora i vanjske izolacije, a ostaje i pitanje ekonomičnosti konstrukcije. Zasada se čini nemogućim konstruirati stanicu

$\pm 1\,200$  kV. Ako bi istraživanja išla tim putem, teško je bilo što predvidjeti bez bitne primjene novih tehnologija. Što se pak tiče kabelskog prijenosa pod morem, treba reći da je danas najviši pogonski istosmjerni napon kabela u pogonu 270 kV, na vezi Francuska — Engleska ( $2 \times 1\,000$  MW). Istražuju se mogućnosti do 400 kV, a smatra se da bi granica mogla biti 500 kV. Zbog inače vrlo dobrih osobina mnogo se radi na ispitivanju primjene plastičnih kabela za visoke istosmjerne napone, no sada rezultati nisu zadovoljavajući. Kako je istosmjerni sistem na svoja dva kraja vezan na trofaznu mrežu, međusobni utjecaji tih dvaju sistema veoma su važno područje proučavanja i ispitivanja. Istražuju se mogućnosti što boljeg prigušenja viših harmonika u oba sistema, podsinhronske oscilacije i ponašanje u prijelaznim režimima, osobito pri kratkom spoju. Posebno su takve pojave zanimljive na paralelnim vezama bilo dvaju istosmjernih sistema, bilo istosmjernog i trofaznog sistema. Umetanje istosmjerne veze u trofaznu mrežu ne samo da povećava njezine prijenosne mogućnosti već mnogo pridonosi povećanju stabilnosti i smanjenju oscilacija snage, osobito nakon kratkog spoja. Primjeri postojećih istosmjernih i trofaznih paralelnih veza su Pacific Intertie i veza otoka Vancouvera s kopnom. Prvi, dug 1360 km, između Portlan-

da (Oregon) i Los Angelesa (Kalifornija), u pogonu je od 1970, dograđen je 1985, napon mu je  $\pm 500$  kV i prijenosne snage 2 000 MW. Za otok Vancouver položena su dva istosmjerna kabela (dva pola)  $\pm 260$  kV, prijenosne snage 680 MW paralelno su dva trofazna kabela 132 kV, a u gradnji je i trofazni kabel 500 kV. Slične se interpolacije projektiraju u Indiji, a razmatra se primjena i u drugim zemljama. Posebno treba istaknuti Sovjetski Savez koji u planovima za igradnju jedinstvenog elektroenergetskog sistema mnogo pažnje posvećuje upravo ulozi paralelnih veza. Naprimjer, predviđa se paralelni rad trofaznog voda ultravisokog napona od 1 200 kV Bernaul — Ural s istosmjernim vodom  $\pm 750$  kV Ekibastus — Centar.

Za povećanje i studij međusobnih utjecaja u najnovije se vrijeme sve više koristi digitalno modeliranje, pa se na skupovima mnogo diskutira o takvim metodama i njihovoj praktičnoj primjeni.

Mogućnost upotrebe istosmjernih visokonaponskih veza samo sa dva krajnja terminala ograničila je njihovu još širu primjenu u električnim mrežama. Sistemi s više terminala već se dulje proučavaju, a kao prvi takav pokusni uređaj umetnut je treći terminal u postojeću istosmjernu vezu Italija — Korzika — Sardinija, duljine 413 km, od toga 121 km podmorskog kabela. Taj prijenos ušao je u pogon 1967. s terminalom u Italiji i Sardiniji, dok je umetnuti treći terminal na Korzici, snage 50 MW, proradio 1985. Osnovni problem višeterminalnih sistema svakako je regulacija.

U gradnji je istosmjerni sistem sa 5 terminalnih stanica na istočnom dijelu Kanade i SAD. Postojeća veza između stanice Des Cantons u Kanadi (Quebec) i stanice Camerford u SAD, napona  $\pm 450$  kV, dobit će sjeverno kraj zaljeva James Bay istosmjernu stanicu Radisson snage 2250 MW,  $\pm 500$  kV, u pogonu 1990. Južno pak u SAD (Massachusetts) izgradit će se stanica Sandy Pond snage 1 800 MW,  $\pm 450$  kV. Konačno, 1992. planira se ulazak u pogon stanice Nicolet u Kanadi, kraj Quebec Citya, snage 2 138 MW. Sistem od 7 terminalnih stanica planira se na zapadu SAD. Pod multiterminalnim istosmjernim sistemom podrazumijeva se sistem s tri ili više stanica snage sličnog reda veličine, dok su posebni problem energetski otcjepi male snage. Kako upravo istosmjerni visokonaponski sistem ima tehničke i ekonomske prednosti pri prijenosu velikih snaga na velike udaljenosti, istosmjerni vodovi najčešće prolaze rijetko naseljenim područjima, gdje bi dobava potrebnih malih količina energije riješila pitanje elektrifikacije. Taj se problem intenzivno poučava, ali još nisu nađena pogodna rješenja. U obzir dolazi serijska i paralelna ugradnja usmjerivača u istosmjerni vod. S obzirom na malu snagu koja bi se uzimala, red veličine oko 1% pune snage prijenosa, uređaji moraju imati povoljnu cijenu, tj. nisku cijenu po jedinici snage kako bi bili konkurentni s drugim vrstama lokalnih izvora. Osim toga, utjecaj na pouzdanost glavnog prijenosa mora biti zanemariv. Prema dosadašnjim istraživanjima čini se da bi serijska veza imala prednost, premda praktičkih izvedbi još nema. Zanimljivo je još navesti da se u SSSR-u studira izgradnja istos-

mjernih prijenosnih sistema male snage oko 3 MW do 10 MW. Takvi bi se uređaji primijenili u područjima Dalekog istoka i otoka Sahalina. Tamo su krajevi teško dostupni s ekstremnim prirodnim uvjetima i potrebama malih snaga, na razmjerno velikim razdaljinama. Predlaže se da se neke postojeće veze vodovima i kablama 10 kV pregrade na istosmjernu struju, i time poveća njihova prijenosna moć.

Proučavaju se i druga područja primjene visokonaponske istosmjerne tehnike, npr. izvedba istosmjernog transformatora koji bi služio za promjenu istosmjernog naponskog nivoa pri prijelazu istosmjernog visokonaponskog nadzemnog voda u kabel i obrnuto. Nadalje se razmatra direktna blok-veza generator-usmjerivački transformator, gdje se ispušta generatorski transformator. Otpadaju pripadne sabirnice, a ne bi bili potrebni niti filtri. Generator može raditi na najoptimalnijoj frekvenciji, odnosno različitoj frekvenciji kad radi kao generator ili motor, npr. u pumpnoakumulacionoj hidroelektrani. Tako se najbolje može prilagoditi vodnim režimima i pogonskim prilikama. U mnogim slučajevima planiranja velikih prijenosa električne energije studiraju se alternative ima li prednost trofazni ili istosmjerni sistem. Takve se studije često iznose na stručnim skupovima te se izlažu metode kako se nastojalo doći do najpovoljnijeg rješenja. Pritome uz usporedbu investicija važna je usporedba pouzdanosti, gubitaka te ekoloških i specifičnih uvjeta. Na simpoziju CIGRE u Bostonu (1987) nekoliko se referata bavilo ovom problematikom, a osobito treba istaknuti kanadski, indijski i kineski. To su zemlje velikih prostranstava s dalekim prijenosima velikih električnih snaga, pa su vrlo zainteresirana za optimalna rješenja. U svim fazama planiranja i projektiranja potrebno je voditi brigu o svim specifičnostima postojećeg elektroenergetskog sistema i budućim međusobnim utjecajima. O takvim pojavama vrlo korisna saznanja daje digitalno modeliranje, pa je posljednjih godina razvojni rad na takvim metodama vrlo intenzivan. Kako je upravljanje bitni element svakog istosmjernog sistema, upravo digitalnim modeliranjem može se doći do optimalnih rješenja.

Osim općih koncepcija istosmjernog visokonaponskog sistema, razvijaju se i usavršavaju pojedini njegovi elementi. Ovdje svakako treba istaknuti digitalizaciju regulacije i primjenu mikroprocesorske tehnike. Nalozi za paljenje ventila prenose se kablama sa staklenim vlaknima. Da bi se u slučaju kvara što brže uspostavio pogon npr. za 100 ms, dakle bitno brže nego što se postiže blokiranjem usmjerivača i ponovnim stavljanjem pogona nakon gašenja luka, razvijaju se istosmjerni prekidači. Oni bi se ugradili u istosmjerni vod u krajnim stanicama i bitno bi povećali pouzdanost istosmjernog sistema. U SAD, u stanici Celilo, prijenosnog sistema Pacific Intertie, ispitan je istosmjerni prekidač koji prekida 2 000 A pri 500 kV s potpunim uspjehom. Unatoč tome što je posljednjih petnaestak godina postignut velik uspjeh u proizvodnji tiristora velike snage, još uvijek se radi na daljnjem usavršavanju, kako bi cijena usmjerivača bila što povoljnija, čime se znatno povećava kon-

kurentnost istosmjernog sistema. Laboratorijski je već uspjelo izraditi tiristorske elemente zapornog napona 8 kV, pri struji od 4 kA.

U pogledu filtra za prigušenje viših harmonika nastoji se proizvesti što bolje konstrukcije da se izbjegnu rezonancije i smanje smetnje na komunikacijskim vodovima, kao i na radiovezama. Kako usmjerivačka stanica traži 50 do 60% jalove snage u usporedbi s aktivnom, mora imati i odgovarajuće izvore. Oko 65% tih potreba daju filtri viših harmonika, a ostalo može dati mreža ako je dovoljno jaka. Najčešće treba ugraditi kompenzacione uređaje. Danas se još uvijek diskutira o mjerama za regulaciju napona i dobavu jalove snage. Da li regulirati usmjerivačke transformatore, ugraditi sinhronne ili statičke kompenzatore ili kondenzatore? Naravno da su važan faktor u odluci prilike normalnog i poremećenog pogona i stanje elektroenergetskog sistema u cjelini. Npr., istosmjerna veza Francuska — Engleska snaga  $2 \times 1\,000$  MW ima 8 instaliranih filtara po 130 MVA, 2 statička kompenzatora  $\pm 150$  MVA i reaktor 200 MVA na 400 kV.

Na kraju trebakonstatirati da su se u posljednjih 15 godina brzog razvoja tiristora znatno smanjile cijene istosmjernih stanica, dok su cijene materijala za trofazna postorjenja znatno porasle. Ta je činjenica pridonijela da se kritična daljina prijenosa, u kojem je istosmjerni sistem konkurentan trofaznom, znatno smanjila.

Osim cijene tehničke su prednosti istosmjernih prijenosa sve važnije kao mogućnost prigušenja oscilacije i održanje napona u trofaznoj mreži pomoću kontrolno-upravljačkih uređaja istosmjernog dijela. Te tehničke prednosti dobivaju posebnu važnost pri spajanju mreža male snege ili pri paralelnom radu trofaznog i istosmjernog sistema. No valorizacija u usporedbi obiju sistema još je uvijek predmet diskusije.

## LITERATURA

- [1] Rapports Groupe 14, Session CIGRE 1980, 1982, 1984, 1986, 1988.
- [2] AC/DC Transmission interactions and comparisons CIGRE Symposium Boston 1987.
- [3] Compendium of HVDC shemes throughout the World CIGRE Paris 1987.

- [4] Sovešćenje 100 predačam postojanovo toka maloj mošanosti, Električeskie stancii God. 1981, br. 1
- [5] MARKOVČIĆ B., »Prijenos velikih snaga istosmjernim sistemom vrlo visokog napona«, Energija God. X(1961), br. 9–10
- [6] MARKOVČIĆ B., »Razvoj i tendencije prijenosa velikih snaga«, Energija XX(1971), br. 5–6
- [7] MARKOVČIĆ B., »Sto godina istosmjernog prijenosa«, Energija God. XIX (1980) br. 9–10
- [8] KALEA M., »Prijenos električne energije istosmjernom strujom visokog napona u svijetu danas«, Energija God. XIX (1980), br. 9–10

## DEVELOPMENT TENDENCIES OF HV SYSTEMS

HV DC systems are now-a-day in a wide application. After the use of thyristors in the seventies, all base problems are solved and efforts are made on the field of reliability, price reduction and application. In the article is discussed about development tendencies of HV systems.

## ENTWICKLUNGSTENDENZEN DER GLEICHSTROMIGEN HOCHSPANNUNGSSYSTEME

Hochspannungssysteme sind heute zahlreich, und ihre Anwendungsbereiche erweitern sich. Nach der Einführung der tiristorischen Ventile Mitte der siebziger Jahre wurden alle Grundfragen solcher Systeme gelöst und alle anderen Bemühungen bezüglich der Entwicklung gehen in Richtung einer grösseren Zuverlässigkeit, Preissenkung der Anlagen und Erweiterung der Anlage. Im Artikel sind die heutigen Entwicklungstendenzen beschrieben. Schlüsselworte: Gleichstrom Hochspannungstechnik, Gleichstromsysteme, Entwicklung der Übertragung der elektrischen Energie.

## УСТРЕМЛЕННОСТЬ РАЗВИТИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СИСТЕМ ПОСТОЯННОГО НАПЯЖЕНИЯ

Высоковольтные системы постоянного напряжения теперь все многочисленнее, а территория их применения все больше простирается. После введения тиристорных вентилях в середине семидесятых годов были решены все основные вопросы таких систем, и занрем дальнейшие заботы о развитии стремились к повышению надежности, понижению стоимости оборудования и повышению применения. В статье представлены нынешние направления развития.

Naslov pisca:

**Boris Markovčić, dipl. inž.**  
**41000 Zagreb, Vojnovičeva 26,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis  
1990-05-21



# TEHNO-EKONOMSKI PRISTUP DIMENZIONISANJU NADZEMNIH PRENOSNIH VODOVA

Mr. Nikolovski Srete, Borovo — Mravak Ivan, Vukovar

UDK 621.315.1.005  
PREGLEDNI RAD

U članku je prikazan tehno-ekonomski metod za određivanje preseka i napona nadzemnih prenosnih vodova. Prikazano je od kojih parametara potrošača i karakteristika nadzemnog voda zavisi ekonomski presek i optimalni napon voda.

**Ključne riječi:** nadzemni prenosni vodovi, tehnoekonomski pristup, dimezionsanje.

## 1. UVOD

Nadzemni vod, kao element elektroenergetskog sistema, služi za prenos električne energije od izvora do potrošača, kao i za vezu između pojedinih delova elektroenergetskog sistema. Kada su u pitanju najviši naponi (110, 220, 380 kV), koriste se nadzemni vodovi, iako u svetu postoji tendencija korišćenja kablova najvišeg napona za napajanje gusto naseljenih gradskih zona (tz. duboki uvod). Razlog za korišćenje nadzemnih vodova, je pre svega u tome što su za ceo red veličina niži specifični troškovi u odnosu na kablove najviših napona i još nedovoljno šire proverena kablovska tehnika za najviše napone.

Za ekonomsko-racionalni prenos električne energije potrebno je odrediti optimalne parametre nadzemnog voda (ekonomski presek, ekonomska gustina struje, optimalni napon, ekonomski stepen iskorišćenja prenosa električne energije), tako da ukupni godišnji troškovi prenosa električne energije nadzemnih vodova budu minimalni.

Pri projektiranju i eksploataciji nadzemnih prenosnih vodova, sve više se uvažavaju ekonomski kriterijumi kao osnov za optimizaciju parametara nadzemnog voda. U ovom članku dati su osnovni tehnoekonomski pokazatelji nadzemnog voda.

## 2. EKONOMSKI PRESEK NADZEMNOG VODA

Osnovni optimizacioni problem može se definisati na sledeći način:

Potrebno je preneti prividnu snagu ( $S$ ) na poznato rastojanje ( $L$ ) nadzemnim vodom od aluminijum-čeličnog užeta i odrediti optimalni napon i presek (ili gustinu struje) tog voda.

Problem se može proširiti i na određivanje optimalnog broja vodova i broja provodnika u snopu nadzemnog voda.

Izborom voda većeg preseka i višeg napona, povećavaju se investicioni troškovi a smanjuju troškovi gubitaka i obrnuto.

Pri nekom optimalnom naponu i preseku imaju se minimalni godišnji troškovi nadzemnog voda.

Investicioni troškovi trofaznog nadzemnog voda, po jedinici dužine, pokazuju praktično linearnu zavisnost od napona i preseka u širem opsegu i dati su izrazom (1):

$$I_v = a_v + b_v U + c_v s \quad (1)$$

gde su:

$I_v$  — investicioni troškovi nadzemnog voda po jedinici dužine (din/km)

$a_v$  — konstantni deo troškova koji obuhvata i troškove pripreme zemljišta i trase (din/km)

$b_v$  — deo troškova koji zavisi od nominalnog napona voda (din/km, KV)

$c_v$  —  $c \sqrt[4]{n}$  deo troškova koji zavisi od preseka voda (din/km, mm<sup>2</sup>)

$n$  — broj provodnika u fazi (snopu)

$U$  — nominalni napon nadzemnog voda

$s$  — presek nadzemnog voda

Promenljivi deo troškova se odnosi na troškove »džulovih« gubitaka u vodu pri maksimalnom opterećenju i dati su izrazom (2):

$$T_g = \frac{\rho L}{s} \left( \frac{S}{U} \right)^2 \tau \cdot C_c \quad (2)$$

gde je:

$\rho$  — specifična otpornost materijala provodnika Al-Če ( $\Omega$  mm<sup>2</sup>/km)

$L$  — dužina nadzemnog voda (km)

$s$  — presek nadzemnog voda (mm<sup>2</sup>)

$S$  — prividna snaga koja se prenosi vodom (KVA)

$U$  — liniski napon nadzemnog voda (KV)

$\tau$  — ekvivalentno trajanje maksimalnih gubitaka (h/god.)

$C_e$  — troškovi 1 kWh električne energije (d/kWh)

Gubici su u izrazu (2) iskazani za sve tri faze, s obzirom na trofaznu snagu ( $S$ ) i linijski napon ( $U$ ).

Ukupni godišnji troškovi voda dati su izrazom (3), gde je prvi član konstantni deo troškova a drugi promenljivi deo troškova

$$T_v = I_v \cdot L \cdot p_v + T_g \quad (3)$$

gde je:

$p_v$  — godišnja stopa nadzemnog voda, anuitet

Za ukupne godišnje troškove trofaznog nadzemnog voda, imamo izraz:

$$T_v = (a_v + b_v U + c_v s) \cdot L \cdot p_v + \frac{\rho L}{s} \left( \frac{S}{U} \right)^2 \cdot \tau \cdot C_e \quad (4)$$

Izjednačavajući parcijalne izvode godišnjih troškova po preseku i po naponu sa nulom, mogu se odrediti ekonomski presek (gustina struje) i optimalni napon, koji odgovaraju minimumu ukupnih godišnjih troškova nadzemnog voda.

$$\frac{\partial T_v}{\partial s} = 0 \quad \left| \begin{array}{l} s = s_{ek} \\ \Delta = \Delta_{ek} \end{array} \right. \quad (4a)$$

$$\frac{\partial T_v}{\partial U} = 0 \quad \left| \begin{array}{l} U = U_{opt} \end{array} \right. \quad (4b)$$

Opštiji pokazatelj nadzemnog voda od ekonomskog preseka je ekonomska gustina struje, jer ne zavisi od opterećenja voda. Izraz (5) za ekonomsku gustinu struje dobija se iz jednadžbe (4a):

$$\Delta_{ek} = \sqrt{\frac{c_v p_v}{3 \rho \tau c_e}} \quad (5)$$

Za ekonomski presek se dobije izraz (6):

$$s_{ek} = \frac{I}{\Delta_{ek}} = \frac{s}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \Delta_{ek}} \quad (6)$$

Analiza izraza za ekonomsku gustinu struje nadzemnog voda, pokazuje da ona ne zavisi od dužine voda niti od uslova na krajevima voda, ali zavisi od specifične otpornosti Al-Če užeta, od vremena trajanja maksimalnih gubitaka u bakru i od cene električne energije.

Smanjenjem ova tri parametra, utičemo na povećanje ekonomske gustine voda a time smanjujemo ekonomski presek voda.

U tabeli (1a) date su vrednosti za ekonomske gustine struje nadzemnih i kablovskih vodova, iz literature [4].

U tabeli (1b) dati su rasponi za vrednosti ekonomske gustine struje, po literaturi [4] iz SSSR-a.

Jasno je da se ovaj parametar proverava u odnosu na termičku izdržljivost voda i mora važiti relacija:

$$\Delta_{ek} \leq \Delta_{term}$$

gde je:

$\Delta_{term}$  — termički trajno dozvoljena gustina struje (A/mm<sup>2</sup>)

Tabela 1.a

Provodnici	Ekonomska gustina struje $\Delta_{ek}$ [A/mm <sup>2</sup> ]		
	Vreme trajanja vršne snage $T_{max}$ (h)		
	1000–3000	3000–5000	5000–8760
Neizolirani provodnici			
Bakar	2,5	2,1	1,8
Aluminijum	1,3	1,1	1
Kablovi s papirnom izolac. i izolacijom provodnika od gume i PVC			
Bakar	3	2,5	2
Aluminijum	1,6	1,4	1,2
Kablovi s izolacijom od gume i izolacijom provodnika od plastične mase			
Bakar	3,5	3,1	2,7
Aluminijum	1,9	1,7	1,6

Tabela 1.b

Napon voda [KV]	750	500	330	220	110
Ekonomska gustina struje [A/mm <sup>2</sup> ]					
Najveća	1,0	1,5	2,0	3,0	3,5
Srednja	0,5	0,6	0,9	1,1	1,2

Odabrani ekonomski presek proverava se i na termička naprežanja u kratkom spoju, proveravaju se gubici i padovi napona, mehanička izdržljivost i uslovi korone.

### 3. OPTIMALNI NAPON NADZEMNOG VODA

Za određivanje optimalnog napona nadzemnog voda koristi se izraz za ukupne godišnje troškove nadzemnog voda i relacija (4b):

$$\frac{\partial T_v}{\partial U} = b_v \cdot L_v \cdot p_v - 2 \frac{\rho \cdot L_v}{s} \cdot \frac{s^2}{U^3} \cdot \tau \cdot c_e = 0 \quad (7)$$

iz koje se dobija izraz za optimalni napon nadzemnog voda

$$U = \sqrt{\frac{2 \sqrt{3} \cdot S \cdot \rho \cdot \Delta \cdot \tau \cdot C_e}{b_v p_v}} \quad (8)$$

Zamenom izraza (5) za ekonomsku gustinu struje  $\Delta = \Delta_{ek}$  u relaciji (8) za optimalni napon, dobija se

$$U_{opt} = \sqrt{\frac{2 S \cdot C_v}{\sqrt{3} \cdot \Delta_{ek} \cdot b_v}} \quad (9)$$

Analiza s brojnim vrednostima relacije (9) pokazuje da je optimalni napon nešto malo veći od napona pri kojem snaga prenosa postaje jednaka »prirodnoj snazi voda«.

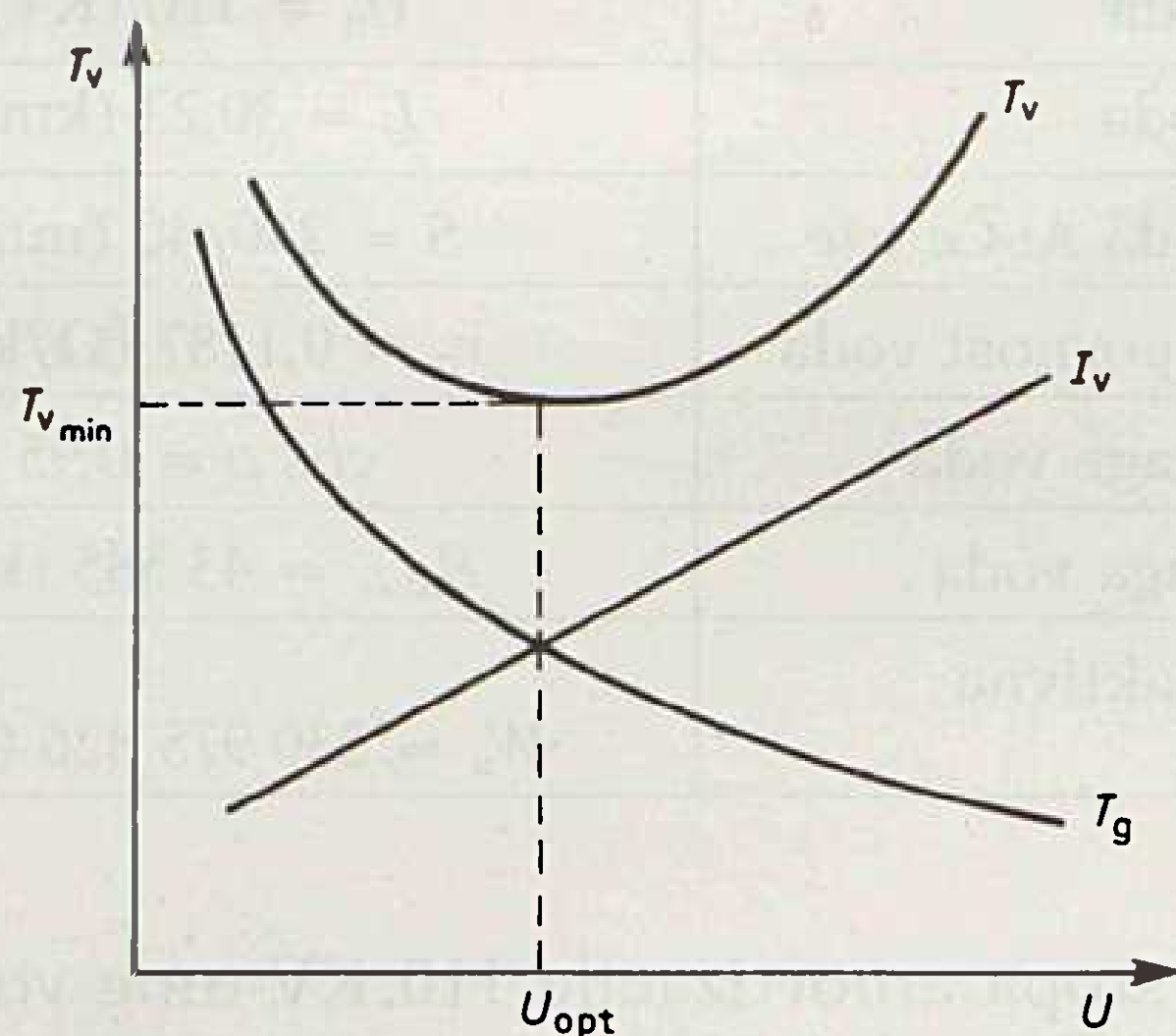
U inostranoj literaturi [2], [3] date su približne relacije za optimalni napon koje nose u sebi specifičnosti tih zemalja i uticaje različitih faktora:

$$\begin{aligned} \text{SR Njemačka} & U = 3\sqrt{S} + 0,5 L \\ \text{USA} & U = 4,34\sqrt{L + 16 P} \\ \text{SSSR} & U = 1,6\sqrt{P L} \\ \text{Švedska} & U = 17\sqrt{\frac{L}{16} + P} \\ \text{SSSR} & U = \frac{1000}{\sqrt{500/L + 2500/P}} \end{aligned}$$

gde je:

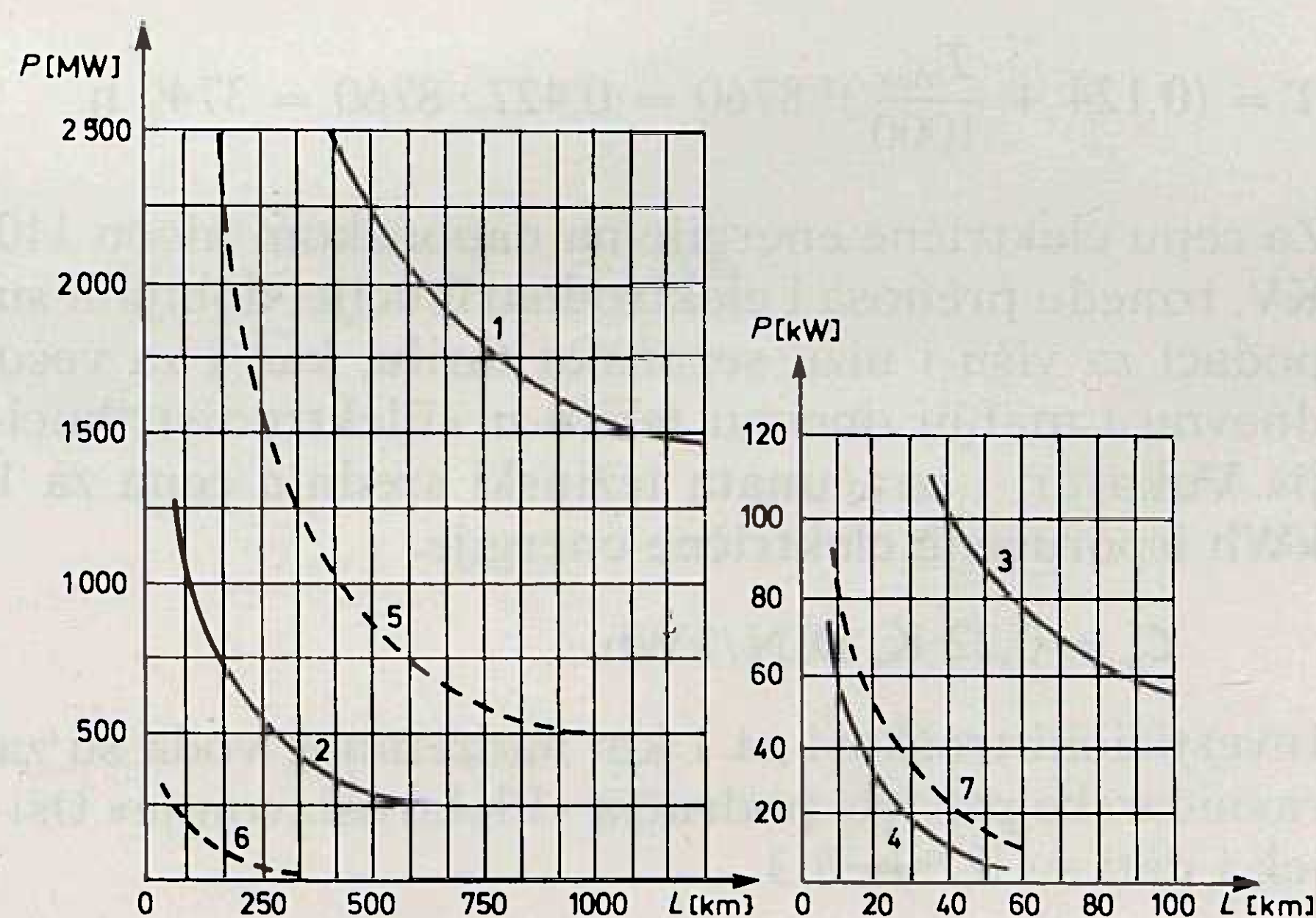
$S$  — prividna snaga prenesena vodom (MVA)  
 $P$  — aktivna snaga prenesena vodom (MW)  
 $L$  — dužina voda (km)

Na slici 1, data je funkcionalna zavisnost ukupnih godišnjih troškova i njegovih komponenta od napona voda.



Slika 1. Funkcionalna zavisnost ukupnih godišnjih troškova nadzemnog voda od napona  $T_v = f(U)$

Vrednost napona, određena tehno-ekonomskim proračunom se proverava kod nadzemnih vodova viših napona na uticaj korone, jer gubici usled korone nisu zanemarljivi, proveravaju se padovi napona i gubici u vodu.



- |                    |                   |
|--------------------|-------------------|
| 1. 1150 KV, 500 KV | 5. 750 KV, 330 KV |
| 2. 500 KV, 220 KV  | 6. 750 KV, 150 KV |
| 3. 220 KV, 110 KV  | 7. 150 KV, 35 KV  |
| 4. 110 KV, 35 KV   |                   |

Slika 2. Krive optimalnog napona nadzemnih vodova, po lit. [4]

Optimalni napon, kao parametar, ograničen je u izboru nizom standardnih vrednosti napona nadzemnih vodova, tako da ne ostavlja velike mogućnosti za optimizaciju.

Na slici 2, prikazane su oblasti primene optimalnog napona nadzemnih vodova za određene dužine i prenosne snage vodova. Krive predstavljaju granice ekonomičnosti za pojedine napone.

#### 4. EKONOMSKI KOEFICIJENT ISKORIŠĆENJA PRENOSA NADZEMNOG VODA

Relacija za ukupne godišnje troškove nadzemnog voda, omogućuje nam da odredimo i koji je to najekonomičniji prenos električne energije jednim nadzemnim vodom, koliki su minimalni godišnji troškovi prenosa i šta na njih utiče.

Godišnji troškovi prenosa električne energije vodom po isporučenom kWh, iznose:

$$TV_{\text{kwh}} = \frac{I_v \cdot L \cdot p_v}{P \cdot T_{\text{max}}} + \frac{\rho \cdot L}{s} \frac{P^2}{U^2 \cdot \cos^2 \gamma} \frac{\tau \cdot C_e}{P \cdot T_{\text{max}}} \quad (10)$$

Sređivanjem relacije 10, dobijemo izraz:

$$T_v = \frac{I_v \cdot L \cdot p_v}{P \cdot T_{\text{max}}} + \frac{P_g \cdot \tau \cdot C_e}{P \cdot T_{\text{max}}} \quad (11)$$

gde je:

$P_g$  — snaga gubitaka voda pri maksimalnom režimu

$P$  — maksimalna prenesena aktivna snaga

$T_{\text{max}}$  — vreme trajanja maksimalne snage

Snaga gubitaka u vodu data je sa:

$$P_g = r_o \cdot L \frac{P^2}{U^2 \cdot \cos^2 \rho} \quad (12)$$

gde je:

$r_o$  — otpornost po jedinici dužine nadzemnog voda  $\left(\frac{\Omega}{\text{km}}\right)$

$\cos \rho$  — pretpostavljeni faktor snage voda

$U$  — linijski napon voda

Uvođenjem u relaciju za godišnje troškove voda stepen iskorišćenja prenosa snage  $\eta_v$  koji je dat izrazom

$$\eta_v = \frac{P}{P_1} = \frac{P}{P + P_g} \quad (13)$$

i koristeći relaciju (12) za prenesenu snagu vodom, dobijemo

$$P_g = \frac{U^2 \cdot \cos^2 \rho}{r_o \cdot L} \frac{1 - \eta_v}{\eta_v} \quad (14)$$

Zamenom (14) i (15) u relaciju za godišnje troškove (11), dobije se izraz za godišnje troškove voda

$$T_{\text{v kWh}} = \frac{I_v \cdot L^2 \cdot p_v \cdot r_o}{U^2 \cdot \cos^2 \rho \cdot T_{\text{max}}} \cdot \frac{\eta_v}{1 - \eta_v} + \frac{1 - \eta_v}{\eta_v} \cdot \frac{\tau \cdot C_e}{T_{\text{max}}} \quad (15)$$

Vrednost ekonomskog stepena iskorišćenja prenosa električne energije vodom, pri kojoj se imaju minimalni godišnji troškovi, dobija se izjednačavanjem

prvog izvoda godišnjih troškova elektroprenosa s nulom

$$\frac{\partial T_v}{\partial \eta_v} = 0 \quad \eta_v = \eta_{vek} \quad (16)$$

Rešenjem relacije (16), dobije se izraz za ekonomski stepen iskorišćenja voda

$$\eta_{vek} = \frac{L_k}{L + L_k} \quad (17)$$

gde je  $L_k$  — kriterijalna dužina koja je data izrazom

$$L_k = U \cdot \cos \rho \sqrt{\frac{\tau \cdot C_e}{I_v \cdot p_v \cdot r_o}} \quad (18)$$

Vod, čija je dužina jednaka kriterijalnoj, ima ekonomski stepen iskorišćenja  $\eta_{vek} = 0,5$ . Kako nam je interes da nam je što veći ekonomski stepen iskorišćenja prenosa voda, iz relacije (18) je vidljivo šta trebamo učiniti da bismo povećali kriterijalnu dužinu  $L_k$ . To je povećanje napona voda i povećanje faktora snage, smanjenje investicionih troškova voda, godišnje stope voda i otpornosti po jedinici dužine voda.

Povećanje kriterijalne dužine putem povećanja vremena vršnih gubitaka i cene isporučenog kWh se ne vrši, jer je veći uticaj na povećanje troškova po relaciji (19) nego smanjenje, jer su veličine pod korenom.

Ako u izraz za godišnje troškove voda (11), uvrstimo relaciju za  $\eta_{vek}$  i  $L_k$  dobijamo vrednost minimalnih godišnjih troškova prenosa električne energije kao

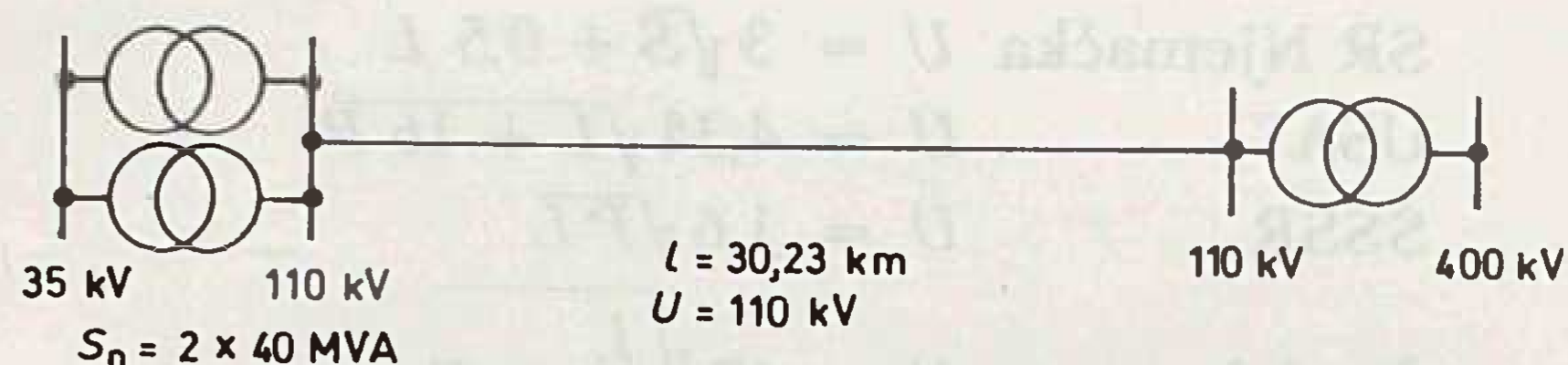
$$T_{vmin} = \frac{2 \cdot \tau \cdot C_e}{T_{max}} \frac{L}{L_k} \quad (19)$$

Očigledno je da na smanjenje troškova možemo uticati smanjenjem vremena trajanja vršnih gubitaka i cene 1 kWh električne energije, kao i povećanjem vremena iskorišćenja maksimalnog opterećenja (bolja popunjenost godišnjeg dijagrama opterećenja) i povećanje kriterijalne dužine. Na sve od ovih veličina ne može uticati projektant nadzemnog voda, ali može uticati na izbor takvih parametara koji će dati što veću kriterijalnu dužinu  $L_k$  (izbor napona, preseka, smanjenje gubitaka putem kompenzacije na krajevima voda i dr.).

Interesantan je pokazatelj, ekonomski koeficijent iskorišćenja prenosa za vodove koji su već u eksploataciji, kako bi poslužio za analizu prenosa električne energije s aspekta troškova prenosa stručnjacima u elektrodistributivnim organizacijama.

## 5. PRIMER PRORAČUNA

Za primer proračuna uzet je nadzemni vod 110 KV koji povezuje izvornu transformatorsku stanicu »Ernestinovo«, napona 400/100 (KV/KV) sa transformatorskom stanicom »Vukovar II«, napona 110/35 (KV/KV), snage  $2 \times 40$  MVA, koja napaja industrijski kompleks Kombinata »Borovo« i šire distributivno područje Borova naselja i Vukovara.



Slika 3. Shema nadzemnog voda 110 KV Ernestinovo – Vukovar II

Vod, prikazan na sl. 3, nalazi se u mreži »Elektroslavonije« Osijek a transformatorska stanica »Vukovar II« je u nadležnosti »Elektrodistribudije« Vukovar. Nadzemni vod je na čelično rešetkastim stubovima i ima karakteristike date u tabeli 2.

Tabela 2.

Napon voda	$U_n = 110$ (KV)
Dužina voda	$L = 30,23$ (km)
Presek voda Al-Če uže	$S = 240/40$ (mm <sup>2</sup> )
Omska otpornost voda	$r_o = 0,1187$ (Ω/km)
Faktor snage voda	$\cos \rho = 0,95$
Vršna snaga voda	$P_{max} = 43\ 585$ (kW)
Godišnja aktivna energija	$W_a = 230\ 975\ 826$ (kWh)

Godišnja stopa amortizacije 110 KV-tnog voda je  $P_a = 2,4\%$  a stopa održavanja  $P_o = 1\%$  i  $P_n = 9\%$ , uzeti su iz literature [1].

Na osnovu ukupne isporučene aktivne energije  $W_a$  i izmerene vršne snage  $P_{max}$ , izračunava se ekvivalentno trajanje vršne snage

$$T_{max} = \frac{W_a}{P_{max}} = \frac{230\ 975\ \text{MWh}}{43\ 585\ \text{MW}}$$

$$T_{max} = 5\ 300\ \text{h}$$

Iz literature [2] za ekvivalentno vreme trajanja vršnih gubitaka, dobija se

$$\tau = (0,124 + \frac{T_{max}}{1000})^2 \cdot 8760 = 0,427 \cdot 8760 = 3740\ \text{h}$$

Za cenu električne energije na naponskom nivou 110 KV, između prenosa i elektrodistribucije, dobijani su podaci za višu i nižu sezonsku tarifu, kao i za veću dnevnu i manju dnevnu tarifu u »Elektrodistribuciji« Vukovar, i izračunata težinski srednja cena za 1 kWh isporučene električne energije.

$$C_e = 0,22\ \text{K, DIN/kWh}$$

Investicioni troškovi za 1 km nadzemnog voda su za ravničarske predele područja »Elektroslavonije« Osijek i dati su u tabeli 3.

Tabela 3.

Investicioni troškovi voda	$U_n = 10$ KV	$U_n = 35$ KV	$U_n = 110$ KV
KDIN/km	600 000	950 000	1 200 000

Za dati nadzemni vod, ekonomska gustina struje usvojena iz tabele (1 a)  $\Delta_{ek} = 1,0 \text{ A/mm}^2$ , pa se za ekonomski presek provodnika dobije

$$s_{ek} = \frac{I_{max}}{\Delta_{ek}} = \frac{P_{max}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \rho} = \frac{43\,585}{1,73 \cdot 110 \cdot 0,95 \cdot 1,0} = 241,08 \text{ mm}^2$$

Ekonomski presek voda je vrlo blizak stvarno odabranom preseku nadzemnog voda od  $240 \text{ mm}^2$ . Da bi se odredio ekonomski stepen iskorišćenja prenosa vodom, odredit ćemo kriterijalnu dužinu voda po relaciji (18).

$$L_k = U \cos \rho \sqrt{\frac{\tau \cdot C_e}{I_v \rho_v r_o}}$$

$$L_k = 110 \cdot 0,95 \sqrt{\frac{3740 \cdot 0,22}{1\,200\,000 \cdot 0,0124 \cdot 0,1187}}$$

$$L_k = 71,3 \text{ km}$$

Vrednost ekonomskog stepena iskorišćenja prenosa voda, kada se imaju minimalni godišnji troškovi prenosa, iznosi

$$\eta_{vek} = \frac{L_k}{L + L_k} = \frac{71,3}{30,23 + 71,3} = \frac{71,3}{101,55} = 0,702$$

Troškovi prenosa električne energije za vod 110 KV Ernestinovo — Vukovar II, za preneseni kWh iznose

$$T_{vmin} = \frac{2 \cdot \tau \cdot C_e}{T_{max}} \frac{L}{L_k} = \frac{2 \cdot 3740 \cdot 0,22}{5300} \cdot \frac{30,23}{71,3} = 0,13 \text{ din/kWh}$$

Na osnovu izračunatih parametara može se zaključiti da je nadzemni vod 110 KV Ernestinovo — Vukovar II odabran na osnovu tehnoekonomskih kriterija, jer mu je stvarni presek jednak ekonomskom, a ekonomski koeficijent iskorišćenja prenosa je povoljan. Provera napona nije izvedena jer nisu postojali podaci za troškove voda, srazmerne preseku  $C_v \left( \frac{\text{din}}{\text{km mm}^2} \right)$

i srazmerne naponu  $b_v \left( \frac{\text{din}}{\text{km, KV}} \right)$ .

## 6. ZAKLJUČAK

U članku je prikazan tehno-ekonomski pristup u dimenzioniranju nadzemnog voda. Presek voda, napon voda i stepen iskorišćenja prenosa električne energije vodom određuju se na osnovu minimuma ukupnih godišnjih troškova voda.

Relacije, koje su dobijene, služe za ocenu tih parametara i proveravaju se na ostale uslove rada voda. Provera se vrši prema termičkim naprežanjima u normalnom radu, nužnom pogonu, kratkom spoju, proveravaju se padovi napona, gubici, uslovi korone i mehanička naprežanja voda.

U radu je posmatran statički model.

Kod dinamičkog modela uzimao bi se u obzir rast opterećenja tokom veka trajanja.

U članku je izvršena provera jednog voda u eksploataciji koji je u mreži »Elektroslavonija« Osijek.

## LITERATURA

- [1] G. MUŽDEKA i dr.: »Perspektivni razvoj EDB do 2000 god.«, Studija ETF Beograd
- [2] POSPELOV, FEDIN: »Električeskie sistemi i seti«, Minsk 1988
- [3] FEDOROV i dr.: »Spravočnik po elektrosnabženiju i elektrooborudovaniju«, Energoatomizdat, Moskva 1986
- [4] ORLOV i dr.: »Elektrotehnički spravočnik«, Energoatomizdat, Moskva 1988

### TECHNICAL-ECONOMICAL APPROACH FOR CALCULATION OF OVERHEAD TRANSMISSION LINES

In the article is described technical-economical method for calculation of cross section and voltages of overhead lines. There are presented essential consumer parameters and over head line characteristics that have impact on economical cross section and optimal line voltages.

### TECHNOÖKONOMISCHER ZUGANG ZUM DIMENSIONIEREN DER ÜBERIRDISCHEN ÜBERTRAGUNGSLEITUNGEN

Im Artikel wird die technoökonomische Methode zur Bestimmung der Querschnitte und Spannungen der überirdischen Übertragungsleitungen geschildert. Man zeigt von welchen Verbraucherparametern und Charakteristiken der überirdischen Leitung der ökonomische Querschnitt und die optimale Leitungsspannung abhängen.

### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАЗМЕРОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

В статье представлена технико-экономический метод определения сечений и напряжений воздушных линий электропередачи. Показано от каких параметров потребителей и характеристик воздушных линий зависит экономичное сечение и оптимальное напряжение линии.

Naslov pisaca:

Mr Nikolovski Srete, dipl. el. ing.

DP Investiciona izgradnja i održavanje

56223 BOROVO,

Jugoslavija

Mravak Ivan, dipl. el. ing.

»Elektroslavonija« Osijek

OOOR Elektrodistribucija

Vukovar, Lole Ribara 53

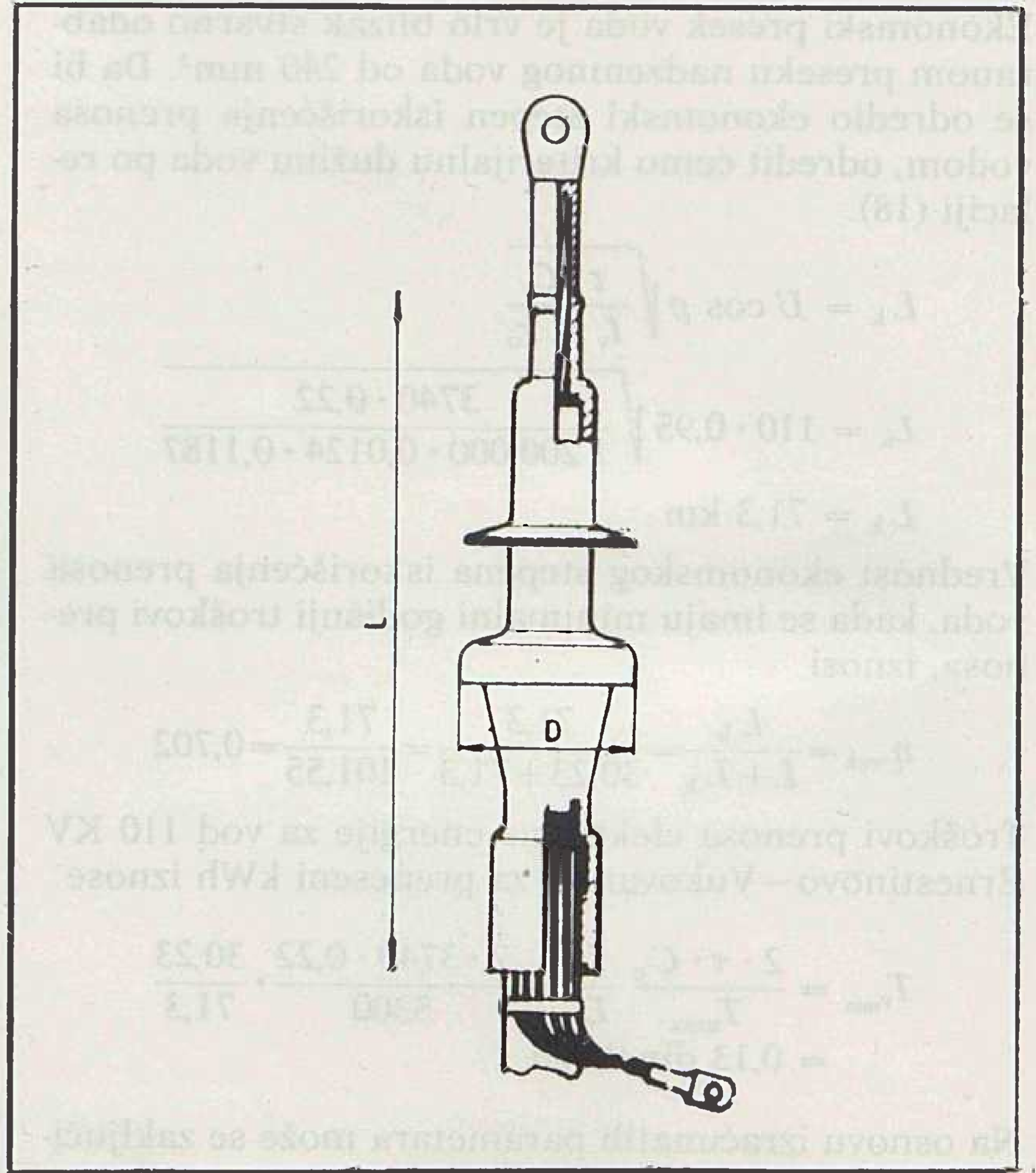
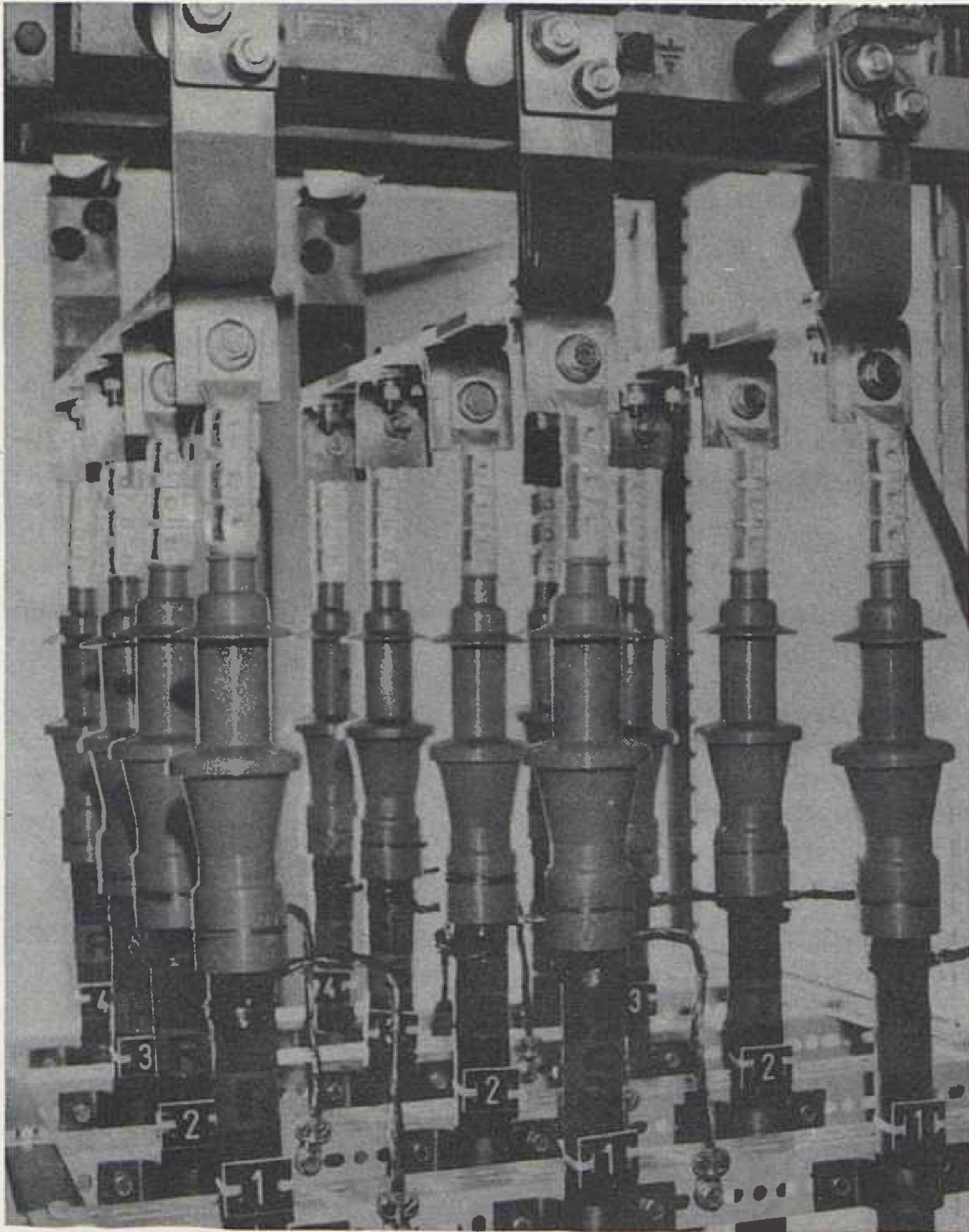
56230 Vukovar

Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis

1990 — 03 — 09

# KABELSKE GLAVE IZ SILIKONA ZA UNUTARNJU MONTAŽU U TEHNICI NAVLAČENJA KGI 10, KGI 20, KGI 35



POSTROJENJE 110/20 kV TS — VOLOVČICA  
opremljeno s TEP-ovim silikonskim glavama

### Namjena

Kabelske glave KGI 10, KGI 20 i KGI 35 koriste se za završavanje jednožilnih kabela s izolacijom od PE-a, UPE-a i EPDM-a za unutarnju montažu. Primjenjive su za kabel s bakrenim i aluminijskim vodičima, te za kabele s grafitnim i ekstrudiranim slabovodljivim slojem.

### Izvedba

Kabelska glava je izrađena iz silikona dobrih električnih i mehaničkih osobina te velike otpornosti na puzne struje. U izolator je ugrađen dio za oblikovanje polja, a polje se oblikuje geometrijskim načinom.

### Montaža

Montaža kabelske glave je brza i jednostavna, a vrši se prema tvorničkoj uputi.

### Podaci za narudžbu

Kabelske glave isporučuju se kao slog od tri silikonska izolatora s priborom za montažu. U narudžbi navesti tipnu oznaku kabelske glave ili tip kabela, materijal i presjek vodiča.

NAZIVNI NAPON kV	TIP	MAKSIMALNI PRESJEK (mm <sup>2</sup> )	D (mm)	L (mm)	PROMJER PREKO IZOLACIJE (mm)
10	KGI 10/1	35-50	55	205	16-17,5
	KGI 10/2	70-95	55		19-20,5
	KGI 10/3	120-150	62		22-24
	KGI 10/4	185-240	62		25,5-28,5
	KGI 10/5	300	62		29,5-32
20	KGI 20/0	20-50	64,5	240	19-21,5
	KGI 20/1	70-95	70,5		23-24,5
	KGI 20/2	129-150	70,5		26-28
	KGI 20/3	185-240	78		29-32,5
	KGI 20/4	300	78		34-36,5
35	KGI 35/1	50-95	83	318	27,5-32
	KGI 35/2	120-185	83		32-38
	KGI 35/3	240-300	89,5		38-42

### ISPITIVANJE I ATESTIRANJE

Sav kabelski pribor ispitan je i atestiran u Institutu za elektroprivredu u Zagrebu, prema propisima VDE i IEC.

**tvornice elektrotehničkih proizvoda · zagreb**

41090 ZAGREB, Medarska 69 — Telefon: 041/156-522, Telex: 21361, Telefax: 041/156-539

**TEP**

## REVITALIZACIJA ELEKTRANA

Hrvatska elektroprivreda programira provesti revitalizaciju dotrajalih elektrana. Radni vijek elektrana na fosilna goriva obično se procjenjuje na 20 do 25 godina rada, a zatim bi ih trebalo nadomjestiti novim elektroenergetskim blokovima. Provesti revitalizaciju dotrajalih elektrana znatno je jeftinija od gradnje novih proizvodnih kapaciteta.

Elektroenergetski sustav Hrvatske elektroprivrede raspolaže sa 3 977 MW instalirane snage. Polovica otpada na hidroelektrane, četvrtina na termoelektrane na mazut, a 25 posto kapaciteta otpada na termoelektrane u drugim republikama koje rade na račun Hrvatske elektroprivrede (TE Obrenovac, TE Tuzla, TE Kakanj i TE Gacko i NE Krško).

U prvi plan za revitalizaciju uvrštena je TE Plomin 1, zatim TE Sisak 1, te toplana u Zagrebu i PTE Osijek. Od hidroelektrana za revitalizaciju predviđene su HE Vinodol, HE Peruća i HE Dubrovnik. Opravdano je što prije naći rješenje za TE Plomin 1 koja je 1989. godine radila samo tri mjeseca zbog kvara na turbini i prvi je kandidat za revitalizaciju. Osim toga, plomska elektrana treba da dobije novi kotao bez obzira na to hoće li raditi na plin ili uvozni ugljen.

Stručnjaci Instituta za elektroprivredu Zagreb izradili su studiju: »Energetsko-ekonomska valorizacija revitalizacije TE Sisak 1.« U TE Sisak 1 najpovoljnije je rješenje izvršiti zamjenu bloka, snage 210 MW koji je u pogonu od 1970. godine.

Uvadjanjem novog bloka u TE Sisak 1 osigurava se rad pogona daljnjih 15 godina (od 1995. do 2010. godine).

Do kraja 1990. godine bit će završena i studija revitalizacije PTE Osijek koja je u pogonu od 1976. godine.

Osim zahvata revitalizacije, razmatra se mogućnost da bi se neke od postojećih elektrana mogle pregraditi tako da ubuduće proizvode i električnu i toplinsku energiju. Svojom proizvodnjom takve elektrane postigle bi uštedu pogonskog goriva za oko 20 posto.

I. R.

## IZGRADEN DV 400 kV VIŠEGRAD — TUZLA

Završeni su radovi izgradnje DV 400 kV Višegrad — Zvornik — Tuzla, dužine 143 km. Ovaj prijenosni objekt ima veliko značenje na cjelokupni sustav elektroprivrede BiH, jer će prenositi energiju novosagrađene HE »Višegrad«, kao i budućih elektrana koje će se graditi na Drini. U toku su i radovi na gradnji TS 400/110 kV Višegrad. Osim gradnje ove trafostanice, izgrađen je i DV 110 kV Goražde — Višegrad, čime je omogućeno da se područje Goražda dvostruko napaja električnom energijom. U sklopu projekta hidroelektrana »Višegrad« radi se i na proširenju TS 110/20/10 kV Goražde 1.

Značajna je također i izgradnja nove trafostanice 110/20/10 kV Goražde 2 jer će omogućiti regiji Višegrad — Rogatica — Goražde opskrbu dovoljnim količinama električne energije, što dosada nije bio slučaj. Već je završena i izgradnja dalekovoda 110 kV TS »Goražde 1« — TS »Goražde 2«, dužine 6 km koji veže ove dvije trafostanice.

Investitor gradnje navedenih objekata »Elektroprenos« Sarajevo građevne radove povjerio je poduzeću »Dalekogradnja« Sarajevo. Glavni dio opreme isporučuju domaći proiz-

vodači elektroopreme: Energoinvest, »Rade Končar«, Minel, Fabrika kablova Svetozarevo i dr.

I. R.

## REZULTATI SEDMOMJESEČNE PROIZVODNJE NAFTE

Na naftosnim poljima u INA-Naftaplina u sedam mjeseci 1990. godine ostvarena je proizvodnja sirove nafte 1 602 244 tone što je 3 posto više od plana. U istom razdoblju proizvodnja prirodnog plina manja je 44 milijuna kubika jer je smanjena potrošnja u ljetnim mjesecima. U sedam mjeseci proizvedeno je plina milijardu i 107,7 milijuna kubika.

Potrošnja plina je u stalnom porastu kako u širokoj potrošnji, tako i u industriji. U 1990. godini sagrađeno je nekoliko važnih magistralnih plinovoda u Hrvatskoj, kao što su plinovod Virovitica — Kutina i Cerjan — Tužno — Lepoglava, a započele su pripreme i za gradnju plinovoda Bačka Palanka — Ilok — Slavonski Brod, Cersak — Rogatec, Kutina — Slavonski Brod, Osijek — Vukovar i Zagreb — Karlovac. No najviše investicija u 1990. godini utrošit će se za završetak projekta »Podravina«, gdje se radi o gradnji centralne plinske stanice »Molve 3«. Kad taj objekt u 1991. godini bude završen, omogućit će se proizvodnja 2,5 milijarde prostornih metara plina i oko 450 000 tona visokovrijednoga plinskoga kondenzata s tog područja.

Dobre proizvodne rezultate za sedam mjeseci ostvario je i »Naftagas« u Novom Sadu. Proizvedeno je 618 tisuća tona sirove nafte, što je 4,5 posto više od plana. Istovremeno je proizvedeno 394 milijuna kubika prirodnog i kaptažnog plina, što je 4,4 posto više od plana.

I. R.

## ENERGETSKE PRILIKE U HRVATSKOJ U RAZDOBLJU SIJEČANJ-SRPANJ 1990.

Prema dispečerskim podacima proizvodnja i potrošnja električne energije u Hrvatskoj za razdoblje siječanj-srpanj 1990. godine ostvarena je u sljedećim vrijednostima: Hidroelektrane su ostvarile proizvodnju 1 877,8 GWh, što je 55,8 posto od plana ili 1 490 GWh manje. To je posljedica loših hidroloških prilika. Za isto razdoblje termoelektrane su ostvarile proizvodnju 4 131,6 GWh, što je 1 106,6 GWh iznad plana.

Isporuka termoelektrana izgrađenih u drugim republikama za potrebe potrošača u Hrvatskoj iznosi 1 699,0 GWh ili 94 posto od planiranih količina. Podbačaj je uzrokovan smanjenom proizvodnjom TE Gacko i neisporučenom električnom energijom od Elektroprivrede BiH, iz TE Tuzla i TE Kakanj, zbog nepravodobnog plaćanja.

Da se pokrije konzum, kupljena je električna energija u zemlji i inozemstvu, ukupno 1 025,5 GWh, i to u zemlji 389,5 GWh a iz inozemstva 636,0 GWh — (iz SSSR-a, ČSR, Švicarske, Austrije, Albanije i Bugarske).

Plan ukupne potrošnje električne energije za siječanj-srpanj 1990. na mreži prijenosa je sljedeći:

	Plan GWh	Ostvaren GWh	Postotak
Distribucija	6 788,0	6 662,0	98,2
Direktni potrošači	1 803,0	1 617,6	89,6
Gubici prijenosa	305,0	266,0	88,2
Ukupna potrošnja	8 896,0	8 545,3	96,0

U razdoblju siječanj — srpanj plan potrošnje je ostvaren sa 96,0 posto, a potrošnja u usporedbi s istim razdobljem prošle godine bila je za 1,7 posto manja. U istom ovogodišnjem razdoblju Hrvatska elektroprivreda isporučila je dug inozemstvu u količini od 260,6 GWh električne energije.

I. R.

## ULAGANJA U NERAZVIJENA PODRUČJA

Hrvatska elektroprivreda u razvoj distributivne mreže u Globalnom planu izgradnje elektroenergetskih objekata za 1990. godinu planira ulaganja u iznosu 310 milijuna dinara (odnosno 25 milijuna USD). Izvori se financiraju iz vlastite amortizacije, od kredita i ostalih sredstava. Uglavnom, distributivne organizacije ne uzimaju kredite, nego ostala sredstva prikupljaju samodoprinosom građana i drugim oblicima doprinosa.

Osim navedenog iznosa, za djelatnost distribucije iz udruženih sredstava predviđena su sredstva za ulaganja u objekte distributivne mreže na privredno nedovoljno razvijenim područjima. Zbog ograničenih sredstava planirana su ulaganja samo za one objekte koji su u izgradnji, a zbog velike inflacije nisu se mogli dovršiti prije s predviđenim sredstvima. Iznos ulaganja za ove objekte iznosi 9 300 000 dinara. Sredstva će se koristiti za dovršenje gradnje dalekovoda napona 35 i 10 kV i odgovarajućih trafostanica.

Najveći dio ulaganja (oko 7,17 milijuna dinara) raspoređen je na objekte locirane na području općina Gospić, Drniš, Benkovac, Knin, Imotski, Vrgorac, Hvar, Vis, te Trogir, Kaštela i Metković. Manji dio (oko 2,13 milijuna) raspoređen je na objekte u općinama Slunj, Jastrebarsko, Ozalj, Vrginmost, Novi Marof, Ivanec, Križevci, Đakovo i Županja.

I. R.

## DUGOROČNI RAZVOJ PRIJENOSNE MREŽE

Izrađena je studija »Razvoj prijenosne mreže Hrvatske elektroprivrede do 2010. godine.« Iz ponuđene studije osvrnut ćemo se na kratak prikaz izgradnje prijenosnih objekata 110 i 220 kV na području Elektroprivrede Rijeka.

U razdoblju 1991. do 1995. godine potrebno je izgraditi TS 110/20 kV Rab; a na potezu Plomin — Pula (Vodnjan) novi dalekovod 2 × 110 kV ili (2 × 220 kV pod naponom 110 kV).

Do 2000. godine treba izgraditi: TS 110/x kV Rijeka 2; TS 110/x kV Novalja; TS 110/x kV Umag; rekonstruirati dalekovod 110 kV Kopar — Buje u dvosistemi; uspostaviti novu vezu kopno — otok Krk.

U razdoblju do 2010. godine valja: pojačati vezu na potezu Plomin — Pazin. Za razdoblje do 2010. godine nije razmatrana potreba izgradnje novih trafostanica, a konzum je koncentriran na dosad formirana čvorišta.

I. R.

## PLAN ZA MALE ELEKTRANE

Hrvatska elektroprivreda ponudit će mnogim investitorima da sudjeluju u gradnji 50 malih hidroelektrana u cijeloj Republici. Ubrzano se radi na izradi studije, nakon čega će elektroprivreda još 1990. godine krenuti na tržište s gradnjom malih elektroenergetskih objekata. Predviđena je izgradnja takvih objekata na 16 vodotokova u Hrvatskoj na

kojima su prema dosadašnjim studijskim istraživanjima moguće lokacije za gradnju minihidroelektrana.

Naši proizvođači elektroopreme i strojogradnje već su organizirali proizvodnju opreme za takve objekte.

U Sloveniji već je dosada izgrađeno 120 minihidroelektrana, i to većinom privatnih, a njihova ukupna snaga iznosi tri megavata. U 1990. godini izgradit će se još 40 minihidroelektrana u Sloveniji s ukupnom snagom tri megavata.

I. R.

## RUDNIK URANA PRESTAJE S RADOM

Republička vlada Slovenije donijela je odluku da jedini naš rudnik urana Žirovski vrh kod Škofje Loke posve obustavi proizvodnju. Dosad zaposlenim rudarima osigurat će se socijalna sigurnost na novim radnim mjestima. Osim zbog ekoloških razloga, na zatvaranje rudnika utjecala je i sve teža prodaja »žute pogače«, važne sirovine za proizvodnju urana. Libra (0,45 kg proizvedena u Žirovskom vrhu stoji čak pedeset dolara, a to je tripud više nego na svjetskom tržištu.

Ta cijena ne odgovara Hrvatskoj elektroprivredi koja pristaje da svoju polovicu »žute pogače« iz Žirovskog vrha može platiti najviše 17 dolara po libri.

I. R.

## TREĆA SAVSKA HIDROELEKTRANA »DRENJE«

Glavni dio projektne dokumentacije za izgradnju savskih elektrana na području Hrvatske za HE Podsused i HE Prečko prikupljen je i sruđen i radi se na razradi glavnih projekata. Na redu je i prikupljanje podataka za izradu glavnog projekata za buduću savsku elektranu »Drenje«.

Hidroelektrana »Drenje« treća je energetska stepenica u iskorištavanju vodnog potencijala rijeke Save na području Hrvatske.

Zadaća HE »Drenje« jest proizvodnja električne energije; zaštita zaobalnih površina od poplava; poboljšanje kapaciteta vodoopskrbnih crpilišta; povezivanje lijevog i desnog zaobalja mostom.

Hidrološke značajke rijeke Save jesu velike proljetne vode od kiša i topljenje snijega, velike jesenske vode od kiša, te ljetni i zimski minimum.

Hidroelektrana »Drenje« proizvodit će električnu energiju u protočnom radu, a locirana je nizvodno od Mosta mladosti na zagrebačkoj zaobilaznici kod Ivanje Reke. Za buduću elektranu sruđeni su topografski i geološki podaci, te hidrografska i hidrološka podaci. Na temelju tih podataka izrađen je idejni projekt.

Glavni sastavni dijelovi HE »Drenje« jesu brana, strojarnica, retencioni bazen, rasklopno postrojenje, pomoćni objekti i armiranobetonski most preko brane i strojarnice.

Strojarnica je locirana izvan korita Save, neposredno uz desni upornjak brane. Strojarnica je funkcionalno, konstruktivno i oblikovano podijeljena na podzemni blok strojarnice i halu strojarnice s nizvodnom prigradnjom.

Hidroelektrana »Drenje« je pribanskog tipa, kod kojeg strojarnica i brana čine jedinstveni objekt koji pregrađuje riječni tok. Elektranu je opremljena s tri proizvodne grupe s cijevnim turbinama. Velike vode se evakuiraju kroz četiri protočna polja koja su tako dimenzionirana da se može evakuirati višak vode.



## Energetski podaci za HE »Drenje«

Instalirana snaga je  $3 \times 13,07$  MW, godišnja proizvodnja oko 189,0 GWh, a prijenos energije 2 DV napona 110 kV.

Glavna oprema: turbina 3 kom, cijevne s horizontalnom osovinom; nazivni protok  $166,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ; konstruktivni pad 8,60 m. Tip generatora je sinkroni, cijevni (u kruški) tri komada; nazivna prividna snaga 14 MVA; nazivni faktor snage 0,95; uzbuda statička, Blok-transformator 1 kom. trofazni uljni i nazivne snage 40 MVA. Tu je i Dizelov agregat prividne snage 430 kVA, nazivni napon je 0,4 a frekvencija 50 Hz.

Brana je armiranobetonska riječnog tipa: širina je 4 protočna polja  $4 \times 20,25$  m; ukupna širina brane s upornjacima 106,0 m i dužina brane 67,5 m.

Na desnoj obali, južno od strojarnice, locirano je vanjsko rasklopno postrojenje 110 kV.

HE »Drenje« koncipirana je kao objekt bez pogonske posade. Opremom elektrane upravlja se daljinski iz komande lanca hidroelektrana na Savi. Daljinsko upravljanje elektranom je grupno automatsko upravljanje.

I. R.

## IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

### ISKORIŠTENJE SUNČEVE ENERGIJE U IZRAELU

Sa svojih nešto više od 4 milijuna stanovnika Izrael mora 97 % svojih energetske potrebe pokrivati uvozom nafte i ugljena. Da se smanji uvoz nafte, energetičari predviđaju da se energijom sunca, vjetra te geotermičkom energijom i spaljivanjem biomase pokrije do kraja stoljeća oko 11 % energetske potrebe zemlje, prema dosadašnjih 3 %.

Posebno treba istaknuti velike mogućnosti korištenja sunca, jer je Izrael jedna od najsunčanijih zemalja svijeta. Prva istraživanja u tom smislu počela su već tridesetih godina, naročito su intenzivna od pedesetih. Počelo se opsežnom ugradnjom sunčanih kolektora za grijanje vode u kućanstvima, pa danas 2/3 svih kućanstava ima svoj sistem za grijanje vode pomoću sunca. Time Izrael štedi 3 % primarne energije ili 8 % električne.

Godine 1977. osnovano je ministarstvo za energetiku koje brine o razvoju upotrebe sunčane energije i pomaže sva nastojanja o razvoju te tehnologije. Te su mjere urodile plodom, pa su istraživanja vrlo opsežna, a primjena sve veća i efikasnija.

Tvrtka Luz International Ltd. razvila je sistem za proizvodnju električne energije, koji je primijenjen u termosolarnim elektranama u južnoj Kaliforniji. Izgrađenih 8 elektrana ima ukupnu instaliranu snagu 275 MW. Na temelju iskustava u SAD sada se planira izgradnja takve elektrane od 30 MW u pustinji Negev. Pomoću žljebastih paraboličnih zrcala, upravljanih mikroprocesorima, sunčane se zrake fokusiraju na cijevi s uljem koje se ugriju do  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ . U izmjenjivaču topline dobiva se vodena para koja se dovodi u parnu turbinu elektrane. Tvrtka na tom sistemu razvija električne snage 1 MW za zabačena mjesta zemalja u razvoju.

Na sličnom principu, ali s manjim površinama neupravljanih zrcala, konstruirale su tvrtke Pazi Pimat svoje uređaje. Vodu griju do  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  za potrebe industrije, bolnica i hotela. Dosada je u Izraelu u pogonu 17 takvih uređaja. Daljnje mogućnosti za iskorištenje sunčane energije daju tzv. solarne jezera. Kraj Mrtvog mora izgrađena je solarne elektrane snage 5 MW, koja pomoću specijalne turbine može koristiti sunčanu toplinu koja se akumulira u jezeru površine  $250\,000 \text{ m}^2$ . Voda u jezeru ima prema dnu sve veću koncentraciju soli i specifički je teška pa donji slojevi, koji se ugrijavaju, ne mogu na površinu. Tako se mogu ugrijeti i do  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Posredstvom posebnih organskih tekućina navedena je temperatura dovoljna za pogon turbina (o tome vidi Ener-

giju 1987, br. 2). Druga mogućnost korištenja je solarno jezero s toplinskim diodama. Jezero je pokriveno pločama koje propuštaju sunčane zrake, ali štite površinu vode od hlađenja. Na taj se način može voda ugrijeti od  $60$  do  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  i služiti kao sanitarna voda široke primjene. Dosada su se takva jezera gradila do površine  $400 \text{ m}^2$ , a u projektu su i mnogo veća.

Upotreba fotovoltaičkih ćelija također nije zanemarena. One se upotrebljavaju za napajanje strujom malih udaljenih naselja, za rasvjetu prometnih znakova i signalnih uređaja i pogon telekomunikacija. Državna potpora stimulira upotrebu te tehnologije. Pokušava se, također, uštedjeti na grijanju zimi posebnom gradnjom kuća. Država stimulira tu pasivnu solarnu arhitekturu, pa je takav princip primijenjen dosada na nekih 20 kuća. Poljoprivreda pak iskorištava sunčanu toplinu u staklenicima i pogonu sušara.

Na sveučilištu Ben-Gurion razvijen je uređaj kojim se energija sunca koristi za pogon rashladnih uređaja. Toplina ( $90$ – $95 \text{ }^\circ\text{C}$ ) pokreće apsorpcijski kružni proces s organskim tekućinama i može hladiti do ispod  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Danas se upotrebljava za hlađenje do 120 tona materijala.

Izraelska tvrtka Desalination Ltd. izradila je uređaj za desalimizaciju vode pomoću sunca. Uređaj je široko prihvaćen i u svijetu jer štedi fosilna goriva.

U znanstvenom institutu Weizmann provodi se od 1988. razvojni program konstrukcije centralnog sistema za hvatanje sunčanih zraka u 64 heliostata ukupne snage 3 MW. Heliostati su vođeni mikroprocesorima da snagu zrake sunca fokusiraju u određeni centar. Time se postižu temperature  $600$  do  $1\,000 \text{ }^\circ\text{C}$  i omogućava kemijska transformacija energije, što pak dalje omogućava transport energije u obliku gorivih plinova.

Za Izrael je posebno zanimljiva pustinja Negev, pa je pokraj mjesta Sde-Boker izgrađena pokusna stanica sveučilišta Ben-Gurion gdje se na prostoru od 2 hektara ispituju različite tehnologije iskorištenja sunca.

*Energie*, god. 42 (1990), br. 3

Mrk.

### NAJVEĆI POTROŠAČI ENERGIJE

SAD, SSSR i Kina države su s najvećim potroškom energije. Svedu li se svi energenti — ugljen, zemni plin, nafta, nuklearna energija i voda na jedinstvenu energetske jedinice tone ekvivalentne nafte (tona ekv. nafte =  $41,868 \text{ GJ} = 10^7$

kcal), to bi potrošak najvećih potrošača energije bio sljedeći (1988):

Zemlja	mil. tona ekv. nafte
SAD	1 941
SSSR	1 397
Kina	727
Japan	400
SR Njemačka	267
Kanada	252
Velika Britanija	208
Francuska	197
Italija	151

Uzimajući zajedno, dobije se da na 9 najvećih potrošača energije otpada dvije trećine svjetske potrošnje. No mora se naglasiti da se intenzitet potrošnje u nekoj zemlji ne računa po potrošku zemlje, već specifično po stanovniku. Takvo razmatranje daje potpuno drugačiju sliku. Sjedinjene države sa 9,7 t/stan. i Kanada sa 7,9 t/stan. na vrhu su, a Kina sa 0,7 t/stan. pri dnu.

ETZ, god. 111 (1990), br. 2

Mrk.

### SIEMENS ISPORUČUJE SIGURNOSNE UREĐAJE ZA NUKLEARKE U SSSR-u

Nakon duljih pregovora zaključen je ugovor između tvrtke Siemens (SR Njemačka) i sovjetske vanjskotrgovačke organizacije Atomenergoexport o isporuci sigurnosnih uređaja za sovjetske nuklearne elektrane, i to samo za one s lakovodnim reaktorima s vodom pod tlakom. Ti će uređaji omogućiti pravovremeno otkrivanje kvarova da ne dođe do većih šteta. Zasada u SSSR-u radi 10 reaktora toga tipa snage 440 MW i 20 reaktora 1 000 MW za koje su uređaji naručeni. Daljnjih 18 lakovodnih reaktora je u gradnji, a za njih će se uređaji dobiti na temelju novog ugovora. Nisu obuhvaćeni reaktori tipa Černobil i brzi brideri. S ugovorom o dobavi vezana je i kooperacija koja će sovjetskom partneru omogućiti da postepeno počne izrađivati bitne dijelove zaštitnih uređaja i uređuje na unapređenju njihovog razvoja, testiranju i inspekcijskoj službi.

Tvrtka Siemens smatra ovu suradnju vrlo značajnom, jer omogućuje trajne poslovne veze sa sovjetskom nuklearnom energetikom.

ETZ, god. 111 (1990), br. 2

Mrk.

### SR NJEMAČKA POMAŽE STRUJOM NJEMAČKU DR

Elektroprivreda SR Njemačke voljna je kratkoročno pomoći Njemačku DR električnom energijom. Na lokalnim područjima uz granicu izmjena energije teče bez poteškoća. Međutim, dobava struje u većim razmjerima nailazi na tehničke i financijske poteškoće. Budući da je Njemačka DR vezana na zemlje SEV-a, ima frekvenciju s kojom ne može paralelno raditi sa zapadom.

Osim pitanja električne energije u obzir dolazi i oplemenjivanje smeđeg ugljena iz Njemačke DR u SR Njemačku.

ETZ, god. 111 (1990), br. 3

Mrk.

### U POGONU NAJVEĆA TERMoeLEKTRANA NA TRESET NA SVIJETU

Najveća termoelektrana na svijetu ložena tresetom sagrađena u Haapevesi, u srednjoj Finskoj, priključena je početkom godine na mrežu. Za tu elektranu, snage 155 MW, trošit će se godišnje 2,5 milijuna m<sup>3</sup> treseta. Danas Finska pokriva 5% svojih potreba iskorištavanjem tog goriva. Procijenjene zalihe od otprilike 3 milijarde tona čine Finsku tresetom najbogatijom zemljom.

ETZ, god. 111 (1990), br. 3

Mrk.

### SVJETSKI REKORD EKSPRESNIH VLAKOVA

Francuski vlak velike brzine TGV (Traina Grande Vitesse) postigao je 5. prosinca 1989. svjetski rekord brzine na tračnicama. Na pruzi u departmanu Loire-et-Cher, jugozapadno od Pariza, kretao se brzinom od 480 km/h.

Prije tog rekord brzine (406,9 km/h) držao je vlak ICE (Interciti Experimental) u SR Njemačkoj, a postignut je 1. svibnja 1988. na pruzi Würzburg-Fulda.

Viseća magnetska željeznica u Emslandu, u SR Njemačkoj, na eksperimentalnoj pruzi dugoj 31,5 km svoj rekord iz siječnja 1988. od 412,6 km/h podigla je na 435 km/h u prosincu 1989.

ETZ, god. 111 (1990), br. 3

Mrk.

### HIBRIDNI AUTO

Kako bi se što bolje iskoristile prednosti automobilskeg motora s unutrašnjim izgaranjem (Ottov ili Diesellov motora) i elektromotora, njemačka tvrtka Audi konstruirala je hibridno vozilo na pogon jednim i drugim motorom. Prednji su kotači na pogon eksplozivnim motorom, a stražnji na pogon elektromotorom. Snaga prvoga je 100 kW, uz zakretni moment od 1900 Nm pri 4 000 min<sup>-1</sup>, a drugoga 9,3 kW, uz zakretni moment od 110 nm. Najveća brzina pri vožnji elektromotorom iznosi 50 km/h, a baterije se pune nakon 30 km. Baterije se mogu puniti i za vrijeme vožnje. Uzete su Ni-Cd baterije koje je moguće puniti velikom strujom, pa jedno punjenje traje najdulje 45 minuta. U upravljanju vozilom nema razlike koji je motor u pogonu, a njihovo uključivanje i isključivanje vrlo je jednostavno. Elektromotor se uključuje gdje je god to povoljno, te tako štiti okoliš od zagađenja i buke. U gradskoj vožnji, gdje su česta zaustavljanja, vozi se naravno elektromotorom, a također i na malim udaljenostima, npr. pri kupovini. Takva vožnja nije samo korisna za okoliš već je i ekonomična.

Tvornica je od bavarske vlade dobila pripomoć za razvoj elektropogona, jer gradovi već dulje nastoje na neki način naći rješenje za prometne poteškoće. Problem je samo u tome kako će takvo vozilo prihvatiti korisnici.

ETZ, god. 111 (1990), br. 3

Mrk.

### JAVNE ELEKTRANE U SR NJEMAČKOJ BITNO SMANJUJU EMISIJU ŠTETNIH PLINOVA

Prema izvještaju prof. dr. H. Brüderlina, člana uprave VDEW (saveza njemačkih elektrana), u SR Njemačkoj su

postignuti veliki uspjesi u smanjenju zagađivanja okoliša od dimnih plinova termoelektrana. Iz javnih termoelektrana u Njemačkoj izašla je u 1989. godini tek polovica one količine dušičnih oksida koja je analizirana 1982. godine, prije ugradnje novih uređaja za izgaranje. Time je na javne elektrane otpalo tek 15%, odnosno 0,37 milijuna tona od ukupnog zagađenja tim oksidima. Kako bi se postigli strogi granični uvjeti, potrebno je provesti određene tehničke mjere u blokovima ukupne snage 54 000 MW. To je po prilici dvije trećine njemačkih elektrana na ugljen, naftu i plin. Kod većine ovih elektrana ugradit će se novi sistemi za izgaranje i preurediti ložišta. Potkraj 1989. bilo je velikim katalizatorima opskrbljeno termoblokova snage 23 000 MW. U 1990. na redu je još 3 500 MW, a prema planu ovaj bi ekološki projekt morao biti završen 1991. godine. Tada bi u 59 termoelektrana radilo 130 velikih tehničkih uređaja za smanjenje emisije NO<sub>x</sub>. Prema očekivanju VDEW, godine 1991. svela bi se emisija na svega 0,2 milijuna t, što je oko polovice količine iz 1989. Procijenjeno je da će vlasnike termoelektrana cijela akcija stajati oko 7 milijardi DEM. Još je veći uspjeh u Njemačkoj postignut u borbi protiv zagađenja atmosfere sa sumpornim dioksidom. Nakon provedenih mjera za redukciju njegove emisije, javne su elektrane u 1989. izbacile samo 0,22 milijuna tona tog štetnog plina, što je 14% izbačene količine 1982. Urađeno je mnogo više nego što je planom predviđeno. Predviđeno je, naime, da se emisija do 1993. smanji 75% prema 1982.

Na navedeno odsumporavanje investirano je približno 15 milijardi DEM, dakle ukupno 22 milijarde DEM za čišći zrak. Proračunato je da je ova akcija opteretila svako njemačko domaćinstvo s dodatnih 846 DEM.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 89 (1990), br. 6

Mrk.

#### **49 NOBELOVACA PREPORUČUJE UPOTREBU NUKLEARNE ENERGIJE DA SE SPRIJEČI POJAVA »STAKLENIKA«**

700 članova američke Akademije znanosti, a među njima 49 nobelovaca, izradili su dramatični apel za predsjednika SAD Busha. U apelu se traži djelotvorna politika da se izbjegne pojava »efekta staklenika« i time ugrozi klima na Zemlji. Oni preporučaju i određene mjere koje treba provesti, a među njima je i program razvoja upotrebe nuklearne energije.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 89 (1990), br. 7

Mrk.

#### **ŠVICARSKI PARLAMENT PROTIV ODUSTAJANJA OD NUKLEARNE ENERGIJE**

Veliko vijeće švicarskog parlamenta izjasnilo se dvotrećinskom većinom protiv odustajanja zemlje od daljnjeg korištenja nuklearne energije. Uklonjen je desetogodišnji moratorij za nove nuklearne elektrane. Predviđa se da će se u Švicarskoj potkraj rujna 1990. održati općenarodni referendum o korištenju nuklearne energije.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 89 (1990), br. 8

Mrk.

#### **REKORDNA PROIZVODNJA UGLJENA U SAD**

Predviđa se da će godina 1990. u SAD biti rekordna u proizvodnji ugljena. Trebalo bi se iskopati 997 milijuna tona pre-

ma 950 milijuna tona u 1989. Domaći potrošak iznosi 894 milijuna tona.

*ETZ*, god. 111 (1990), br. 5

Mrk.

#### **PRVA TERMoeLEKTRANA U SVIJETU NA POGON STOČNOM BALEGOM**

U južnoj Kaliforniji, na granici s Meksikom, puštena je u pogon prva elektrana u svijetu koja upotrebljava kao gorivo stočnu balegu. Snaga je termoelektrane 17 MW i daje energiju u javnu mrežu.

U tom području ima 16 farmi sa 3 000 000 goveda, a svako govedo izbacuje godišnje oko 1 tonu balege. Zbog svog kemijskog sastava ona se ne može upotrijebiti kao gnojivo pa zadaje farmerima velike poteškoće. Studije u vezi sa spaljivanjem ovog smeća počele su 1983. Pokazalo se da se na bazi dnevne količine od nekih 1 000 t balege može graditi termoelektrana snage 17 MW. Ona dnevno daje 200 tona pepela koji se prodaje poduzeću za gradnju cesta i deponiju smeća. U planu je da se gradi i sljedeća elektrana iste snage, ali na bazi otpadaka drva i slame koja se inače spaljuje na poljima i zagađuje zrak. Ako se ovakve elektrane pokažu rentabilnima, gradit će se i u drugim područjima SAD.

*ETZ*, god. 111 (1990), br. 6

Mrk.

#### **GNOJ IZ DIMNIH PLINOVA**

U laboratoriju centra za nuklearna istraživanja u Karlsruheu (SR Njemačka) stavljen je u pogon pokusni uređaj koji radi na principu elektronskog zračenja, a namijenjen je pročišćavanju dimnih plinova termoelektrana. Štetni plinovi, sumporni dioksid i dušični dioksid, odvajaju se simultano suhim postupkom. Bez nekih kemijskih međupostupaka stvaraju se na taj način vrijedna gnojiva. Osnova postupka je intenzivno zračenje dimnih plinova elektronima u odgovarajuće konstruiranom dimnom kanalu. Time nastali kemijski spojevi, nazvani radikalima, reagiraju sa sumpornim i dušičnim oksidima te se stvara sumporna i dušična kiselina. Dodavanjem amonijaka dobiva se praškasti amonijev sulfat i nitrat.

Postupak je već prije ispitan u malom uređaju, no u ovom velikom postiže se veći fleksibilitet djelovanjem dvaju elektronskih akceleratora i različitih tehnika filtriranja i odvajanja gnojiva. Planira se nadalje da se uređaj iskuša i za čišćenje industrijskih plinova koji sadrže ugljikovodike i sumporne spojeve. Dobro su također uspjela orijentacijska ispitivanja odvajanja toluola i suporovodika.

Mora se istaknuti da su industrija i razvojni centri pokazali velik interes za opisani uređaj, koji je stajao 1,6 milijuna DEM.

*ETZ*, god. 111 (1990), br. 6

Mrk.

#### **NUKLEARNA ELEKTRANA U INDONEZIJU ZA 2000. GODINU**

Već dvanaest godina u Indoneziji postoji namjera da se sagradi prva nuklearna elektrana, no stalno se odgađalo zbog poteškoće s investicijama. Planira se da se elektrana od 600 MW podigne na sjevernom dijelu otoka Jave. Potencijalni dobavljači (npr. Framatome i Siemens) ušli bi u posao kao

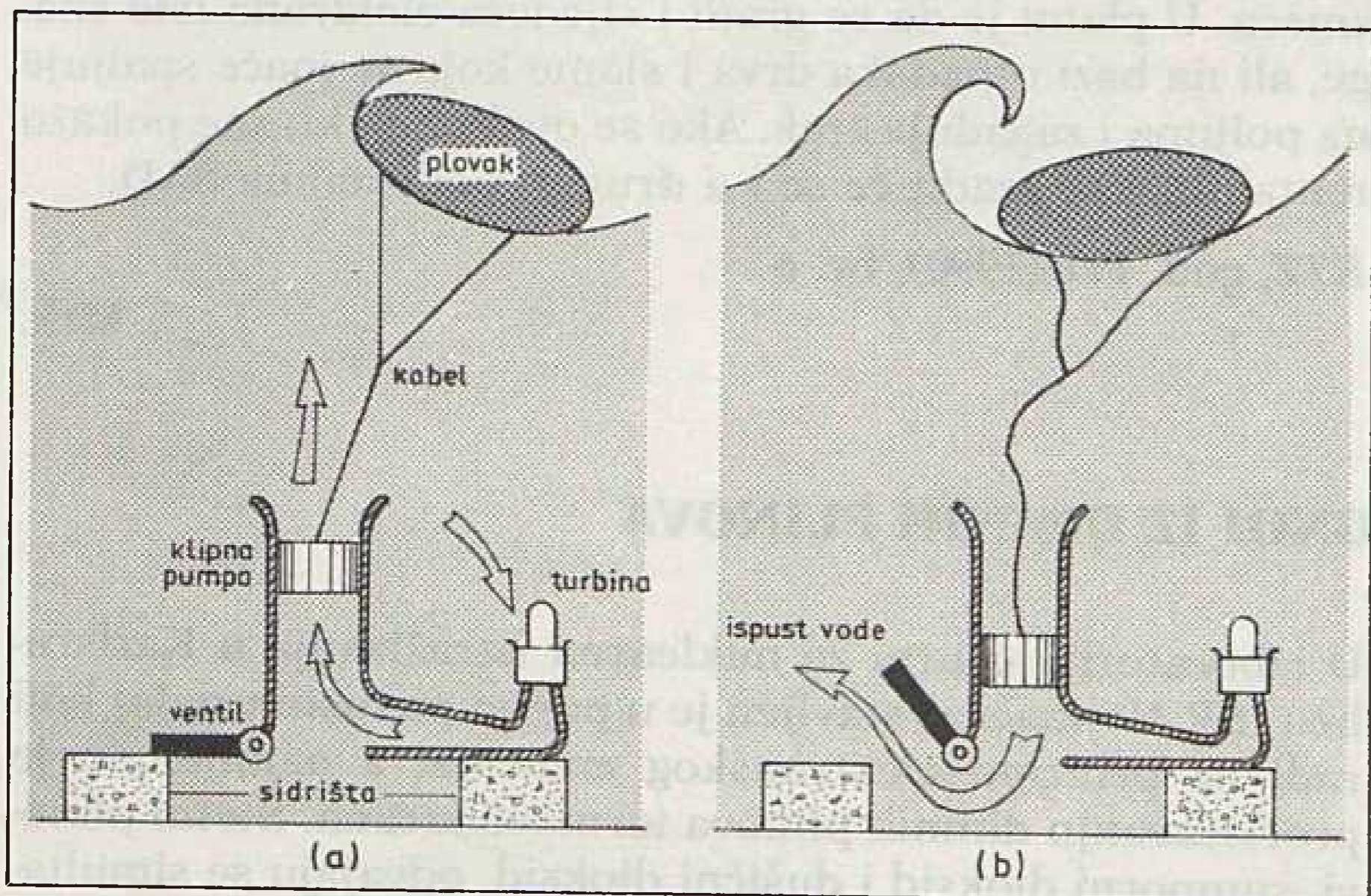
konzorcij. Problem plaćanja riješio bi se tako da dobavljači izgrade i eksploatiraju elektranu nekoliko godina. Elektranu bi bila vlasništvo Indonezije, ali bi se otplaćivala prodajom struje.

RGE, god. 1990, br. 4

Mrk.

## ISKORIŠTENJE SNAGE MORSKIH VALOVA U DANSKOJ

Prema zamisli inženjera Kim Nielsena, u Danskoj je konstruiran pokusni uređaj za iskorištavanje energije morskih valova. Najprije je izgrađen model snage 1 kW, koji je iskušao u valnom kanalu, a zatim u moru u Öresundu (područje između danskog i švedskog kopna), istočno od Kopenhage. Drugi uređaj, mnogo veće snage, građen je zajedno s grupom Danich Ware Power na zapadnoj obali Jütlanda. Predviđene su dvije jedinice po 45 kW. Prva je stavljena u more u rujnu 1989, a druga u proljeće 1990, i to na dubinu 30 m.



Uređaj ima betonsku bazu okruglog oblika, unutarnjeg promjera 9 m, kućište s cilindrom i stapom u sredini i s turbogeneratorom sastrane (slika). Stap je vezan užetom za plovak kojega valovi dižu i spuštaju. Kad se stap digne voda ulazi u kućište kroz turbinu, a kad se spušta izlazi kroz ventil. Spuštanje se ne može iskoristiti za dobivanje energije putem turbine, jer bi takav rad smanjio ukupnu efikasnost uređaja.

Stručnjaci Danish Wave Power smatraju da bi 3 000 do 4 000 takvih uređaja moglo Danskoj davati 10 do 30% njezinih elektroenergetskih potreba.

Water Power, god. 1990, br. 3

Mrk.

## DIN NORME ZA NJEMAČKU DR

Njemačka DR prihvatit će norme Njemačkog instituta za normiranje (DIN). Ovdje se ne radi o suradnji, već o zamjeni postojećih DR-normi, rekao je u Berlinu direktor DIN-a Helmut Reihlen. Dogovor o zamjeni TGL-normi (Technische Güte-und Lieferbestimmungen) učinjen je sa stručnjacima Ureda za standardizaciju, mjerenje i ispitivanje robe Njemačke DR. Direktor Reihlen se nada da će nakon dvije godine obje Njemačke imati jedinstvene norme.

ETZ, god. 111 (1990), br. 7/8

Mrk.

## GRADNJA ELEKTRANA KOJE SE KORISTE OBNOVLJENOM ENERGIJOM U SAD SE SMANJUJE

Usprkos problemu uvoza nafte i zagađenju okoliša SAD su smanjile gradnju elektrana koje koriste obnovljivu energiju. Prema jednoj studiji u sljedećih pet godina znatno će se smanjiti gradnja takvih elektrana, nasuprot znatnom porastu u prošlih deset godina. Razlog je stagnacije niska cijena nafte, zakonske poteškoće pri investiranju u nekim savezanim državama i naposljetku višak električne energije.

RGE, god. 1990, br. 1

Mrk.

## NUKLEARNE SE ELEKTRANE I DALJE GRADE

Japansko elektroprivredno poduzeće Tohoku Electric Power započelo je s gradnjom druge etape nuklearne elektrane Onagawa. Tip reaktora je na ključajuću vodu, a snaga elektrane će iznositi 825 MW. Prema planu, elektranu bi ušla u pogon u veljači 1996. Procijenjene su investicije na 267 milijardi jena.

Tajlandska je vlada odlučila ponovno razmotriti izradu nuklearnog programa. Među pučanstvom su provedena propaganda uvjeravanja kako je korištenje nuklearne energije postalo posve sigurno. Treba reći da je nuklearni program predstavljen 1974–1976. naišao na veliko protivljenje građana, pa nije proveden.

Marokanski su stručnjaci odredili lokaciju prve nuklearne elektrane u zemlji. Nuklearka bi se gradila kod mjesta Sidi Boulbra, na putu između mjesta Safi i Essaoira. Elektranu bi trebala ući u pogon 2005. s prvim agregatom. Sada zemlja dobiva 87,6% električne energije iz termoelektrana (na naftu i ugljen) i 12,4% iz hidroelektrana.

RGE, god. 1990, br. 1

Mrk.

## PROJEKT NOVOG ZAKONA O ENERGETICI

Vlada Republike Italije predložila je nov zakon o energetici u sklopu kojeg je predviđeno formiranje jednog visokog vladinog savjeta za energetiku, kao i formiranje jednog tijela koje bi bilo zaduženo za nuklearnu sigurnost. To bi trebalo da bude završeno do 1. siječnja 1991. Tijelo zaduženo za sigurnost bavilo bi se kontrolom projekata, izgradnje i eksploatacije raznih nuklearnih postrojenja i instalacija, kao i kontrolom transporta radioaktivnih materijala. Isto tako nadzirala bi se radioaktivnost okoline, rad s radioaktivnim otpadom i demontiranje nuklearnih instalacija. Projekt zakona inače favorizira samostalnu proizvodnju električne energije u industrijskim i drugim elektranama izvan sistema.

RGE, 1/90.

J. M.

## GRADNJA EOLSKE ELEKTRANE

Najveći skup postrojenja za proizvodnju električne energije putem vjetra u Europi gradi se u Tarifi u Andaluziji. Postrojenje će proizvoditi 50 000 kWh godišnje i sastojat će se od 500 eolskih jedinica (tipa 56–100, kakvih je dosad 3 000 u pogonu u Kaliforniji, SAD). Investiciju u iznosu od 8 mili-

jardi peseta osigurala je privatna elektroprivredna organizacija Sevillana i Institut za razvoj Andaluzije.

RGE, 1/90.

J. M.

### IZGRADNJA NOVOG REAKTORA

Japanska kompanija Tohoku Electric Power započela je graditi drugu etapu nuklearne elektrane Onagawa. Za snagu 825 MW PWR ove druge tranše procijenjena investicija je 267 milijardi jena. Punjenje gorivom trebalo bi biti u svibnju 1995, a ulazak u komercijalni pogon u veljači 1996. Zanimljivo je da je ovo 50. jedinica japanskoga nuklearnog programa.

RGE, 1/90.

J. M.

### STUDIJA NOVOG ELEKTRONUKLEARNOG PROGRAMA

Tajlandska vlada odlučila je da financira elaboraciju novog programa izgradnje nuklearnih elektrana. Istodobno, jedna kompanija koja se bavi informativnom djelatnošću zadužena je da stanovništvu pokaže da je današnja nuklearna tehnologija dosegla zadovoljavajući nivo sigurnosti. To stoga što je 1974. do 1976, kada se govorilo o sličnom programu, bilo mnogo nepotrebnih protesta. Ovog trenutka čini se da je nuklearna energetika najbolje rješenje za zadovoljenje potreba Tajlanda, pa se unaprijed želi izbjeći nepotrebna opozicija. Tajland ima svoje zalihe uranove rude.

RGE, 1/90.

J. M.

### ODREĐENA LOKACIJA ZA PRVU NUKLEARNU ELEKTRANU U MAROKU

Lokacija Sidi Boulbra, na pola puta između gradova Safija i Essaouira, odabrana je kao najpovoljnija za gradnju prve nuklearne elektrane u Maroku. Lokaciju su odabrali marokanski eksperti u suradnji sa stranim stručnjacima. Pre-

mda će se prva jedinica spojiti na mrežu tek 2005. godine, ovim izborom počele su radnje na konstrukciji ove NE. Danas je proizvodnja električne energije podijeljena ovako: 87,6% iz termoelektrana (od čega 51,3% iz mazuta ili plina, a 36,3% iz elektrana na ugljen), dok je 12,4% proizvodnje iz hidroenergije.

RGE, 1/90.

J. M.

### PRIVATIZACIJA ELEKTROPRIVREDE

Nacionalna elektroprivredna kompanija (NEB) Malezije se privatizira. Ona je dekretom 1. siječnja 1990. postala komercijalno javno poduzeće, a u toku godine dana treba ponuditi svoj kapital privatnim zainteresiranim licima. Strani kapital smije doseći 25% kapitala, a Britanci su već istakli svoju kandidaturu. Dvije trećine kapitala ostaje u rukama vlasti, državnih ili lokalnih, a ostale mogu kupiti na tržištu svi zainteresirani. Vlada drži dio preferencijalnih akcija koje joj omogućuju da intervenira u slučaju problema s upravljanjem i vođenjem poduzeća. Planiranu dobit država misli usmjeravati u mirovinski fond.

RGE, 1/90

J. M.

### KREDITIRANJE HIDROENERGETSKOG PROJEKTA U MAROKU

SSSR je odlučio da kreditira Maroko s milijardu i pol dirhama radi financiranja izgradnje brane M'Jara. Taj kredit će biti otplaćen na interesantan način. Nakon počeka od pet godina Maroko je dužan da dvanaest godina vraća kredit, ali ne u novcu, nego u isporukama agruma, limuna i naranča. Slično kao što je rađeno pri gradnji brane kod Asuana u Egiptu, SSSR se udružio sa nekoliko zemalja radi konstrukcije brane M'Jara. Tako će Poljska, Italija, Francuska, Španjolska i SAD sudjelovati u financiranju ove brane. Projekt je prilično složen jer ispred brane M'Jara treba izgraditi petnaestak brana srednje veličine i tri stotine malih. Te male brane trebaju poslužiti za navodnjavanje.

RGE, 1/90.

J. M.

NOVO IZ PODUZEĆA »RADE KONČAR — TRANSFORMATORI«

## Prirodno starenje transformatora u pogonu i program revitalizacije

Trenutno stanje na domaćem tržištu energetske opreme izuzetno je nepovoljno kako za cijelu elektroenergetsku situaciju u zemlji, tako i za proizvođače energetske opreme i postrojenja. Razlozi su tome ponajprije u nepostojanju financijskih sredstava, pa su se tako ugovaranja za 1989. i 1990. god. za krupnu energetska opremu ili postrojenja svela na praktičnu nulu. Očito je da ni društvo u ovom trenutku nema financijske snage da ulaže u ono što je potrebno — u energetiku, a niti proizvođači opreme nemaju dovoljno poslova na domaćem tržištu u obliku novih narudžbi.

Takva je situacija i u Poduzeću »RK — Transformatori«, gdje trenutne procjene upućuju na činjenicu da bi sa ugovorima za 1990. godinu na domaćem tržištu bilo posla za 5% kapaciteta. Slične su procjene i za svaku od sljedećih pet godina, a podsjetimo da su na domaćem tržištu 3 proizvođača transformatora (»Rade Končar«, MINEL, Energoinvest).

S obzirom na to da je plasman na tržište bitno smanjen, u poduzeću »Rade Končar — Transformatori« iznalaze mogućnosti i za druge oblike poslovanja. Aktivnosti koje su na tom planu započete odnose se na prirodno starenje transformatora u pogonu i program revitalizacije. Revitalizacija obuhvaća obnovu i povećanje funkcionalnih vrijednosti opreme (transformatora) u eksploataciji, a time i produljenje životnog vijeka transformatora. Neminovna je činjenica da se s vremenom pouzdanost transformatora ubrzano smanjuje, što se smatra prirodnim procesom starenja, ponajprije zbog specifičnosti izolacijskog sistema što ga čine papir i ulje. Međutim, ako se na vrijeme intervenira sa složenim postupkom koji se sastoji od konzaltinga, dijagnoze, revitalizacije i pregradnje, mogu se postići dva bitna efekta: kao prvo proces prirodnog starenja se usporava i time se produljuje vijek trajanja transformatora, a kao drugo odlaže se u novo investiranje.

Stručno je obrađeno da je revitalizacija nužna u srednjoj dobi generatorskog transformatora (nakon 10 — 15 godina eksploatacije) i u starijoj dobi prijenosnog mrežnog transformatora (25 — 35 godina).

Program revitalizacije društvu daje vidnu financijsku korist, te omogućuje poboljšavanje funkcija energetskog sistema i u vrijeme investicijske besparice.

S druge strane, poduzeće »RK — Transformatori« u svoju lepezu ponude uključuje novu vrstu posla — nadzor, dijagnostiku, konzalting revitalizaciju transformatora koji su u pogonu. Time se povećavaju mogućnosti da se znanja stečena u Poduzeću »RK — Transformatori« plasiraju i na druge — složenije i zahtjevnije poslove, na višem stručnom i organizacijskom nivou, uz veće financijske efekte. U tom je smislu poduzeće »RK — Transformatori« izašlo s prvim promotivnim propagandnim materijalima među stručne institucije i elektroprivredne organizacije.

IZDAVAČI — PUBLISHER'S

Godište 39 (1990)

Zagreb 1990

Br. 6

Hrvatska elektroprivreda  
Institut za elektroprivredu, Zagreb  
SIZ za znanstveni rad Hrvatske

## SADRŽAJ

<i>Vuković V.</i> : Zavisnost snage reaktora od protoka rijeke Save pri niskim vodostajima (Originalni znanstveni rad) . . . . .	427
<i>Jelavić V. — Tanković Đ. — Škanata D.</i> : Preliminarna provjera sigurnosti odlagališta radioaktivnog otpada niske i srednje aktivnosti Nuklearne elektrane Krško (Originalni znanstveni rad) . . . . .	437
<i>Štahan I.</i> : Ekološki pogledi na novi asortiman sklopnih aparatura visokog napona (Pregledni rad) . . . . .	447
<i>Jugovac M.</i> : Izolirani vodiči na srednjonaponskim vodovima napona 10 i 20 kV (Pregledni rad) . . . . .	453
<i>Lang-Kosić N. — Radeka I.</i> : Planiranje razvoja srednjonaponske razdjelne mreže grada Zagreba pomoću računala (Stručni rad) . . . . .	459
<i>Pečvarac D.</i> : Određivanje faktora snage kategorije domaćinstvo u »Elektroslavoniji« Osijek (Stručni rad) . . . . .	465
<i>Pašić Z. — Imamović F. — Pašić J.</i> : Aspekti razvoja distantne zaštite (Pregledni rad) . . . . .	471
<i>Mahmutćehajić R. — Hajdin S.</i> : Sklopne pojave (Stručni rad) . . . . .	475
<b>Vijesti iz elektroprivrede</b> . . . . .	485
<b>Iz strane stručne literature</b> . . . . .	487
<b>Savjetovanja i konferencije</b> . . . . .	490
<b>Oglasi</b> . . . . .	493

## IZDAVAČKI SAVJET — THE PUBLISHING COUNCIL

Dr Niko *Malbaša*, 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. inž., Ministarstvo za energetiku — Zdenka *Jelić*, prof., Institut za elektroprivredu, Zagreb — Mr. 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: Mr. 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)

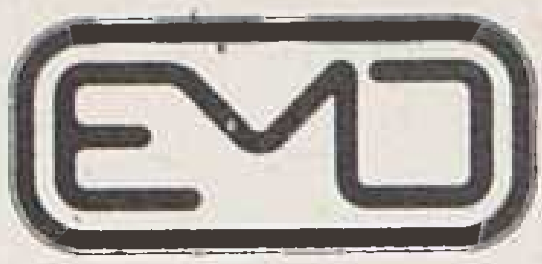
Godišnje izlazi 6 brojeva. Godišnja pretplata za pojedince iznosi 180,00 dinara, a za poduzeća i ustanove 300,00 dinara (za studente 120,00) dinara. Cijena pojedinog broja u prodaji 50,00.

Za inozemstvo \$ 90 godišnje.

Tekući račun kod Narodne banke, Zagreb

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

Tisak i klišej — Print: TIZ »Zrinski«, Čakovec

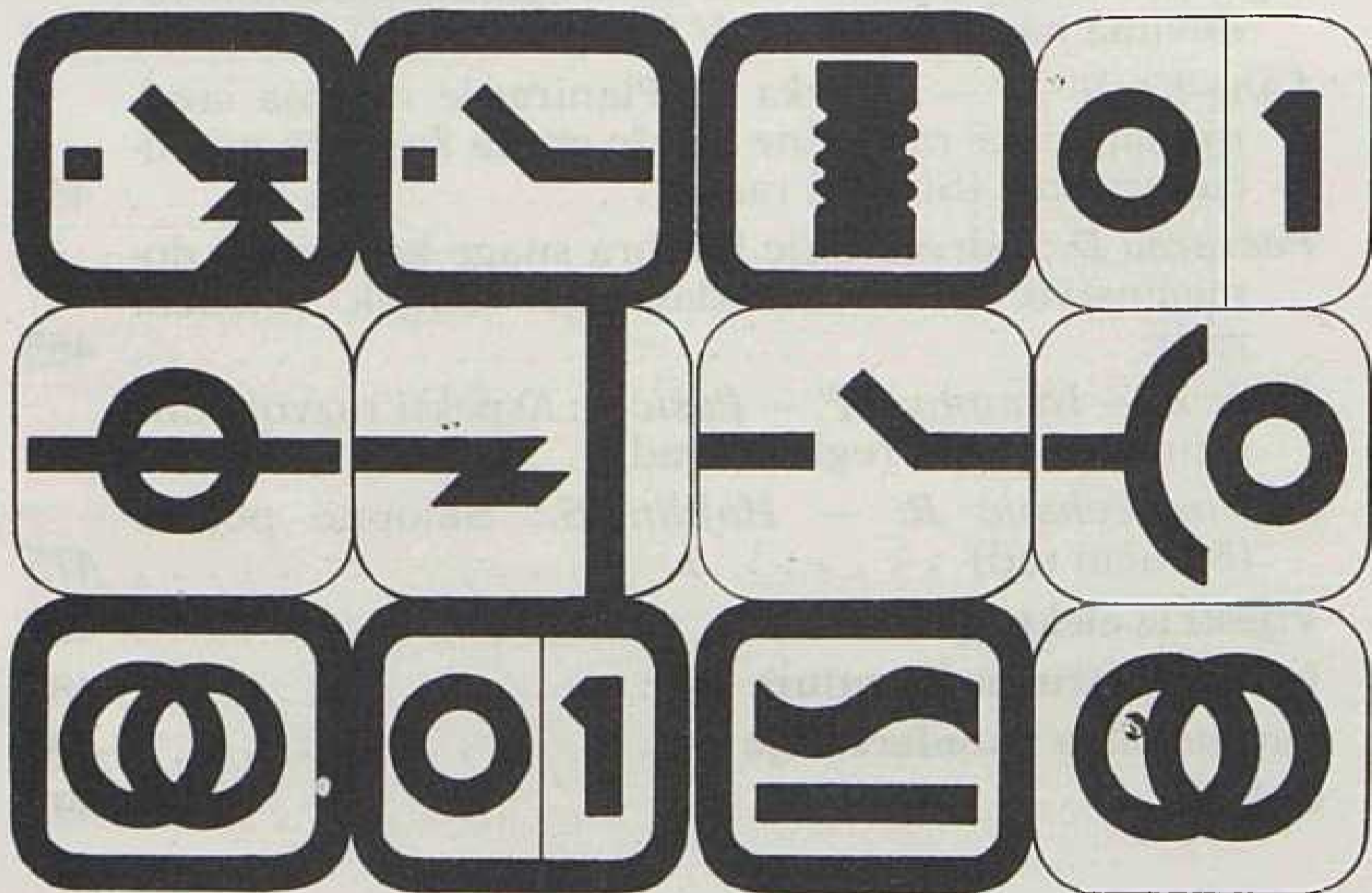


# EMO OHRID

## Elektroindustrija i inženjering

96000 Ohrid  
P. Fah 118  
telefon: 096/34-944  
telex: 53829 YU EMOOH  
telefax: 33690

- Elektropostrojenja za srednji napon, do 36 kV
- Elektropostrojenja za niski napon
- Modularni niskonaponski sistemi
- Distributivni transformatori do 10000 kVA
- Mjerni strujni transformatori za srednji i niski napon
- Naponski mjerni transformatori
- Potporni i provodni izolatori od epoksidnih smola, do 36 kV
- Rasklopni aparati za srednji i niski napon
- Automatika i elektronika
- Fleksibilni sistemi
- Stupovi za javnu rasvjetu
- Čelično rešetkasti stupovi, do 400 kV
- Ovjesna i spojna oprema za dalekovode, do 400 kV
- Elektrostatski filteri
- Površinska zaštita i limeni proizvodi
- Hladnooblikovani profili i metalni proizvodi

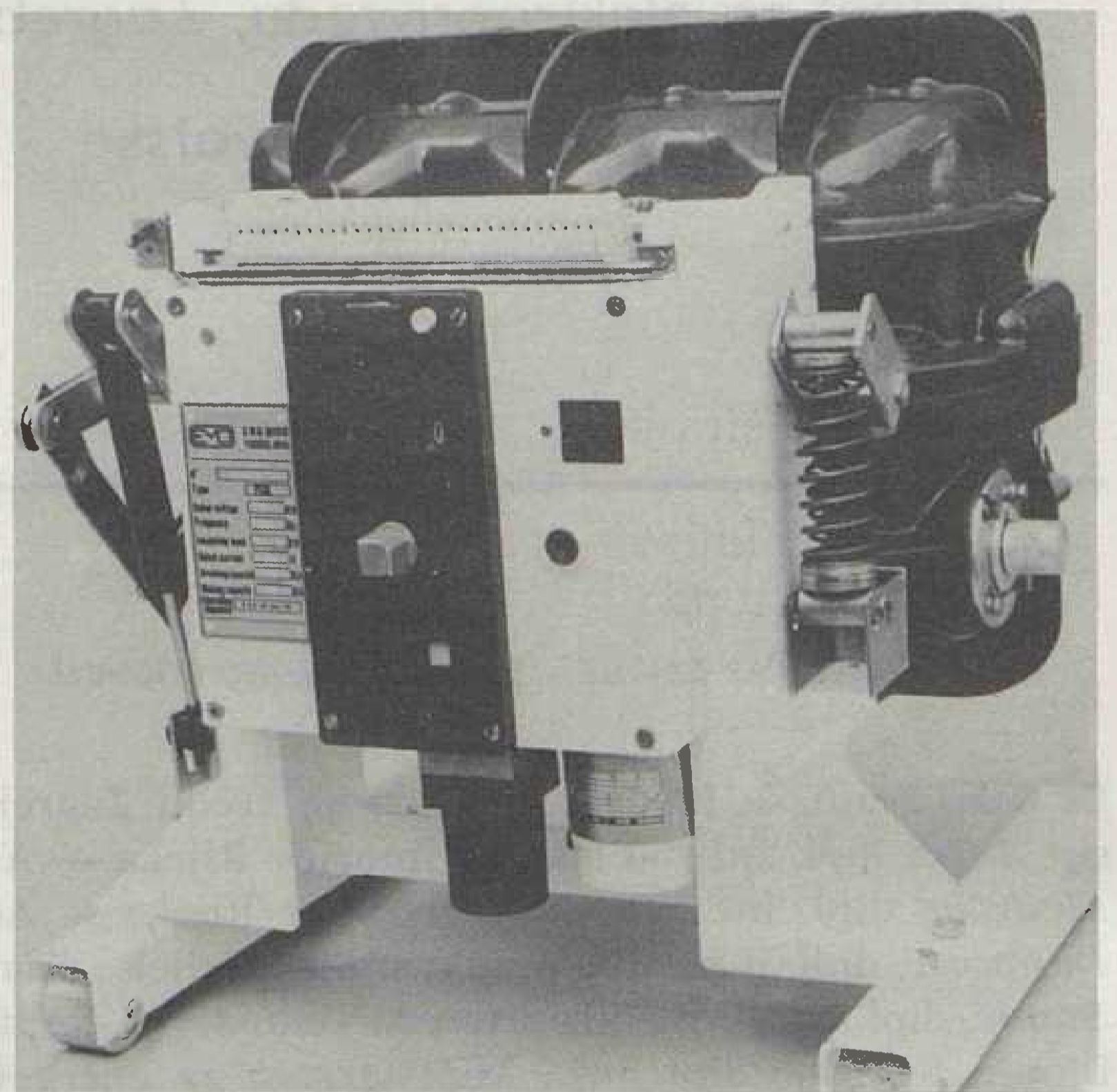


## INŽENJERING

- Preuzimanje kompletnih radova po sistemu »ključ u ruku«, odnosno projektiranje, proizvodnja i nabavka materijala i opreme, transport, montaža, ispitivanje i puštanje u pogon:
- Dalekovode svih napona
- Visokonaponske i niskonaponske mreže
- Elektroinstalacije (motorski razvod, automatika, instalacije za unutrašnje i vanjsko osvjetljenje, gromobranske instalacije i dr.)
- Elektrostatske filtere za suho prečišćavanje otpadnih plinova
- Metalne konstrukcije za tvorničke hale, mostove, visokonaponska razvodna postrojenja i dr.
- Cjevovode, naftovode, plinovode i dr.
- Hidro i termoelektreane, rafinerije, skladišta, silosa, objekte za crnu i obojenu metalurgiju, kemijsku industriju i dr.



Kelija sa izvlačivim SF6 prekidačem, 12 kV



SF6 prekidač, 12 kV, 1250 A



Suhi transformator, 630 kVA  
Termička klasa izolacije H



# ZAVISNOST SNAGE REAKTORA OD PROTOKA RIJEKE SAVE PRI NISKIM VODOSTAJIMA

Vladimir Vuković, Zagreb

UDK 621.039.5.5:621.22

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Razmatra se problem zagrijavanja Save otpadnom toplinom NE Krško. Budući da je NE Krško projektirana na  $\Delta T = 3^\circ\text{C}$ , a nadležni organi dozvoljavaju samo  $\Delta T = 2^\circ$ . NE Krško mora često smanjivati snagu reaktora. Predlaže se jednostavniji način računanja  $\Delta T$  preko snage reaktora, te ograničenja što bi bila prihvatljiva za NE Krško, a ne bi naškodilo Savi.

**Ključne riječi:** toplinsko opterećenje vodotoka, NE Krško, rashladni toranj.

## 1. UVOD

Događa se da šira javnost dolazi do nepouzdanih informacija i zbog novinskih napisa čiji autori ili nedovoljno ulaze u bit nekog problema, ili su pak bolje informirani, ali tendenciozno zaključuju. Nažalost, postoje i profesionalci koji se smatraju ekspertima, recimo u energetici, ali nikada ne ulaze u bit energetskih problema i određuju se prema sugestijama ponuđenih informacija. Nešto slično pridonijelo je i beskonačnim diskusijama o toplinskom opterećenju rijeke Save zbog rada NE Krško. Naime, iako je elektrana u pogonu već osmu godinu, tek je ove godine (26. 7. 1990), Republički sekretarjat za varstvo okolja in urejanje prostora, izdao Vodogospodarsko dovođenje.

Kritično niski protoci Save u prva dva mjeseca prošle godine (40 do 60 m<sup>3</sup>/s), te sporno mjerenje prirasta temperature zbog rada NEK, natjerali su autora ovog rada u veljači prošle godine da predloži neka rješenja, koja bi eliminirala sporove i poboljšala suradnju nadzornih organa i NEK [1, 2, 3]. Na kraju, od problema se ne smije bježati, već ih valja rješavati. Kako s vremenom ideje sazrijevaju i proširuju se, a dolazi i do potrebe informiranja šireg kruga zainteresiranih, ovdje će se obraditi tema kao što je naslovljeno.

Inače, NE Krško, s obzirom na rijeku Savu kao toplinski ponor nije idealno projektirana, a tome su (među ostalim) uzroci:

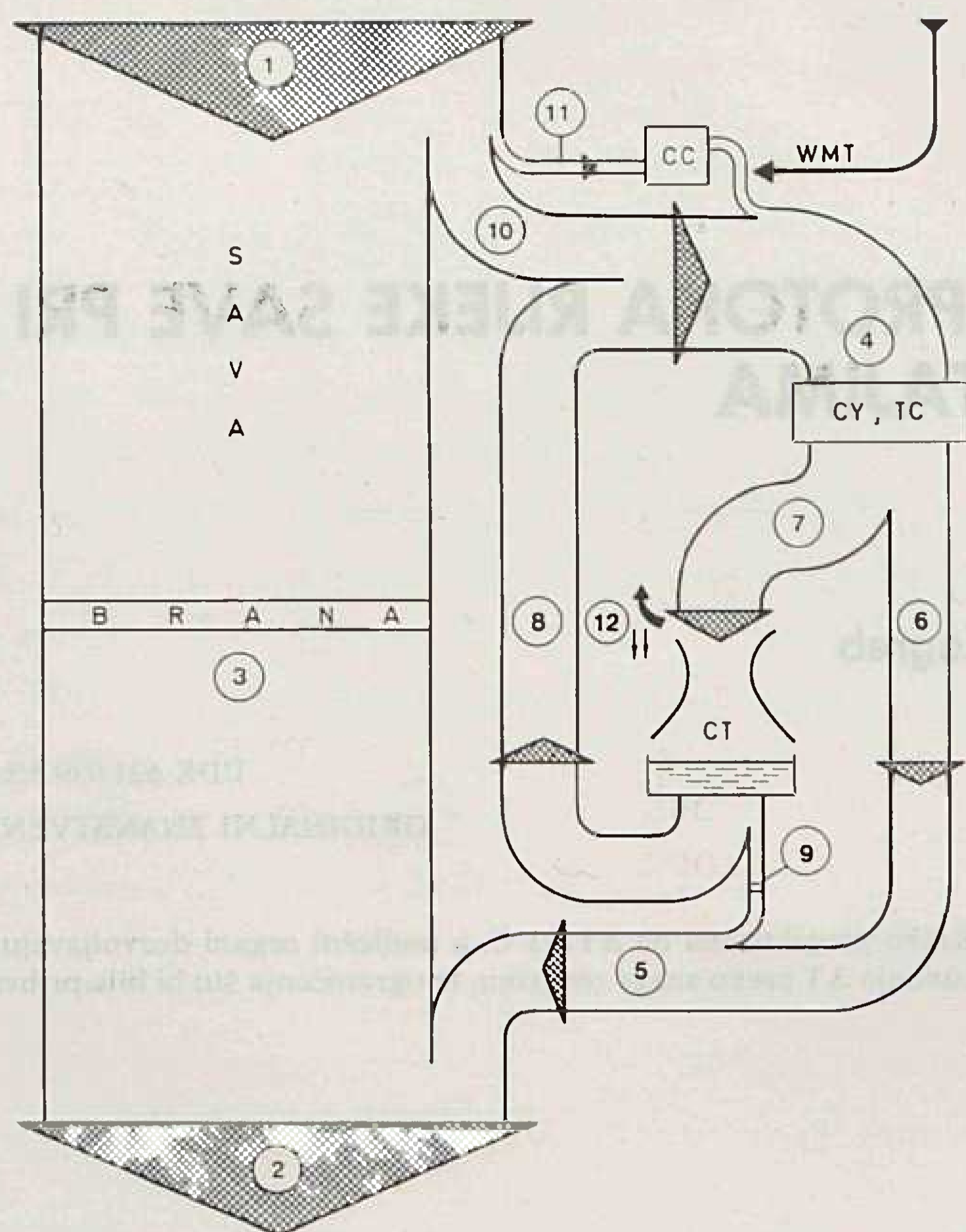
- velike oscilacije protoka tokom godine (i do 1:100)
- bojazan odgovarajućih struktura u pogledu negativnog djelovanja rashladnog sistema na mikroklimu
- nagli porast nečistoće riječne vode kada protok padne ispod 150 m<sup>3</sup>/s i rad rashladnog tornja postaje neizbježan
- »estetski« problemi
- želja da se dobije što više energije kada rijekom protječe dovoljno vode

- lokacijska dozvola uvjetuje oblik i veličinu rashladnih tornjeva, prirast temperature riječne vode zbog rada NE za 2°C (iznimno 3°C, u slučaju poboljšanja kvalitete), oduzimanje količine riječne vode do 25% od ukupnog protoka, te na kraju, maksimalnu temperaturu u točki miješanja iza elektrane, 28°C. Opisane okolnosti nametnule su rashladni sistaem upravo kakav je izgrađen. Ovakva kombinacija hlađenja ne omogućava rad elektrane na punoj snazi čim protok Save padne ispod 80 do 100 m<sup>3</sup>/s (zavisno od trenutnog kapaciteta razladnog tornja). Tada se snaga reaktora prilagođava kapacitetu toplinskog ponora. Objektivna situacija ipak u nekoj mjeri dozvoljava znatna poboljšanja, ako bi svi odgovorni faktori s puno strpljenja, znanja i dobre volje, analizirali konkretne probleme i poduzeli mjere koje dovode do rješenja.

## 2. POSTOJEĆE STANJE

Na slici 1. prikazan je dijagram tokova vode kroz i pored NE Krško, te distribucija preko sistema za hlađenje. Stanja su određena brojevima:

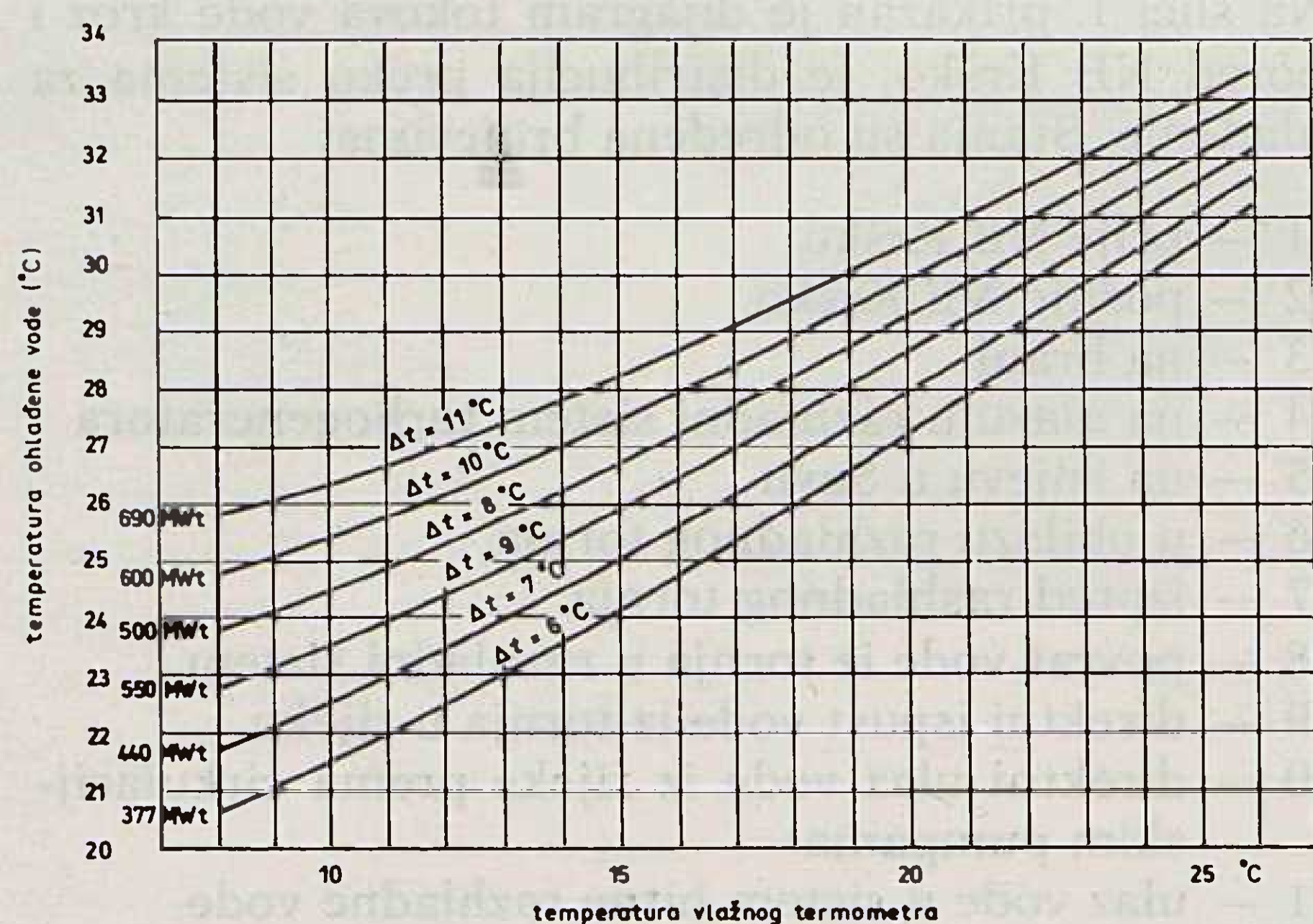
- 1 — prije NE Krško
- 2 — poslije NE Krško
- 3 — na brani
- 4 — na ulazu u rashladni sistem turbogeneratora
- 5 — na izljevu u Savu
- 6 — u obilazu rashladnog tornja
- 7 — izpred rashladnog tornja
- 8 — povrat vode iz tornja u rashladni sistem
- 9 — direktni ispušt vode iz tornja u rijeku
- 10 — direktni ulaz vode iz rijeke prema cirkulacijskim pumpama
- 11 — ulaz vode u sistem bitne rashladne vode
- 12 — gubitak vode u tornju (izhlapanje, odnošenje kapljica).



Slika 1. Dijagram tokova vode kroz NE Krško

Prema slici lako se postavi bilanca mase i energije u svrhu računanja termodinamičkih parametara.

Na slici 2. dane su garancijske krivulje hlađenja Marleyevih tornjeva za protok vode od 15 000 kg/s. Prema izvještaju IE Zagreb [5], pri testu je ostvarena snaga hlađenja nešto veća od garantirane, ali je potrebno skrenuti pažnju na relativnu vrijednost ovakve tvrdnje. Naime, snaga hlađenja varira ne samo s protokom vode kroz toranj i temperaturom vode u tornju, već također zavisi i od čistoće tornja te distribucije vode kroz toranj. Tako, naprimjer, smetnje može izazvati rast mikroorganizama i porast mehaničkih nečistoća pri niskim protocima rijeke (i naročito pri visokim temperaturama), što rezultira u začepļjavanju mlaznica u distribucijskim bazenima i prelijevanju vode iz ovih bazena. Prema garancijskim krivuljama i naravno uz projektne pretpostavke, kapacitet tornja varira približno između 377 i 690 MW.

Slika 2. Garantne krivulje hlađenja za protok  $F_T = 15.000$  kg/s

Kvaliteta savske vode uglavnom ovisi o vodostaju. Naime, globalno je opterećenje rijeke s kemikalijama, fekalijama i drugim mehaničkim nečistoćama konstantno, samo što se te nečistoće razrjeđuju različitim količinama vode. To znači (bar za sada) da je u kritičnim situacijama Sava uvijek prljavi kanal otpadnih voda, prikupljenih uzvodno od NEK, te je nepotrebno određivati kategoriju čistoće.

Prema višegodišnjoj statistici (krivulje trajanja protoka) ne računajući period remonta elektrane, čisto potočno hlađenje može se koristiti oko 230 dana godišnje, dok je redukciju snage potrebno vršiti 10 do 40 dana u godini, bez obzira na rad razhladnog tornja (manji broj vrijedi za porast temperature Save  $3^\circ\text{C}$ , a veći ako je dozvoljen prirast samo  $2^\circ\text{C}$ ).

Vrijednost dozvoljenog prirasta temperature Save je vrlo bitna za snagu elektrane uz pogon tornjeva, jer, naprimjer pri protoku Save od  $60\text{ m}^3/\text{s}$  i razhladnom učinku tornja od 380 MW snaga reaktora bi se mogla podići sa 70% na 100% kad bi se dozvolilo povećanje prirasta temperature Save od  $2^\circ\text{C}$  na  $3,5^\circ\text{C}$ , što u izvjesnim situacijama (recimo zimi) nije neprihvatljivo.

Problem grijanja Save nije teško riješiti optimiziranjem razhladnog sistema, a da tome treba pristupiti, neka posluži primjer pogonskog stanja na dan 29. 8. 1990. Pri protoku Save od  $63\text{ m}^3/\text{s}$ , radi dozvoljenog zagrijavanja rijeke za samo  $2^\circ\text{C}$  i radu tornja s učinkom od svega 345 MW, u jednodnevnoj proizvodnji izgubljeno je oko 5 000 MWh električne energije. Ekvivalentna elektrana na ugljen, s neto snagom od 210 MWe, za nadoknadu energije toga dana, utrošila je 5 500 tona, dosta kvalitetnog lignita čija vrijednost iznosi 550 slabih rudarskih mjesečnih plaća.

### 3. REAKTOR KAO IZVOR KORISNE I OTPADNE TOPLINE

Termalni reaktori proizvode energiju na principu njezina oslobađanja u lančanim reakcijama sporih (termalnih) neutrona s teškim (fisibilnim) atomima nuklearnog goriva (proces fisije, djeljenja, cijepanja). Očito je da bi snaga reaktora (u vatima, W) mogla biti upravo proporcionalna s brojem fisija u jedinici vremena i obrnuto proporcionalna s potrebnim brojem fisija za snagu od 1W. Ako se uzme da se pri pojedinačnoj fisiji oslobađa  $200\text{ MeV}$  energije, onda za 1W je potrebno  $3,12 \cdot 10^{10}$  fisija u sekundi. I zaista, snaga reaktora može se dati izrazom

$$P = \frac{\Sigma_f \cdot \Phi \cdot V}{3,12 \cdot 10^{10}} \text{ [W]} \quad (1)$$

gdje je

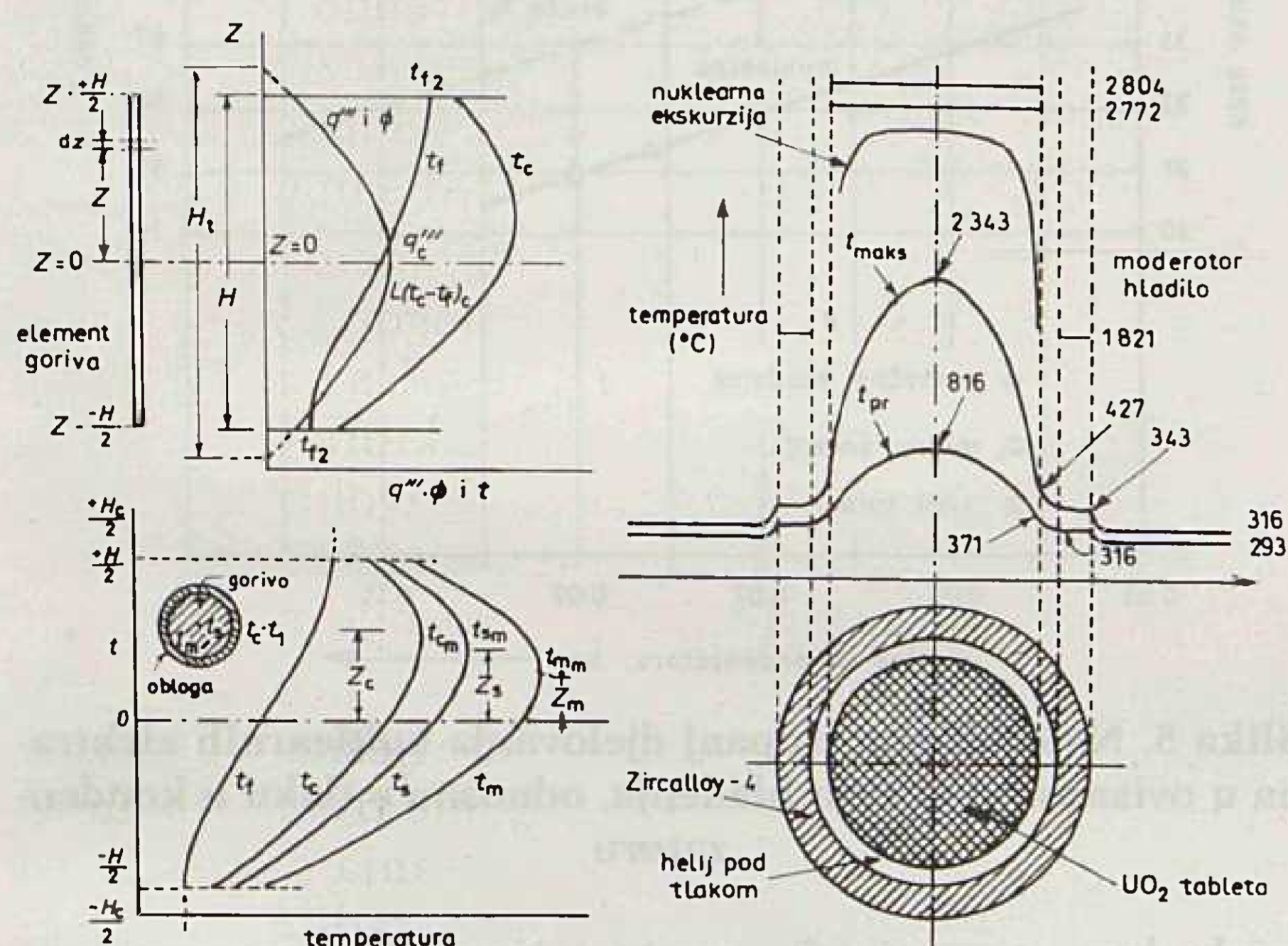
$\Sigma_f$ , makroskopski poprečni presjek za fisiju, odnosno vjerojatnost interakcije neutrona s fisibilnim jezgrama po jedinici dužine puta  $\text{cm}^{-1}$ ;

$\Phi$ , neutronska fluks ili mjera neutronske zračenja, odnosno broj neutrona koji u jedinici vremena prolaze kroz jedinicu površine snopa (gustoća neutronske toka)

$$\Phi = n v \left[ \frac{\text{neutrona cm}}{\text{cm}^3 \text{ s}} \right]$$

$V$ , volumen fisibilnog materijala ( $\text{cm}^3$ ).

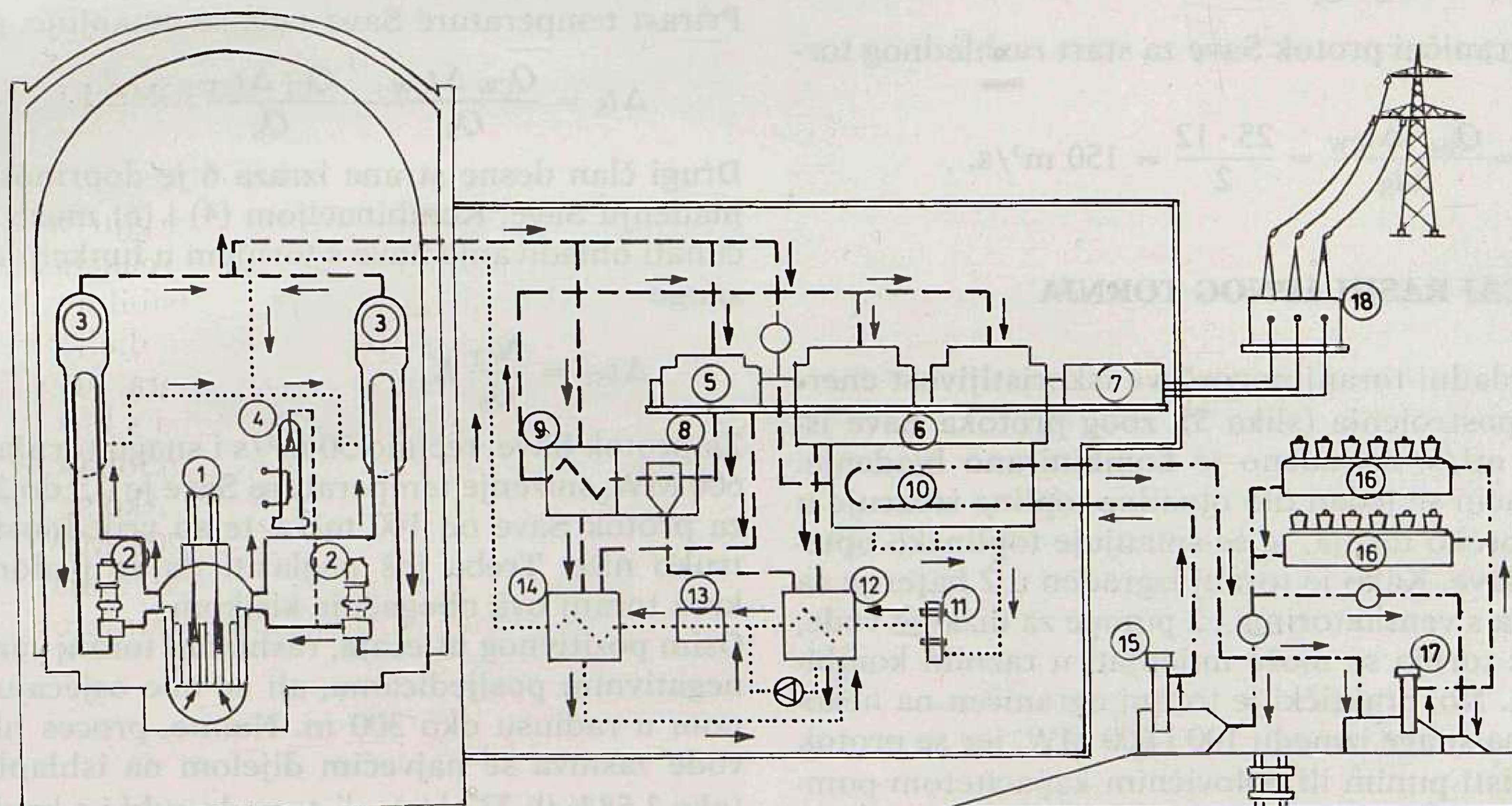
Naravno, ovdje se radi o prosječnim vrijednostima  $\Sigma_f$  i  $\Phi$  jer se stvarne lokalne vrijednosti mjenjaju po visini ( $z$ ) i radiusu ( $r$ ) jezgre, prema poznatim zakonitostima. Na slici 3. prikazan je aksijalni profil neutronskega fluksa, kao i pripadajući drugi parametri za jednu šipku goriva. Maksimalne vrijednosti pripadaju srednjem dijelu jezgre [4].



Slika 3. Aksijalni i radijalni temperaturni profili kroz šipku goriva: ( $\Phi$ ) = neutronskega fluks, ( $i$ ) = entalpija hladila, ( $q''$ ) = jačina volumetrijskog toplinskog fluksa, ( $t_f$ ) = temperatura hladila, ( $t_c$ ) = temperatura obloge goriva, ( $t_s$ ) = temperatura na površini goriva ( $t_m$ ) = temperatura u središtu šipke goriva

Veličina  $\Sigma_f$  zavisi od izotopskog sastava goriva i strukture jezgre, ali se uvjetno može uzeti konstantom. Preostaje da se kontrola reaktora vrši promjenom neutronskega fluksa. Za NE Krško (PWR) kontrola se vrši koncentracijom bora u hladilu i kontrolnim šipkama (spektarni absorber Ag, Cd i In). Položaj kontrolnih šipki i koncentracija bora za određeni odgor goriva određuje snagu reaktora.

Mjerenje neutronskega fluksa vrši se detektorima u jezgri reaktora kao i detektorima smještenim oko jezgre izvan reaktora. Iz mjerenja neutronskega fluksa izvedeni su i signali za 6 načina zaštite reaktora. Na desnoj strani slike 3. prikazan je temperaturni profil po radiusu šipke goriva. Temperature u gorivu zavise od neutronskega fluksa (proizvodnja energije) i termohidrauličkog stanja hladila u danoj lokaciji jezgre. Postoje granične temperature goriva, te je prihvaćeno načelo projektiranja da se integritet goriva mora održati u svim mogućim pogonskim uvjetima [4]. Kako ekspanzija goriva koje se tali može oštetiti oblogu, bitan je i projektni kriterij, da se gorivo ne smije taliti. Talište goriva ovisi o odgoru (stupanj izgorenosti), odnosno o frakcijama fisibilnih atoma. Općenito je talište komercijalnog  $\text{UO}_2$  2760 °C do 2876 °C, dok je najviša temperatura goriva u reaktoru nešto izpod 2482 °C. Naravno, projekt jezgre i kontrolno zaštitni sistemi reaktora sprečavaju prijelaz graničnih temperatura. U protivnom došlo bi do taljenja goriva i do kvara koji je nedopustiv. Kako je termička snaga reaktora NE Krško ograničena na 1882 MW, to je i optočni sistem projektiran za odvod ekvivalentne energije (uključivši i generatore pare). Sljedeći ograničivač energetskega toka prema Savi je turbina i kondenzator (slika 4). Obje ove kompo-



1. Reaktor
2. Reaktorske rashladne pumpe
3. Generatori pare
4. Tlačnik
5. Visokotlačni dio turbine
6. Niskotlačni dio turbine

7. Generator električne struje
8. Separator pare
9. Pregrijač pare
10. Kondenzatori
11. Pumpa kondenzata
12. Niskotlačni predgrijač

13. Napojne pumpe
14. Visokotlačni predgrijač
15. Pumpa rashladne vode
16. Rashladni tornjevi
17. Pumpa rashladnih tornjeva
18. Transformator

4. Shema nuklearne elektrane Krško

nente su također projektirane i izvedene za preuzimanje i pretvorbu samo one energije, koja se može generirati u reaktoru. Približno jedna trećina primarne energije pretvara se u električnu, a dvije trećine, preko rashladnih površina kondenzatora dospijeva u toplinski ponor, odnosno okolinu elektrane. S kapacitetom cirkulacijskih crpki i veličinom rasplodne površine kondenzatora, ovaj je sistem ograničen na projektnu snagu 1 269 MW. Eventualne veće količine pare povećale bi tlak u kondenzatoru i dovele do izbačaja elektrane iz pogona. Jednostavno, ni primarni ni sekundarni sistem za pretvorbu i prijenos energije nisu fizički dimenzionirani da bi okolinu opteretili energijom većom od projektirane. Inače se trenutna snaga kondenzatora lako izračuna prema izrazu

$$N_{cy} = Q_{cw} \cdot \Delta t_{cw} \cdot K, \quad (2)$$

gdje je

$Q_{cw}$ , količina optočne vode kroz kondenzator,  $m^3/s$ ;

$\Delta t_c$ , prirast temperature rashladne vode kroz kondenzator,  $^{\circ}C$ ;

$K = 4,1868 [MW/(^{\circ}C, m^3/s)]$

Toplinska polucija Save bez rashladnog tornja, a zbog rada turbogeneratora, jednostavno se može izračunati iz izraza

$$\Delta t_s = \frac{Q_{cw} \cdot \Delta t_{cw}}{Q_s}, \quad (3)$$

gdje  $Q_s$  predstavlja ukupni protok Save ( $m^3/s$ ).

Ako se, naprimjer, uzmu projektne veličine za

$$Q_{cw} = 25 \text{ m}^3/s$$

$$\Delta t_{cw} = 12 \text{ }^{\circ}C$$

$$\Delta t_s = 2 \text{ }^{\circ}C,$$

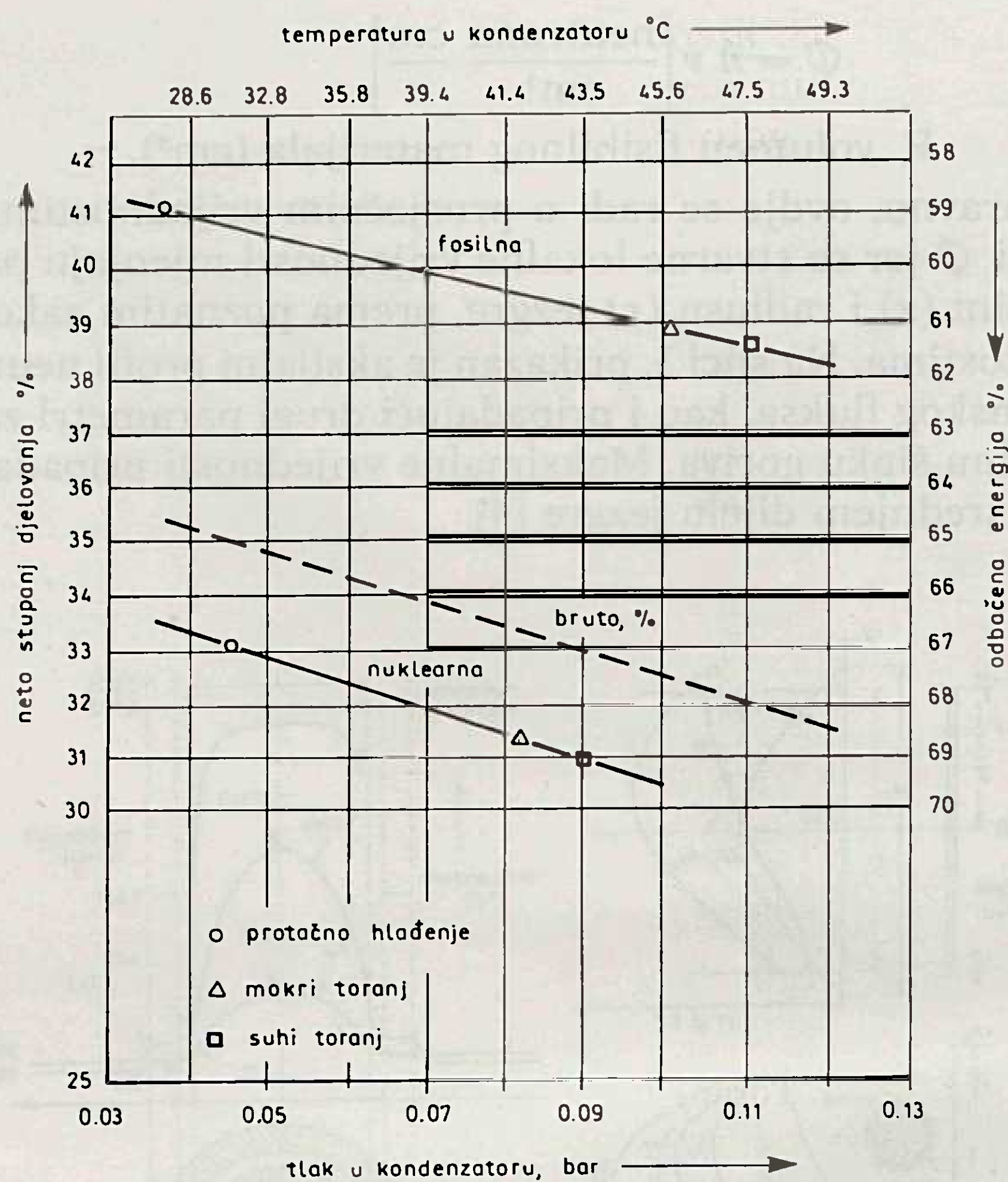
onda je granični protok Save za start rashladnog tornja

$$Q_s = \frac{Q_{sw} \cdot \Delta t_{cw}}{\Delta t_s} = \frac{25 \cdot 12}{2} = 150 \text{ m}^3/s.$$

#### 4. UTJECAJ RASHLADNOG TORNJJA

Iako rashladni toranj pogoršava iskoristljivost energetskog postrojenja (slika 5), zbog protoka Save ispod  $150 \text{ m}^3/s$ , izgrađeno je kombinirano hlađenje. Na taj način se jedan dio otpadne topline izbacuje u okolinu preko tornja, te se smanjuje toplinsko opterećenje Save. Kako je toranj izgrađen u 2 baterije sa po 6 ćelija s ventilatorima i 2 pumpe za dizanje vode, kapacitet tornja se može mijenjati u raznim kombinacijama. No, praktički je toranj ograničen na nekoliko razina snage između 100 i 600 MW, jer se protok vode koristi punim ili polovičnim kapacitetom pumpi (ovisno o brzini opadanja protoka Save i ispravnosti pumpi), a uključivanje ventilatora je ovisno i o njihovoj ispravnosti ili o potrebi odleđivanja odnosno sprečavanja zaleđivanja zimi. Također brzo onečišćavanje distribucijskog i rasprsnog sistema može naglo umanjivati kapacitet.

Pravi kapacitet tornja lako se izračuna analogijom s formulom (2), ali se sada uvrštava količina vode koja



Slika 5. Neto i bruto stupanj djelovanja nuklearnih elektrana u ovisnosti o načinu hlađenja, odnosno o tlaku u kondenzatoru

pada kroz toranj ( $Q_{TW}$ ,  $m^3/s$ ) i razlika temperature kroz toranj ( $\Delta t_T$ ,  $^{\circ}C$ ), tako da je

$$N_{CT} = Q_{TW} \Delta t_{TW} K. \quad (4)$$

Kada je toranj u pogonu, predana energija u kondenzatoru (jedn. 2) dijeli se na Savu i na toranj:

$$Q_{cw} \Delta t_{cw} = Q_s \Delta t_s + Q_{CT} \Delta t_{CT}. \quad (5)$$

Prirast temperature Save sada se umanjuje, pa je

$$\Delta t_s = \frac{Q_{cw} \Delta t_{cw}}{Q_s} - \frac{Q_{CT} \Delta t_{CT}}{Q_s} \quad (6)$$

Drugi član desne strane izraza 6 je doprinos tornja hlađenju Save. Kombinacijom (4) i (6) može se izračunati ohlađivanje Save s tornjem u funkciji njegove snage

$$\Delta t_{ST} = \frac{N_{CT}}{Q_s} K \quad (7)$$

Za protok Save, recimo  $50 \text{ m}^3/s$  i snagu tornja 100 do 600 MW, sniženje temperature Save je 0,5 do 2,8  $^{\circ}C$ , a za protok Save od  $100 \text{ m}^3/s$ , te su vrijednosti dvostruko niže. Treba još naglasiti da se padom vode kroz toranj ova obogaćuje kisikom.

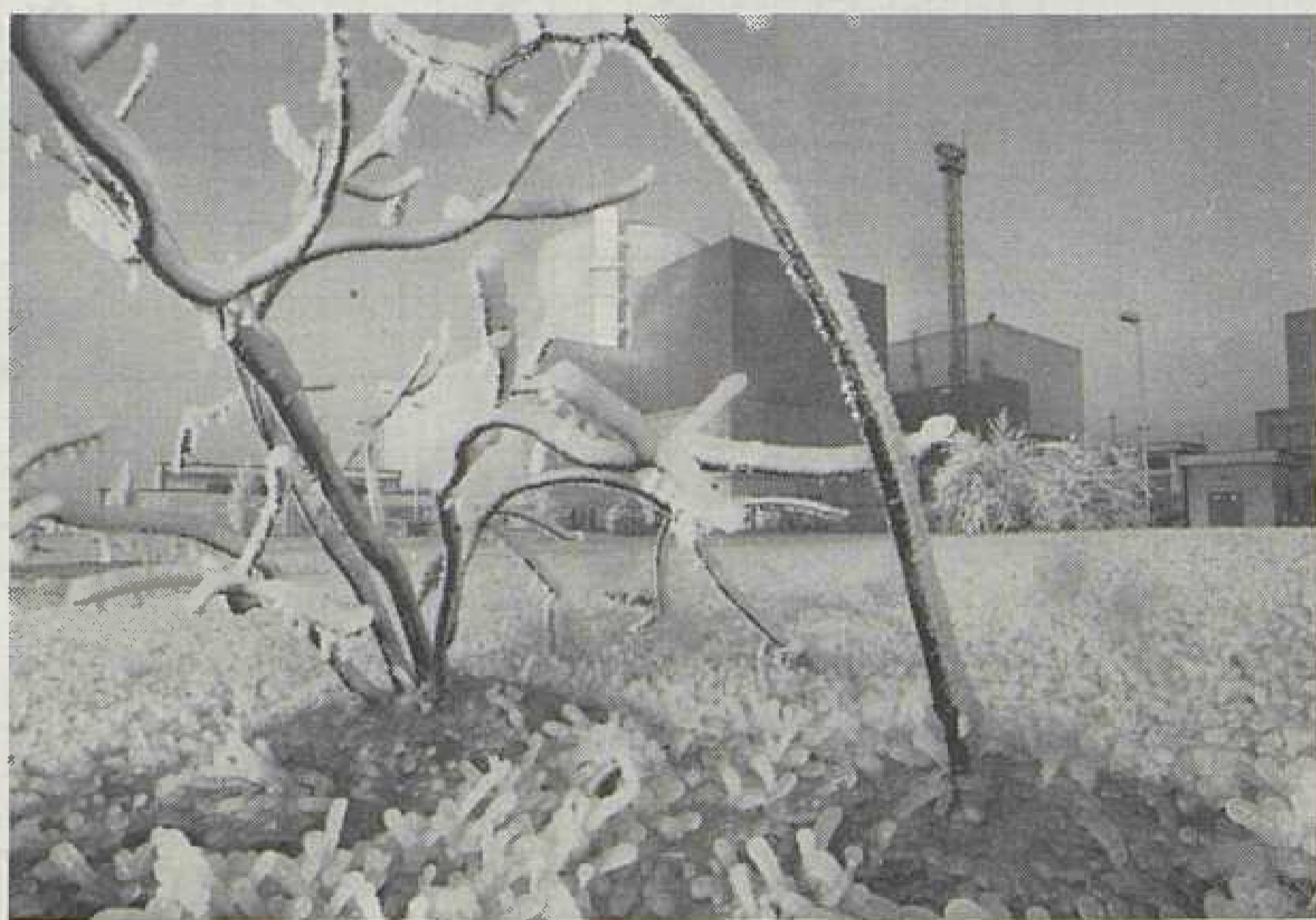
Osim pozitivnog utjecaja, rashladni toranj rezultira i negativnim posljedicama, ali se one osjećaju uglavnom u radiusu oko 300 m. Naime, proces hlađenja vode zasniva se najvećim dijelom na ishlapljivanju (oko 1,58% ili 237 l/s), ali se voda gubi i s kapljicama (oko 0,50% ili 7,5 l/s). Ako se uzme da ishlapljivanjem odlazi u atmosferu gotovo čista voda u obliku vodene pare, onda u okolini tornjeva završava voda u obliku kapljica, i to:

- raspršivanje strujom zraka 7,5 l/s;
  - prelijevanje tornjeva 2,5 l/s;
- odnosno 10 l/s ili 36  $m^3/h$ .

Slike 6, 7. i 8. lijepo ilustriraju zimske probleme, a pri ekstremnim meteorološkim uvjetima zimi, toranj može postati gotovo nepristupačan.



Slika 6. Toranj zimi može biti i nepristupačan



Slika 7.

## 5. PRAĆENJE RADA RASHLADNOG SISTEMA

Radi utjecaja na okolinu, rad rashladnog sistema nadziru institucije regulatornih organa. Izvještaji s podacima šalju se nadzornim organima svakodnevno (NEK Procedura PMP – 1.2.2). Namjena izvještaja je uredno dostavljanje meteoroloških hidroloških, radioloških i pogonskih podataka na sva mjesta koje su odredili inspeksijski organi Hrvatske i Slovenije. Između ostalog, izvještaj sadrži i izračun prirasta temperature Save zbog rada NE Krško. Formula je izvedena iz energetske bilance miješanja vode iz elektrane i vode koja prelazi branu na Savi pokraj elektrane. Upotrebom indeksa za protoke i temperature prema slici 1 formula dobiva sljedeći oblik:

$$\Delta t_s = \frac{Q_6(t_6 - t_1) + Q_9(t_9 - t_1)}{Q_2} \quad (8)$$

Potrebno je, dakle, imati izmjerena tri protoke i tri temperature, isto kao i za slučaj računanja po formuli (6).



Slika 8.

Mjerenje protoka Save preko razine vode je otežano (naročito pri niskim vodostajima), jer se i oblik rijeke s vremenom mijenja. Lakše je mjerenje u NE Krško jer su izgrađeni preljevni pragovi (brana na Savi i izljevni bunar kondenzatora). Pri radu rashladnog tornja uz potpunu otvorenost zapornice za direktan ispušt vode iz tornja u Savu, jedan dio ohlađene vode ( $Q_9$ ) se ne vraća u kondenzator.

Dogovorene su konstante

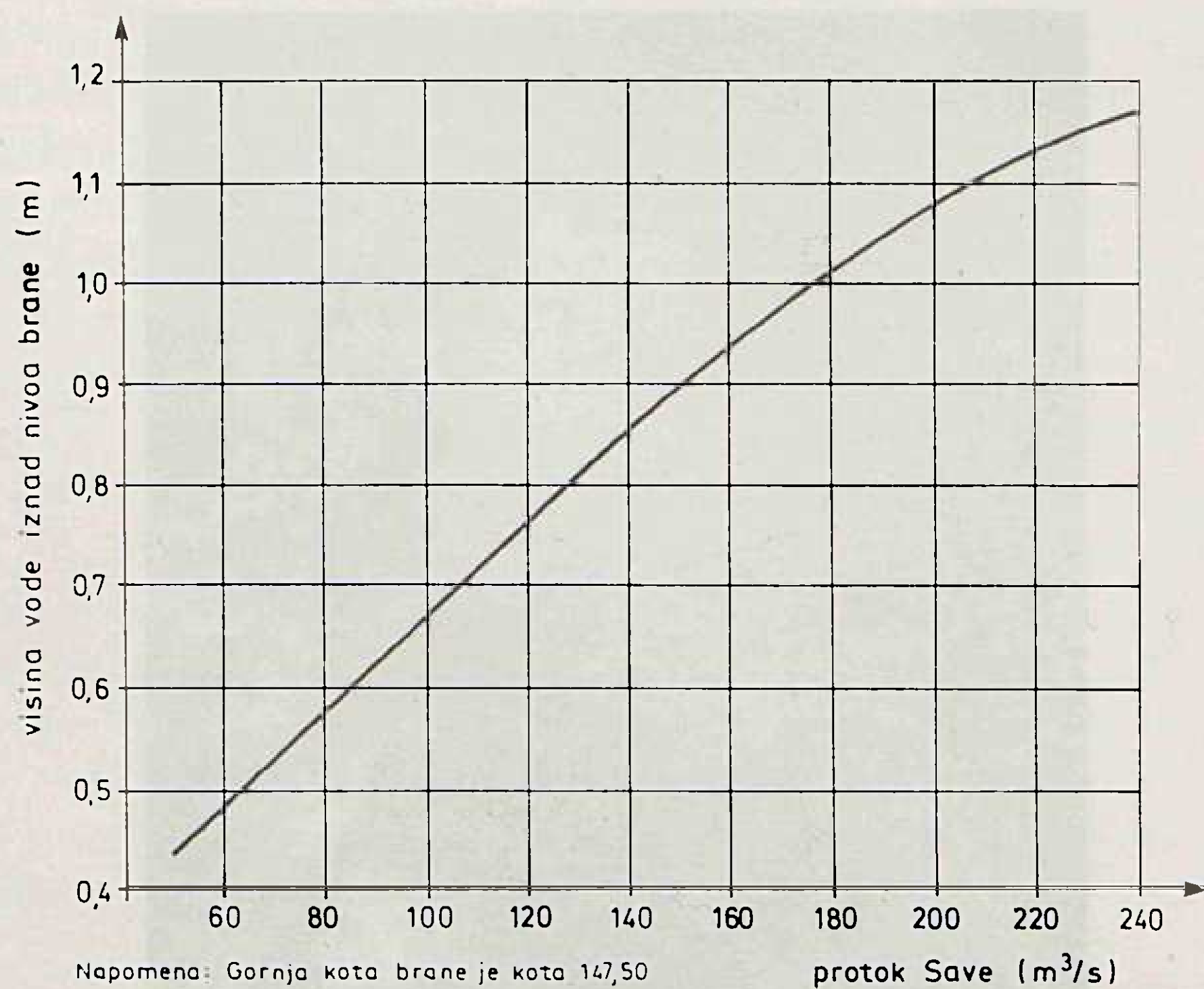
$Q_9 = 3,5 \text{ m}^3/\text{s}$  s jednom CT pumpom i

$Q_9 = 5,0 \text{ m}^3/\text{s}$  dvije CT pumpe u radu.

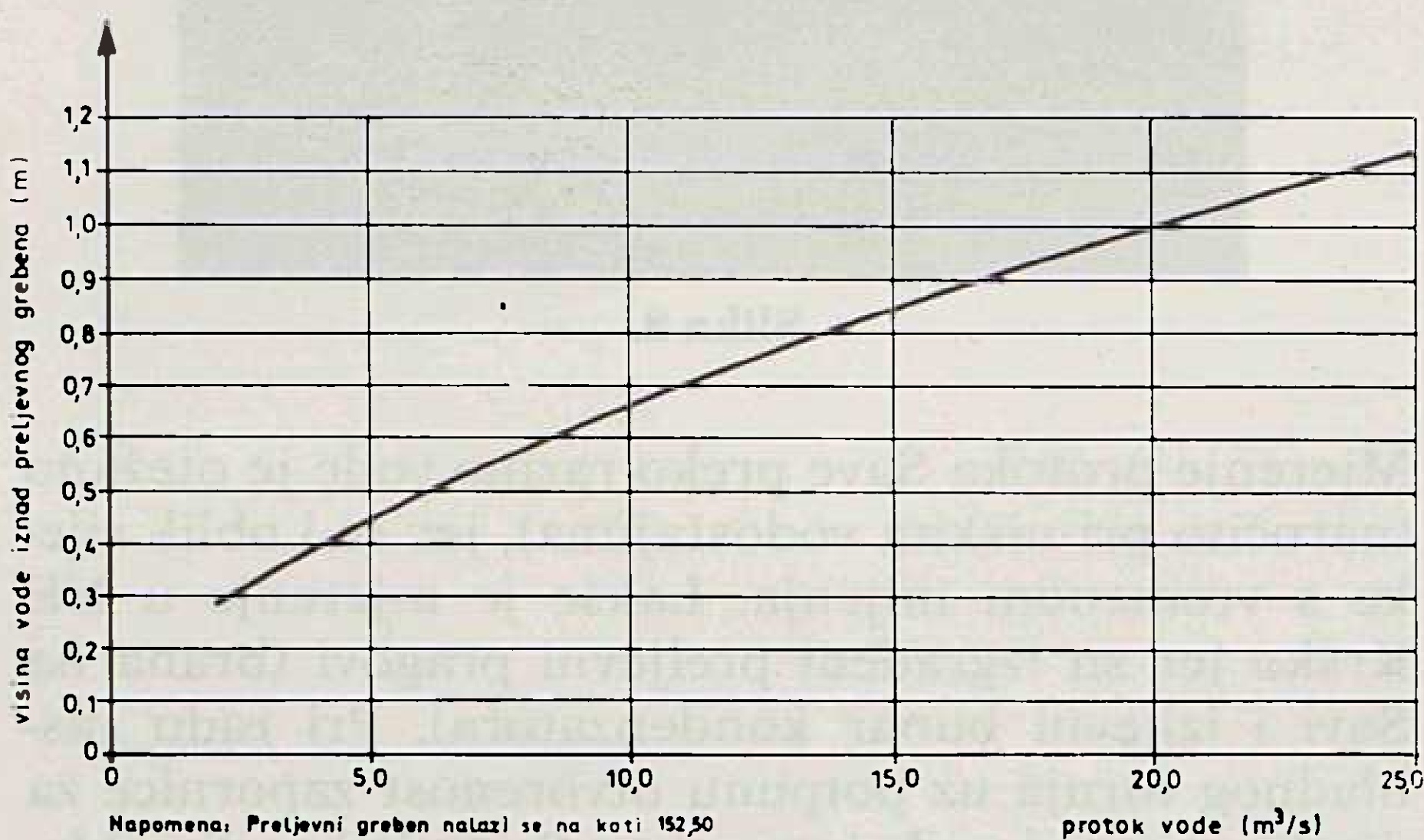
Ako se gubici na rashladnom tornju zanemare ( $< 2\%$ ), onda  $Q_3 + Q_6 + Q_9 = Q_2$  čini ukupni protok Save (slika 1).

Na slici 9. dana je protočna krivulja preko zapornica na brani, a na slici 10, preko praga izljevno bunara kondenzatora.

Dodatna provjera protoka vode kroz elektranu moguća je i preko  $Q-H$  krivulja pumpi, a i izračunom i/ili mjerenjem temperatura miješanja. Na slici 11. dana je  $Q-H$  krivulja rashladne pumpe, a na slici 12,  $Q-H$  krivulja pumpe tornja. Usporedba laboratorijske krivulje u praksi je moguća recimo mjerenjem brzine punjenja donjeg bazena tornja ili mjerenjem brzine vode u kanalima. Mjerenje protoka u NEK nije problematično, jedini problem može nastati pri mjerenju temperature Save (spor s Vodoprivredom), kada su mali protoci, jer temperaturna polja zavise i od ispusta industrijskih voda u rijeku prije elektrane te od načina miješanja vode nakon elektrane, kao i drugih utjecaja (insolacija). Da bi se izbjeglo mjerenje prirasta temperature Save zbog rada elektrane, ovdje će se opisati prijedlog određivanja prirasta u zavisnosti od snage nuklearnog reaktora, koja se neprekidno i precizno mjeri i registrira.



Slika 9. Protočna krivulja preljeva brane na Savi kod NE Krško



Slika 10. Protočna krivulja preljevnog praga povratne vode

## 6. BRZO ODREĐIVANJE SNAGE REAKTORA IZ DOPUŠTENOG ZAGRIJAVANJA SAVE, TE ODREĐIVANJE PRIRASTA TEMPERATURE SAVE IZ SNAGE REAKTORA BEZ MJERENJA TEMPERATURE SAVE

Prema [8], specifična potrošnja topline u zavisnosti od snage turbogeneratora iznosi:

za 100%	2,83 kW/kW
za 70%	2,87 kW/kW.

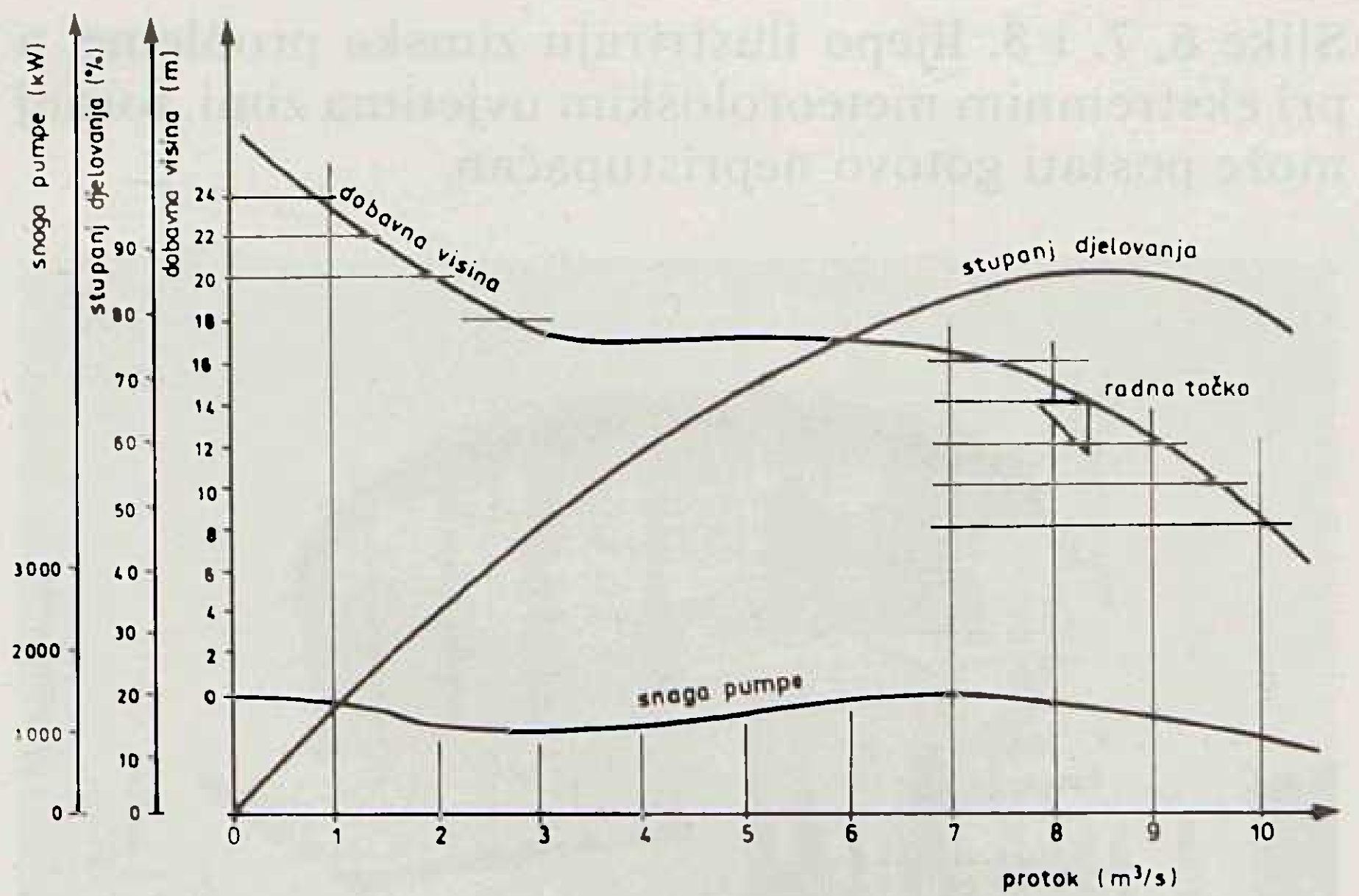
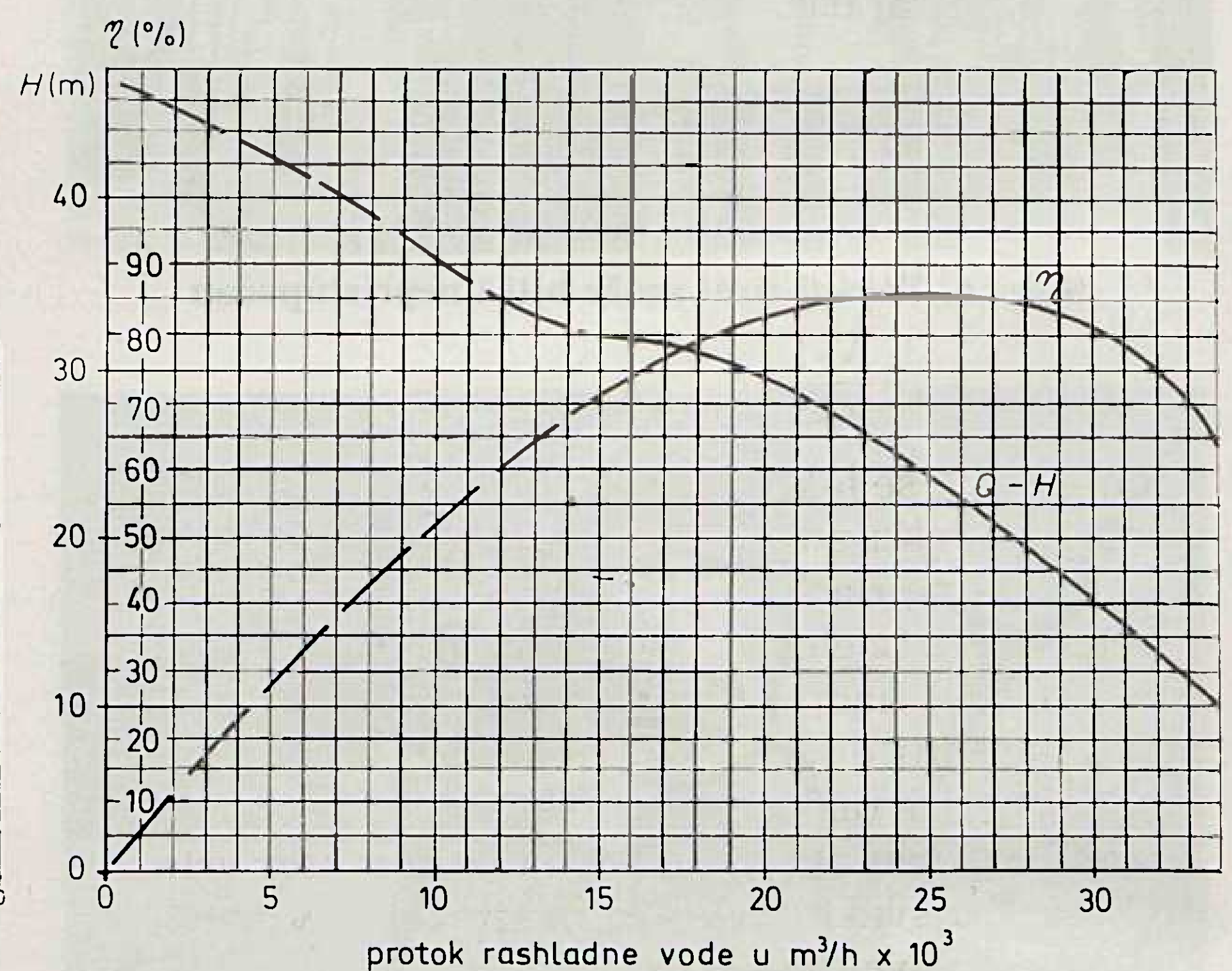
Prema [8], slika 13, pri otežanim uvjetima hlađenja (porast tlaka u kondenzatoru) snaga na stezaljkama generatora se smanjuje. Prema dosadašnjem iskustvu i nešto konzervativnijem pristupu, ova redukcija može se uzeti oko 5%, odnosno snaga na generatoru je  $660 - 33 = 627$  MW, što kod nominalne snage daje povećani specifični potrošak energije, odnosno

$$1\,882/627 = 3 \text{ kW/kW.}$$

Savu opterećuje razlika,  $1\,882 - 627 = 1255$  MW, ako toranj nije u pogonu.

Energetska jednačba za transfer energije iz reaktora u Savu i rashladni toranj može se pisati:

$$N_R - N_G = K(Q_S \Delta t_S + Q_T \Delta t_T), \quad (9)$$

Slika 11.  $Q-H$  krivulja glavnih rashladnih pumpiSlika 12.  $Q-H$  krivulja pumpe rashladnog tornja

gdje  $N_R$  i  $N_G$  označuju snagu reaktora, odnosno generatora.

Razliku  $N_R - N_G = 1\,255$  MW, može se svesti i na procent snage reaktora, što znači da svaki procent snage reaktora opterećuje rashladnu vodu s 12,55 MW, koji se može podijeliti na Savu i rashladni toranj, ako je to potrebno.

Sada se jednačba (9) može pisati:

$$N_R(\%) \cdot 12,55 = K(Q_S \Delta t_S + Q_T \Delta t_T)$$

ili

$$N_R(\%) = \frac{4,1868}{12,55} (Q_S \Delta t_S + Q_T \Delta t_T).$$

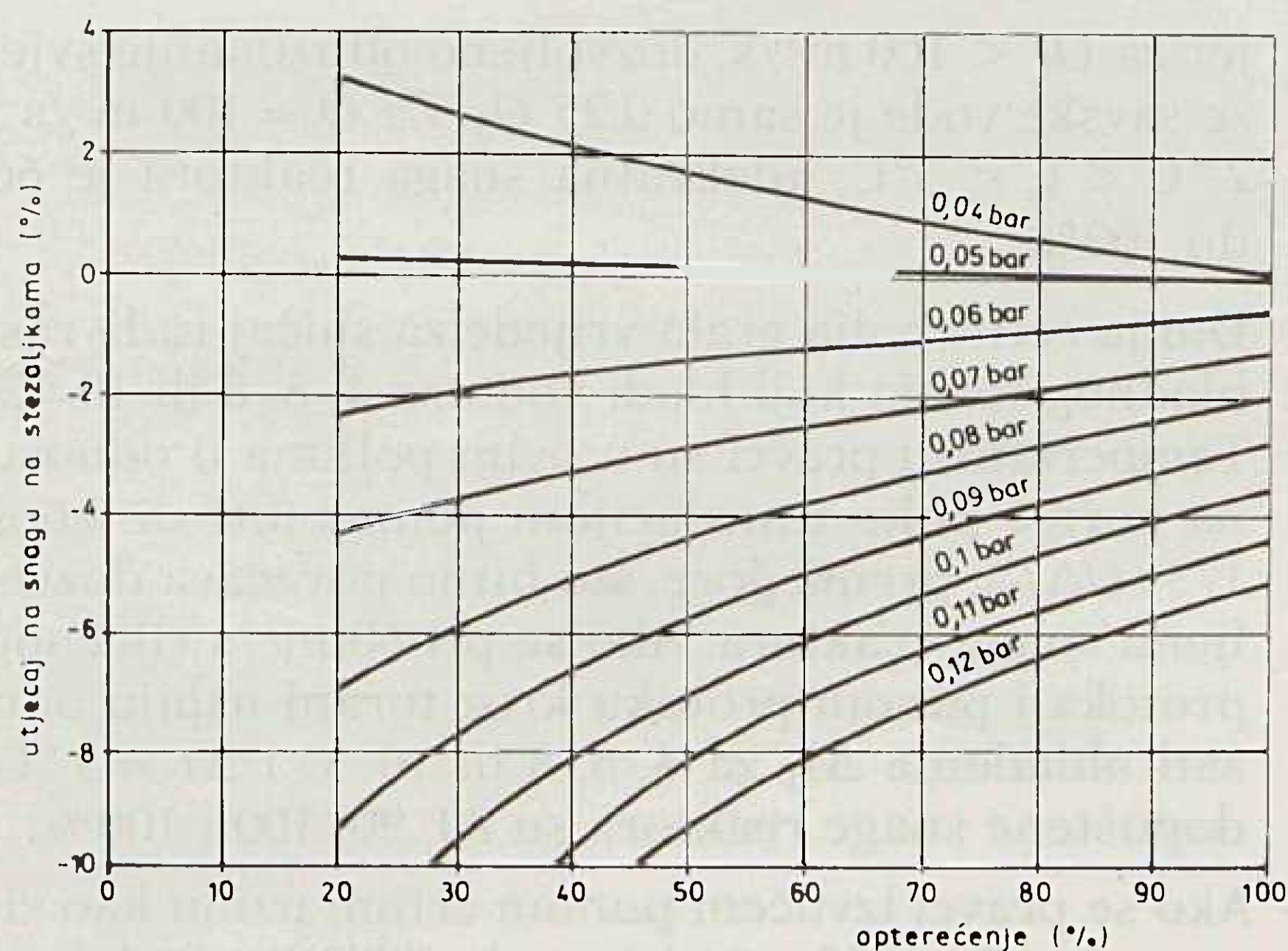
Konačno se izraz može zaokružiti jednostavno na

$$N(\%) = 1/3 (Q_S \Delta t_S + Q_T \Delta t_T), \quad (10)$$

gdje  $N_R(\%)$  znači snagu reaktora u postocima nominalne snage u zavisnosti od protoka i prirasta temperature rashladne vode:

$$N_R = f(Q_S, Q_T, \Delta t_S, \Delta t_T).$$

Konstanta  $1/3$  u jednačbi (10) znači da svakom procentu snage reaktora treba  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  rashladne vode koja se zagrije za  $1\text{C}$ , odnosno  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  ako se grije za  $3\text{C}$ , ili  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  za prirast temperature  $2\text{C}$ .



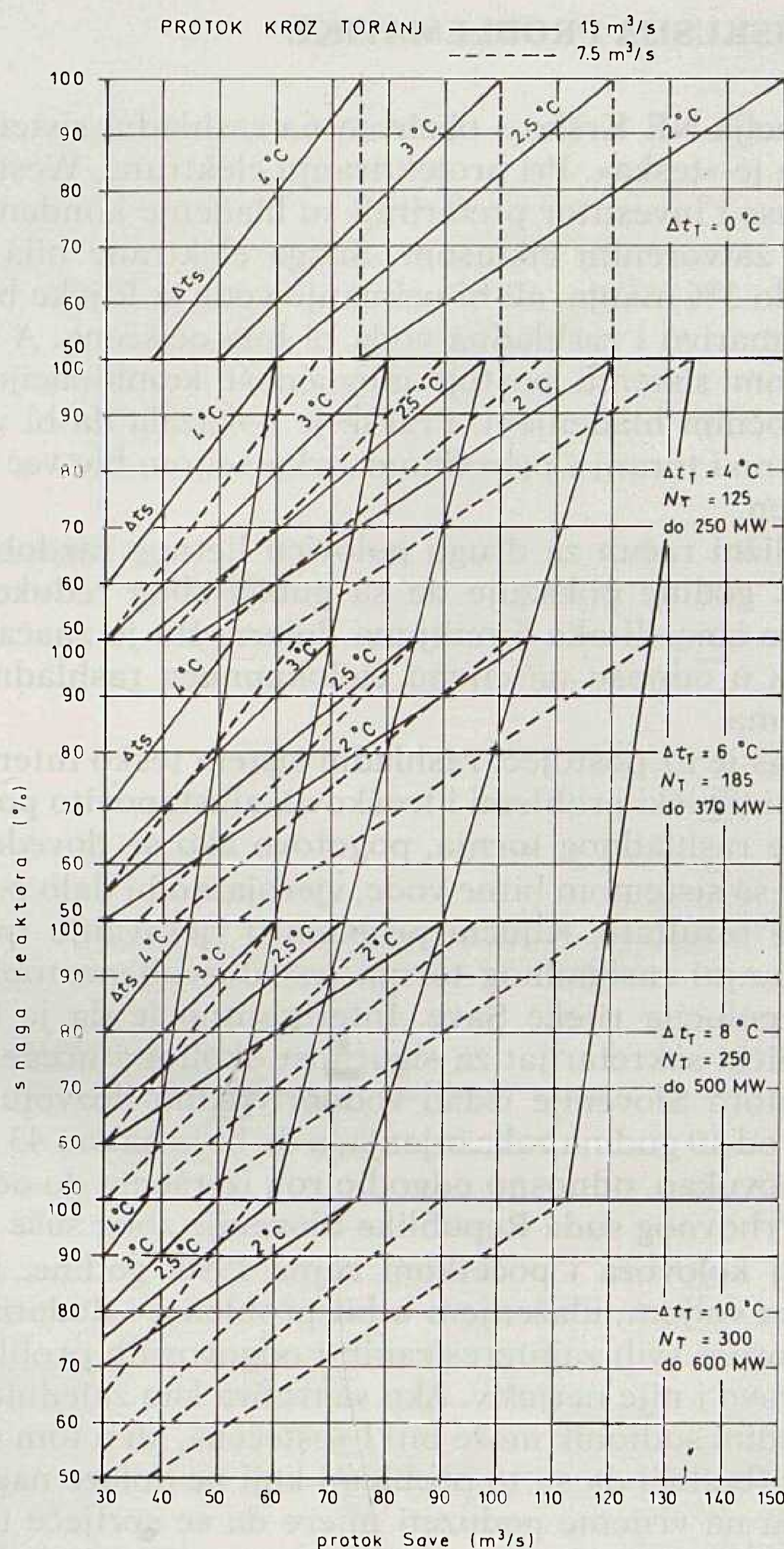
Slika 13. Utjecaj tlaka u kondenzatoru na snagu na stezaljkama generatora

Jednadžba (10) može se napisati i u obliku

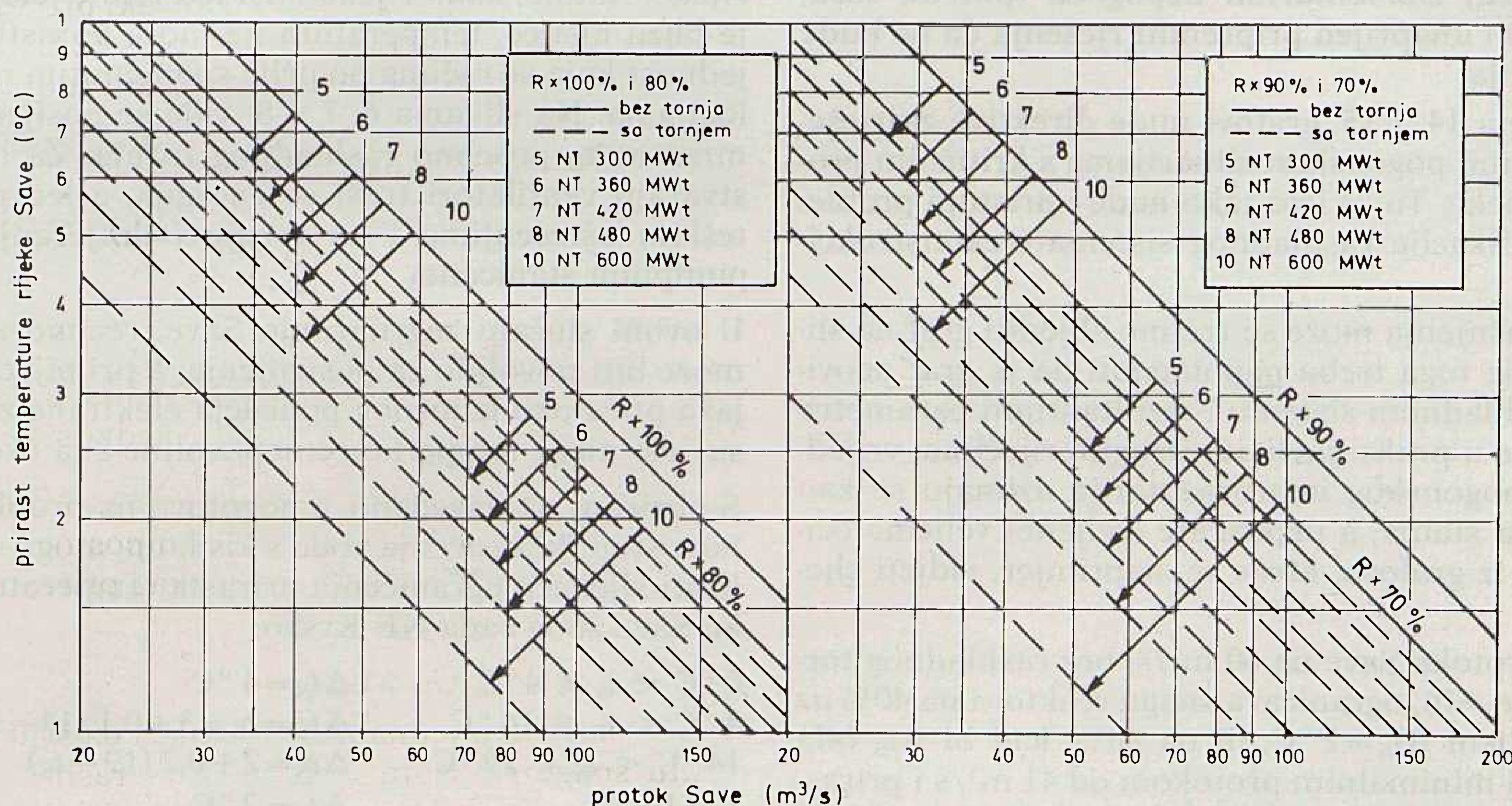
$$\Delta t_s = \frac{3 N_R(\%)}{Q_s} - \frac{Q_T \Delta t_T}{Q_s} \quad (11)$$

prema kojoj se lako izračuna prirast temperature Save u zavisnosti od njezina protoka, snage reaktora i snage tornja, da nije poznata temperatura Save na ulazu i izlazu iz elektrane ili bilo gdje u njezinu toku. Na slici (14) nacrtani su dijagrami iz kojih se brzo može odrediti dozvoljena snaga reaktora, ako su poznati protoci i razlike temperatura, odnosno vide se odnosi svih pet parametara, pa se operater vrlo lako orijentira u svakoj pogonskoj situaciji u pogledu zagrijavanja Save.

Na slici (15) su u logaritmičkoj skali nacrtani pravci prema kojima se također mogu jednostavno odrediti svi parametri procesa hlađenja i grijanja Save, zavisno od režima rada NE Krško.



Slika 14. Dozvoljena snaga reaktora u različitim režimima rada rashladnog sistema



Slika 15. Ovisnost temperature Save od snage reaktora, snage tornja i od protoka Save

## 7. DISKUSIJA PROBLEMATIKE

Lokacija NE Krško s obzirom na rashladni sistem i Savu je »teška«. Pri projektiranju elektrane, Westinghouse i investitor preferirali su hlađenje kondenzatora zatvorenim ciklusom. Snaga elektrane bila bi 2% do 3% manja, ali bi uzimanje vode iz Rijeke bilo zanemarivo i rashladna voda bi bila očišćena. A i u takvom sistemu postoji mogućnost kombinacije s protočnim hlađenjem. Praksa je pokazala da bi vjerojatno i toranj s prirodnom cirkulacijom bio već otplaćen.

Približni račun za drugu polovicu ljetnog razdoblja 1990. godine pokazuje da su gubici zbog redukcije snage iznosili oko 5 milijuna dolara, što je značajni iznos u odnosu na cijenu cjelokupnoga rashladnog sistema.

Danas je uz postojeći rashladni sistem teško intervenirati (fizički problemi i troškovi), ali stanovito povećanje rashladnog tornja, pogotovo ako se dovede u vezu sa sistemom bitne vode, vjerojatno bi dalo pozitivne rezultate. Ključni problem u rješavanju (projektiranju) rashladnog tornja jest dozvoljena toplinska polucija rijeke Save. Interesantno je da je Republički sekretarijat za sigurnost okoline i uređenje prostora Slovenije izdao vodoprivrednu dozvolu za više od 10 godina zakašnjenja, a da bi je nakon 43 dana povukao, odnosno odgodio rok izvršenja do odluke Vrhovnog suda Republike Slovenije zbog suše potkraj kolovoza i početkom rujna 1990. godine. Dobrom voljom, ulaženjem u bit problema i dodatnim naporom svih zainteresiranih i odgovornih problem zapravo i nije nerješiv. Ako se tretira kao zajednički, pojedini sudionik može biti i »oštećen«, ali u tom slučaju (budući da su to problemi koji ne dolaze naglo) treba na vrijeme poduzeti mjere da se spriječe teže posljedice. Zgodan je primjer za razmišljanje kolika je razlika u posljedicama ako se Sava grije sa 0 °C na 3 °C, za razliku da se grije sa 25 °C na 28 °C, zbog rada elektrane. Osim toga, trebalo bi analizirati situaciju za slučaj elementarnih nepogoda (potres, suša, hladnoća) i unaprijed pripremiti rješenja da ne bude iznenađenja.

Na slikama 14. i 15. grafovi nude direktive za rješenja u raznim pogonskim situacijama s kritičnim protocima rijeke. Tu se isto tako nude i pristupi problemu modifikacije rashladnog sistema (rekonstrukcija).

Radi objašnjenja može se recimo slijediti graf na slici 14. Prije toga treba napomenuti da je graf neovisan o rashladnom sistemu i rezultatnim parametrima koji se u praksi javljaju. Drugim riječima, vrijednosti iz pogonskog instrumentarija uzimaju se kao činjenična stanja, a nepoznate (željene) veličine očitavaju se iz grafova. Može se, naprimjer, vidjeti sljedeće:

- Pad protoka Save na 60 m<sup>3</sup>/s, bez rashladnog tornja ( $\Delta t_T = 0$ ), ograničava snagu reaktora na 40% uz dozvoljeni  $\Delta t_S = 2$  °C, ili na 80%, kad bi  $\Delta t_S$  bila 4 °C. S minimalnim protokom od 41 m<sup>3</sup>/s i prirastom  $\Delta t_S$  za 2 °C i 4 °C adekvatne snage reaktora bile bi 27%, odnosno 54%. Dakako, to je uvjetno,

jer za  $Q_S < 100$  m<sup>3</sup>/s, dozvoljeno oduzimanje svježije savske vode je samo 0,25  $Q_S$ . Za  $Q_S = 100$  m<sup>3</sup>/s i  $2$  °C  $< t_S < 3$  °C, adekvatna snaga reaktora je 66 do 100%.

- Donja četiri polja grafa vrijede za slučaj rada rashladnog tornja koji hladi vodu za 4, 6, 8 ili 10 °C. Temperaturni pravci su u ovim poljima u odnosu na gornje polje translacijom pomaknuti za iznos 1/3 ( $Q\Delta t_T$ ), prema gore, što bitno povećava dozvoljenu snagu reaktora. Ako se pri 60 m<sup>3</sup>/s riječnog protoka i punom protoku kroz toranj uspiju održati ohlađenja  $\Delta t_T$  za 4, 6, 8 ili 10 °C i  $\Delta t_S = 3$  °C, dopuštene snage reaktora su 80, 90, 100 i 100%.
- Ako se pravci izvučeni punom crtom uzmu kao simetrale ( $Q_T = 15$  m<sup>3</sup>/s) između donjih paralelnih crtkanih pravaca ( $Q_T = 7,5$  m<sup>3</sup>/s) i zamišljenih pravaca za isti iznos pomaknutih prema gore ( $Q_T = 22,5$  m<sup>3</sup>/s), onda se njihovim ucrtavanjem dobije situacija za slučaj ugradnje još jedne baterije rashladnih ćelija. Naravno, radi ograničenosti rashladnog sistema rješenje traži dodatnu tehničko-ekonomsku analizu.

Prema nekim ekonomskim istraživanjima i regulatornom praksom u nekim drugim zemljama, zatim prema topljivosti kisika u vodi s obzirom na njezinu, temperaturu, za dozvoljeni prirast temperature rijeke trebalo bi primijeniti barem dva kriterija u odnosu na hidrometeorološke uvjete (s porastom temperature vode od 5 °C na 20 °C topivost kisika opada s približno 15 mg/l na 9 mg/l, a zasićenje u Savi (LIII) s približno 75% na 30%, s tim da iza Celuloze u Krškom zasićenje vidljivo opada, vjerojatno zbog oksidacije organskih tvari). Širenje kriterija bitno utječe na poboljšanje rada elektrane, a bitno ne utječe na ekologiju. Ilustrativni je primjer vrlo niskih zimskih temperatura kada se zaleđuje Sava i prijeti zaleđivanjem ulaznih građevina rashladnih sistema i tornjeva koji trebaju biti u punom pogonu samo zato da se zadovolji formalni (računski) prirast temperature rijeke. Naime, kada rijeka nosi led i na cijelom toku je blizu ništice, temperatura ne može porasti za vrijednost koja se računa po prije spomenutim metodologijama. Na slikama 6, 7. i 8. vide se posljedice zamrzavanja, posebno rashladnog tornja. Za led koji stvaraju ventilatori troši se energija, a led prijeti i teškim oštećenjima i na tornju i dotjecanju vode pumpnim stanicama.

U ovom slučaju zagrijavanje Save, recimo za 4 °C, može biti povoljno za postrojenje, a primijećena pojava ptica oko izljevno područja elektrane znači da su vrlo niske temperature nepovoljne i za ekologiju.

S obzirom na navedeno, a pogotovo na problematičnost stupnja zasićenja vode s kisikom, mogu se predložiti sljedeća ograničenja prirasta temperature rijeke Save zbog rada NE Krško:

$$\begin{aligned} 0 \text{ °C} \leq t_S \leq 4 \text{ °C} & \quad \Delta t_S = 4 \text{ °C} \\ 4 \text{ °C} < t_S \leq 14 \text{ °C} & \quad \Delta t_S = t_S = 3 + 0,1 (14 - t_S) \quad (12) \\ 14 \text{ °C} < t_S \leq 19 \text{ °C} & \quad \Delta t_S = 2 + 0,2 (19 - t_S) \quad (13) \\ t_S > 19 \text{ °C} & \quad \Delta t_S = 2 \text{ °C}, \end{aligned}$$

gdje je  $t_S$  temperatura ulazne vode.



## 8. ZAKLJUČCI

- 8.1. I reaktor i rashladni sistem NE Krško imaju sasvim ograničeni kapacitet i ne mogu ispuštati u okoliš više energije nego to kapacitetu (snazi) odgovara. Osim toga, rashladni toranj također može preuzati i do polovine otpadne topline. Iz konstruiranih grafova količine i temperaturne razine mogu se brzo i točno odrediti u svim pogonskim stanjima.
- 8.2. S obzirom na nepouzdanost mjerenja temperature vode pri niskim protocima rijeke (a postoje i drugi zagađivači u okolici NEK), prirast temperature zbog rada NE Krško treba određivati ovdje predloženom metodom u ovisnosti o snazi reaktora jer ona nije ovisna ni o kakvim energetske reakcijama u vodi, niti pak o promjenama temperaturnih polja u vodi zbog utjecaja miješanja, zraka i sunčanog svjetla.
- 8.3. Rashladni toranj treba neprestano održavati u ispravnom stanju jer on bitno utječe na temperaturu rijeke. U pristupu eventualnog povećavanja njegova kapaciteta najprije treba doraditi tehničko-ekonomsku analizu koja tretira više varijanti, uključivši i problem bitne rashladne vode. Radi obogaćivanja vode kisikom (kroz tornjeve), Vodoprivreda bi trebala priznati bonus u vodoprivrednoj naknadi NEK.
- 8.4. Ako elektrana treba raditi, a zato je upravo i izgrađena (postoji i obrnuto mišljenje), onda treba i sve poduzimati protiv eventualne tendencije dovođenja elektrane na niži stupanj pouzdanosti i sigurnosti. U tu svrhu vodoprivredna dozvola bi trebala predviđati posebni pristup u slučaju elementarnih nepogoda kao što je potres, ekstremna suša i hladnoća, odnosno vrućina (mogućnost izdavanja iz vanredne dozvole).
- 8.5. U procesu za dobivanje građevinske dozvole, odgovarajući organi su sugerirali postojeći rashladni sistem i obećanjima da će se protok rijeke regulirati kaskadama hidroelektrana i izgradnjom naprava za čišćenje (NEK je i sama financijski sudjelovala u Celulozi u Krškom), ali to nije ostvareno. Prema postojećoj situaciji, NEK ne treba s bitnim poboljšanjima, u tom pogledu, računati.
- 8.6. Pri analizi rashladnog sistema radi izdavanja vodoprivredne dozvole, treba analizirati sve fenomene registrirane u toku proteklog razdoblja rada NEK, kako bi se iskoristile pouke nastale u vrlo različitim hidrometeorološkim okolnostima.
- 8.7. Dozvoljeni prirast temperature Save treba temeljiti i na kriteriju vrijednosti temperature vode na ulazu u elektranu, i to:
- $$\begin{aligned} \text{za } 0^\circ\text{C} \leq t_s \leq 4^\circ\text{C} & \quad \Delta t_s = 4^\circ\text{C} \\ t_s > 19^\circ\text{C} & \quad \Delta t_s = 2^\circ\text{C} \end{aligned}$$
- a za ostale  $t_s$ , prema formulama (12) i (13).

S obzirom na projektirani režim 3-12-3-6, dnevna variranja snage, predloženi postupak bio bi potpuno prihvatljiv.

- 8.8. Mjerenje protoka vode trebalo bi vršiti u NE Krško jer su jedino tu regulirani tokovi i lakše mjerljivi (instrumentarij).
- 8.9. Proceduru PMP-1.2.2. treba dopuniti (modificirati) tako da bude precizna i da akceptira ovdje navedene sugestije.
- 8.10. S obzirom na posebnost rashladnog sistema NE Krško, potrebno je bolje organizirati praćenje i analizu tehnološkog procesa, kako bi se mogla poboljšati sekundarni ciklus, te eventualno koristiti pouke za modifikaciju sistema i/ili druge intervencije.

## LITERATURA

- [1] V. VUKOVIĆ, »Dozvoljena snaga reaktora NE Krško pri kritičnim protocima Save«, Krško, veljača 1989.
- [2] V. VUKOVIĆ, »Problemi rada NE Krško pri malim protocima Save s prijedlogom nekih poboljšanja«, Krško, 10. 3. 1989.
- [3] V. VUKOVIĆ, »Kako se grijala Sava«, mjesečnik »Rad i sigurnost«, br. 4, Zagreb, 1989.
- [4] V. VUKOVIĆ, »Neke specifičnosti u projektiranju nuklearnih elektrana«. »Energija«, br. 4, Zagreb 1986.
- [5] Tehnički izvještaj s ispitivanja rashladnog tornja u NE Krško, Institut za elektroprivredu Zagreb, Zagreb, lipanj 1983. Mjerenja, H. Brkić i dr., obrada rezultata H. Kunaj i dr.
- [6] A. ZIEGLER, »Lehrbuch der Reaktortechnik«, Band 3, Kernkraftwerkstechnik, Springer-Verlag, 1985.
- [7] B. NADINIĆ, »Proračun utjecaja dozvoljenog toplinskog opterećenja rijeke Save na proizvodnju električne energije NE Krško«, »Energija«, br. 1, Zagreb, 1987.
- [8] Westinghouse E. C., Thermal performance data for Krško, Jugoslavia.
- [9] KSB A. G. Prufprotokoll, Pumpe SEZ 1600–1420 od 17. 4. 1980.
- [10] ALLS-CHALMERS, Instruction Book, Vertical Column Pumps.
- [11] P.M.F. Sveučilišta u Zagrebu, Biološki odjel, Ekološka istraživanja u okolici NE Krško II, autori M. Meštrov i dr., Zagreb, 1980.

DEPENDANCE OF THE REACTOR POWER ON THE SAVA RIVER FLOW IN CONDITIONS OF LOW WATER LEVEL

In the article is discussed a problem of heating Sava river with waste thermal power of NPP Krško. NPP Krško is designed for Δ T=2 and the plant must frequently reduce power. It is suggested an simplified method for Δ T calculation in dependance of reactor power and with constraints for protection of Sava river.

ABHÄNGIGKEIT DER REAKTORKRAFT VOM DURCHFLUSS DER SAVE BEI NIEDRIGEN WASSERSTÄNDEN

Hier behandelt man das Problem des Erwarmens der Save mit der Abfalltemperatur des Kraftwerkes Krško. Da das Kraftwerk Krško auf Δ T = 3°C projektiert wurde und da die zuständigen Behörden nur Δ T = 2°C genehmigen, muß das Kraftwerk Krško oft die Kraft des Reaktors verringern. Man schlägt eine einfachere Art des Ausrechnens Δ T über der Reaktorkraft aus, sowie Beschränkungen die für das Kraftwerk Krško annehmbar wären und der Save nicht schaden würden.

ЗАВИСИМОСТЬ МОЩНОСТИ РЕАКТОРА ОТ РАСХОДА РЕКИ САВЫ ПРИ НИЗКИХ УРОВНЯХ ВОДЫ

Рассматривается проблема нагрева р. Савы отходной теплотой АЭС Кршко. Поскольку АЭС Кршко проектирована на Δ T = 3°С, а компетентные органы разрешают всего Δ T = 2°С, АЭС Кршко обязана часто снижать мощность реактора. Предлагается более простой способ расчето Δ T посредством мощност реактора, а также ограничений, что было бы более приемлимо для АЭС Кршко и не повредило реке Саве.

Naslov pisca:

Vladimir Vuković, dipl. inž. NE Krško, 68270 Krško, Vrbina, Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis: 1990 - 10 - 04

11) V. VUKOVIĆ, "Abhängigkeit der Reaktorkraft vom Durchfluss der Save bei niedrigen Wasserständen", Krško, 1990.
12) V. VUKOVIĆ, "Zavisnost snage reaktora NE Krško od protoka rijeke Save pri niskim vodenjama", Krško, 1990.
13) V. VUKOVIĆ, "Zavisnost snage reaktora NE Krško od protoka rijeke Save pri niskim vodenjama", Krško, 1990.
14) V. VUKOVIĆ, "Zavisnost snage reaktora NE Krško od protoka rijeke Save pri niskim vodenjama", Krško, 1990.
15) V. VUKOVIĆ, "Zavisnost snage reaktora NE Krško od protoka rijeke Save pri niskim vodenjama", Krško, 1990.
16) V. VUKOVIĆ, "Zavisnost snage reaktora NE Krško od protoka rijeke Save pri niskim vodenjama", Krško, 1990.
17) V. VUKOVIĆ, "Zavisnost snage reaktora NE Krško od protoka rijeke Save pri niskim vodenjama", Krško, 1990.
18) V. VUKOVIĆ, "Zavisnost snage reaktora NE Krško od protoka rijeke Save pri niskim vodenjama", Krško, 1990.
19) V. VUKOVIĆ, "Zavisnost snage reaktora NE Krško od protoka rijeke Save pri niskim vodenjama", Krško, 1990.
20) V. VUKOVIĆ, "Zavisnost snage reaktora NE Krško od protoka rijeke Save pri niskim vodenjama", Krško, 1990.

# PRELIMINARNA PROVJERA SIGURNOSTI ODLAGALIŠTA RADIOAKTIVNOG OTPADA NISKE I SREDNJE AKTIVNOSTI NUKLEARNE ELEKTRANE KRŠKO

Mr. Vladimir Jelavić, Zagreb — mr. Đurica Tankosić, San Francisco — mr. Dejan Škanata, Zagreb

UDK 621.039.7

ORIGINALNI ZNANSTVENI RAD

Provedena je provjera sigurnosti odlagališta radioaktivnog otpada niske i srednje aktivnosti Nuklearne elektrane Krško. Analiza je zasnovana na hipotetskim lokacijama pretpostavljenim za koncept odlaganja u tunel i odlaganje u površinske slojeve. Determinističkim pristupom proveden je izbor akcidentalnih scenarija i procjena njihovih posljedica. Rezultati su za oba koncepta odlaganja pokazali da bi pretpostavljene hipotetske lokacije odlagališta i tehnologija odlaganja u potpunosti zadovoljile granične doze dane u jugoslavenskom zakonu i ICRP preporukama.

**Ključne riječi:** radioaktivni otpad, nuklearna sigurnost, izbor lokacije za odlaganje RAO.

## 1. UVOD

U suradnji sa znanstvenim institucijama iz Republike Hrvatske i Republike Slovenije u Nuklearnoj elektrani Krško (NEK) radi se na iznalaženju trajnog rješenja za odlaganje radioaktivnog otpada niske i srednje aktivnosti. Dosada su na temelju eliminacijskih kriterija izdvojena potencijalna područja pogodna za lociranje odlagališta. S obzirom na hidrogeološke i druge karakteristike, nametnula su se dva koncepta odlaganja: plitko potpovršinsko odlaganje s inženjerskim barijerama i odlaganje tunelskog tipa. Za svaki od navedenih tipova izrađeno je idejno rješenje [1, 2].

Pretpostavivši za svako idejno rješenje hipotetsku lokaciju koja oslikava karakteristike potencijalnih područja za smještaj odlagališta, provedena je provjera sigurnosnih performansi odlaganja radioaktivnog otpada za slučaj plitkog odlaganja i odlaganja u tunel [3, 4]. Osnovni cilj u ovoj fazi bio je da se uspostavi metodski pristup analize sigurnosti koji će uz poboljšanja biti korišten u idućim fazama kada budu raspoloživi podaci s lokacije i u potpunosti definirana tehnologija odlaganja. Također, da se u okviru danas raspoloživih podataka o lokaciji i tehnologiji odlagališta kvantificira mogući utjecaj, odnosno predvidi ponašanje tehničkih sistema i prirodne sredine odlagališta u razdoblju mogućeg utjecaja na okolinu. Rezultati analize koristit će se u nizu aktivnosti koje su u toku:

- informiranju javnosti
- izboru lokacije
- karakterizaciji lokacije i poboljšanju projekta sistema
- aspektima upravnog postupka
- definiranju prioriternih laboratorijskih i teoretskih istraživanja.

Analiza sigurnosti promatra sigurnosne funkcije odlagališta vezane za prihvatanje, rukovanje, obradu, skladištenje, odlaganje i ponašanje radioaktivnog otpada u razdoblju prije zatvaranja i nakon zatvaranja odlagališta.

S obzirom na to da se radi o problemu u mnogočemu različitom od sigurnosnih analiza za nuklearne elektrane koje su do sada rađene u našoj zemlji, imajući na umu nužnost internacionalne verifikacije primjenjenih postupaka i rezultata, korištene su usluge stranih konzultanata. Provedena analiza rezultat je zajedničkog rada domaćih stručnjaka i iskustava američke kompanije Bechtel Inc. koja renomirano iskustvo u istraživanjima, projektiranju i izgradnji odlagališta radioaktivnog otpada.

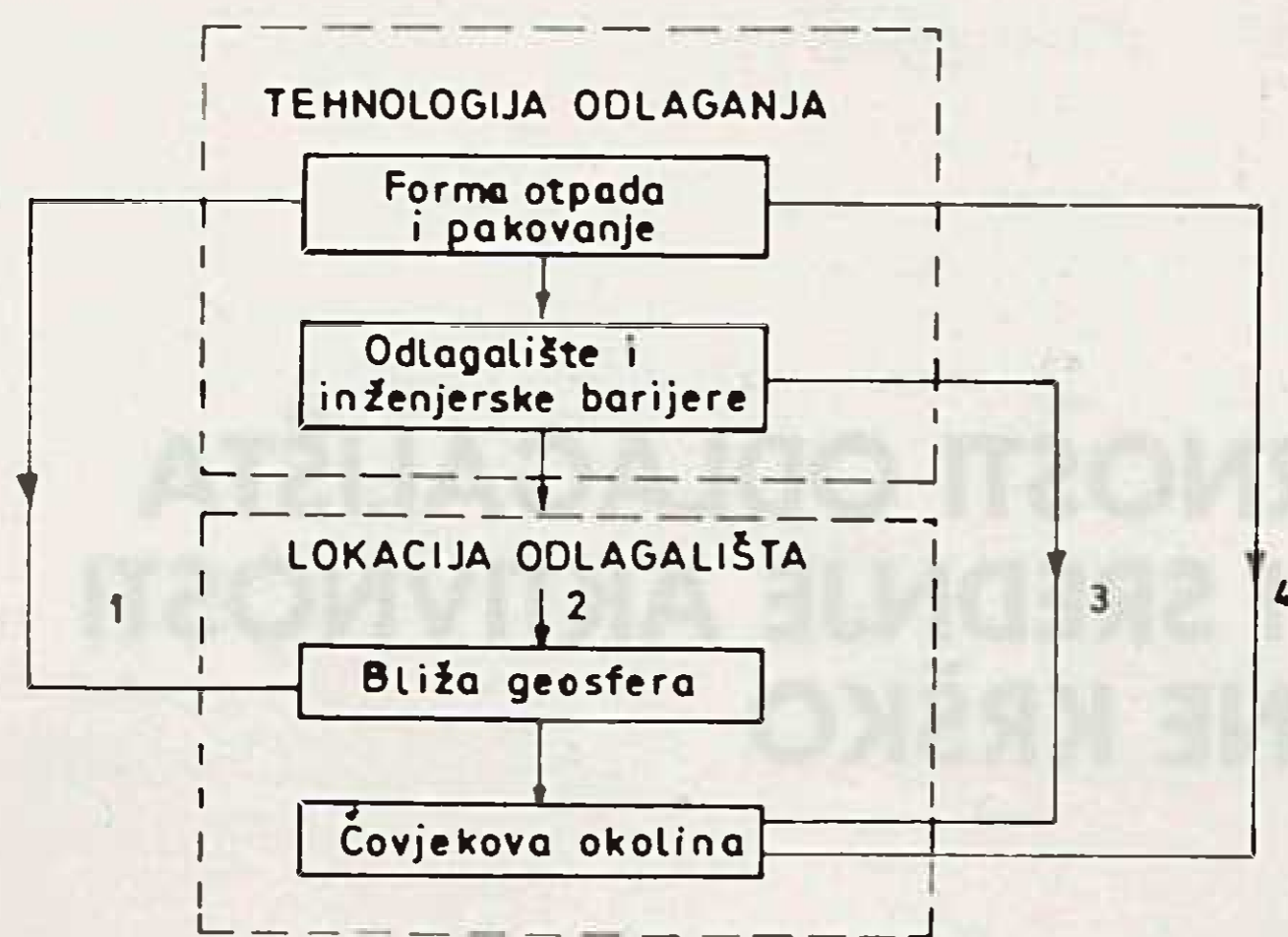
## 2. METODOLOŠKI PRISTUP

Pri ocjeni sigurnosti odlagališta osnovno je da se tehnologija odlaganja i prirodna okolina (lokacija) sagledavaju kao zajednički sistem. Pojedine komponente tog sistema su kako slijedi:

- vrste materijala radioaktivnog otpada, forma otpada, stabilizatori i način pakovanja (kontejneri)
- odlagalište s predviđenim pogonskim postupcima i inženjerskim barijerama
- geosfera (sedimenti, stijene) na lokaciji
- čovjekova okolina (tlo, površinska voda, vodonosnici, atmosfera, biota).

Na slici 1. prikazana je podjela sistema na komponente s mogućim putovima transporta radionuklida do čovjekove okoline.

Cilj sigurnosne analize jest predviđanje ponašanja čitavog sistema i pojedinih komponenti, pri čemu je najčešći kvantitativni pokazatelj doza zračenja. U slučaju promatranja pojedinih komponenti, osim is-

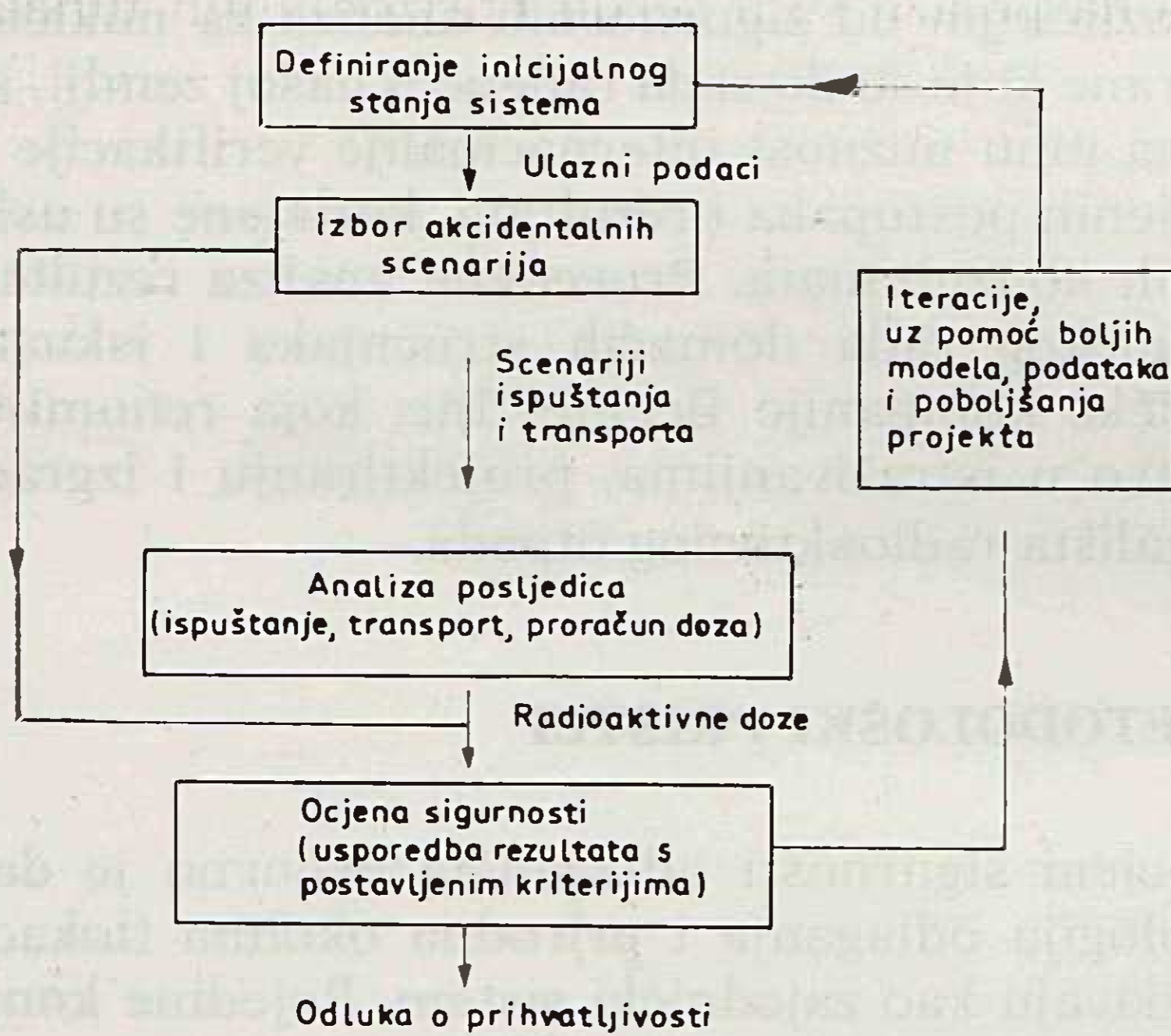


Slika 1.

pitivanja utjecaja određenog parametra na primljenu dozu, zanimljivi mogu biti pokazatelji tehničkih svojstava (permeabilnost, izluživanje, čvrstoća, zapaljivost itd.).

Sigurnosna analiza provodi se u nekoliko koraka. Na slici 2. dan je pojednostavljeni shematski prikaz izvođenja sigurnosne analize. Analiza započinje definiranjem početnog stanja projektnog rješenja i lokacije, a nastavlja se razvojem referentnih scenarija. Referentni scenariji uspostavljaju se na osnovi analize svih mogućih akcidentalnih scenarija primjenjivih za promatrani sistem. Za odabrane referentne scenarije provodi se modeliranje i procjena posljedica. Dobiiveni rezultati uspoređuju se s postavljenim kriterijima prihvatljivosti i zakonskim ograničenjima.

Potrebni matematički modeli i tehnike za rješavanje navedenih koraka su različiti.



Slika 2.

Pri izboru pristupa analizi za Odlagalište radioaktivnog otpada Nuklearne elektrane Krško (ORONEK), bile su razmatrane dvije tehnike koje su se pokazale uspješnima na prijašnjim aplikacijama: deterministički pristup, koji ima iskustvo u današnjoj praksi licenciranja komercijalnih nuklearnih elektrana, i probabilistički pristup, koji se potvrdio na nizu vjerojatnosnih studija rizika provedenih u posljednje vrijeme.

Zbog toga što su danas raspoložive informacije o sistemu odlagališta (projekt i lokacija) preliminarne i uopćene po prirodi, odlučeno je da se primijeni sa-

mo deterministički pristup. U slučaju da određeni scenarij rezultira značajnim dozama za stanovništvo, vjerojatnost njegove pojave bit će prikazana u sljedećim fazama sigurnosne analize.

Transport radioaktivnog otpada do odlagališta, koji je integralni dio pogonskih aktivnosti, nije razmatran u ovoj fazi.

### 3. KRITERIJI PRIHVATLJIVOSTI

Sigurnosna analiza i kriterij prihvatljivosti za odlagalište postavljeni su u skladu s jugoslavenskim upravnim zahtjevima, preporukama internacionalnih organizacija (IAEA, NEA, ICRP) i upravnim zahtjevima u SAD (USNRC) vezanim za plitko i duboko odlaganje nisko radioaktivnog otpada. S tim u vezi pretpostavljeno je da će odlagalište biti locirano, projektirano, u funkciji nakon zatvaranja te kontrolirano nakon zatvaranja na takav način da se zadovolje sljedeći ciljevi:

- zaštita stanovništva od mogućeg ispuštanja radioaktivnosti (granična akutna doza 5 mSV/god., granična kronična doza 1mSV/god., koncentracije radionuklida u vodi i zraku u skladu s »Pravilnikom o maksimalnim granicama kontaminacije čovjekove okoline i ...«)[5]
- zaštita pojedinaca pri nenamjernoj intruziji
- zaštita pogonskog osoblja odlagališta
- stabilnost lokacije odlagališta nakon zatvaranja.

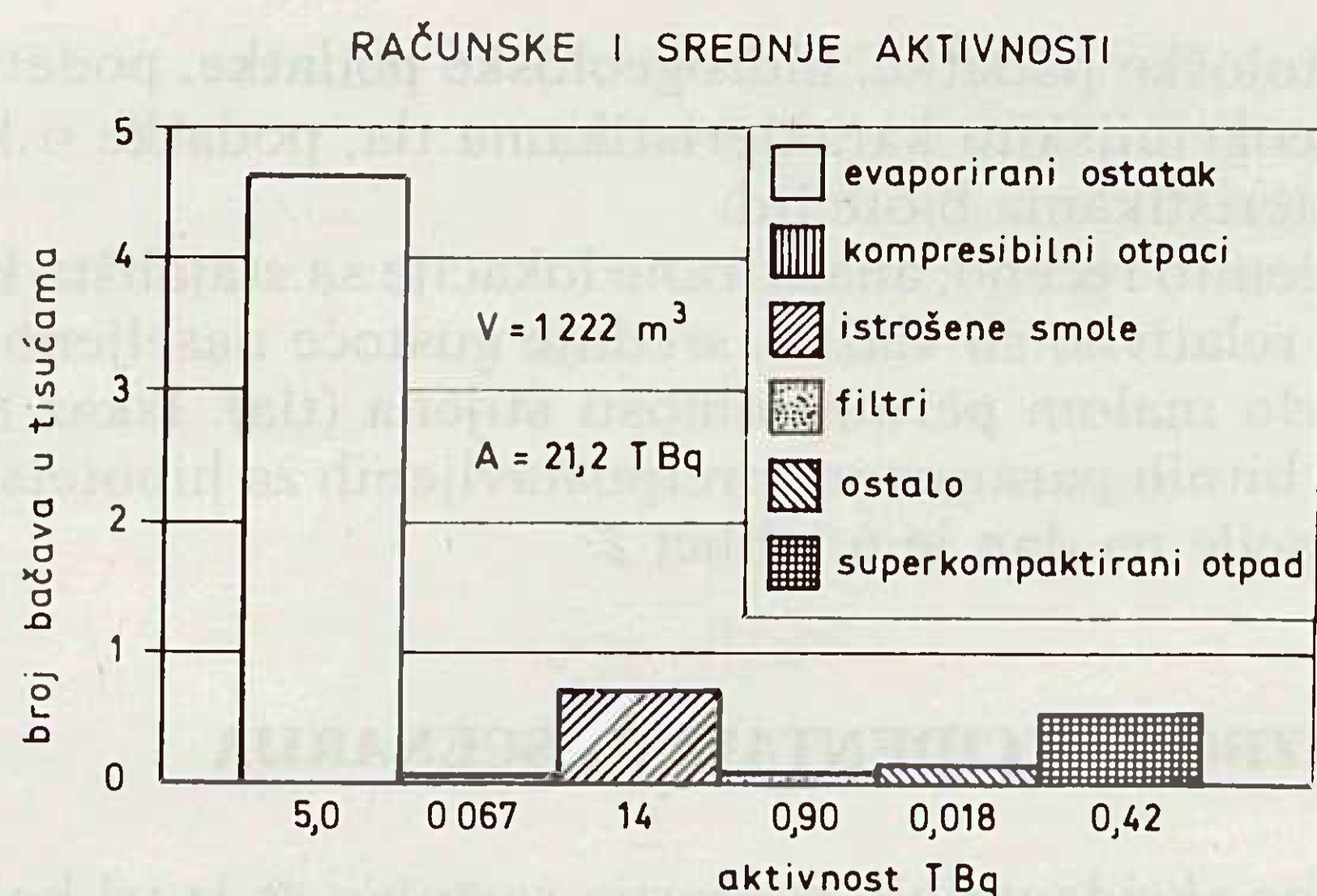
Pri udovoljenju navedenim ciljevima u svim fazama životnog vijeka odlagališta nastojat će se sniziti doza zračenja koliko je to razumno izvedivo (ALARA princip).

### 4. POLAZNI PODACI

#### 4.1. Karakteristike i forma otpada

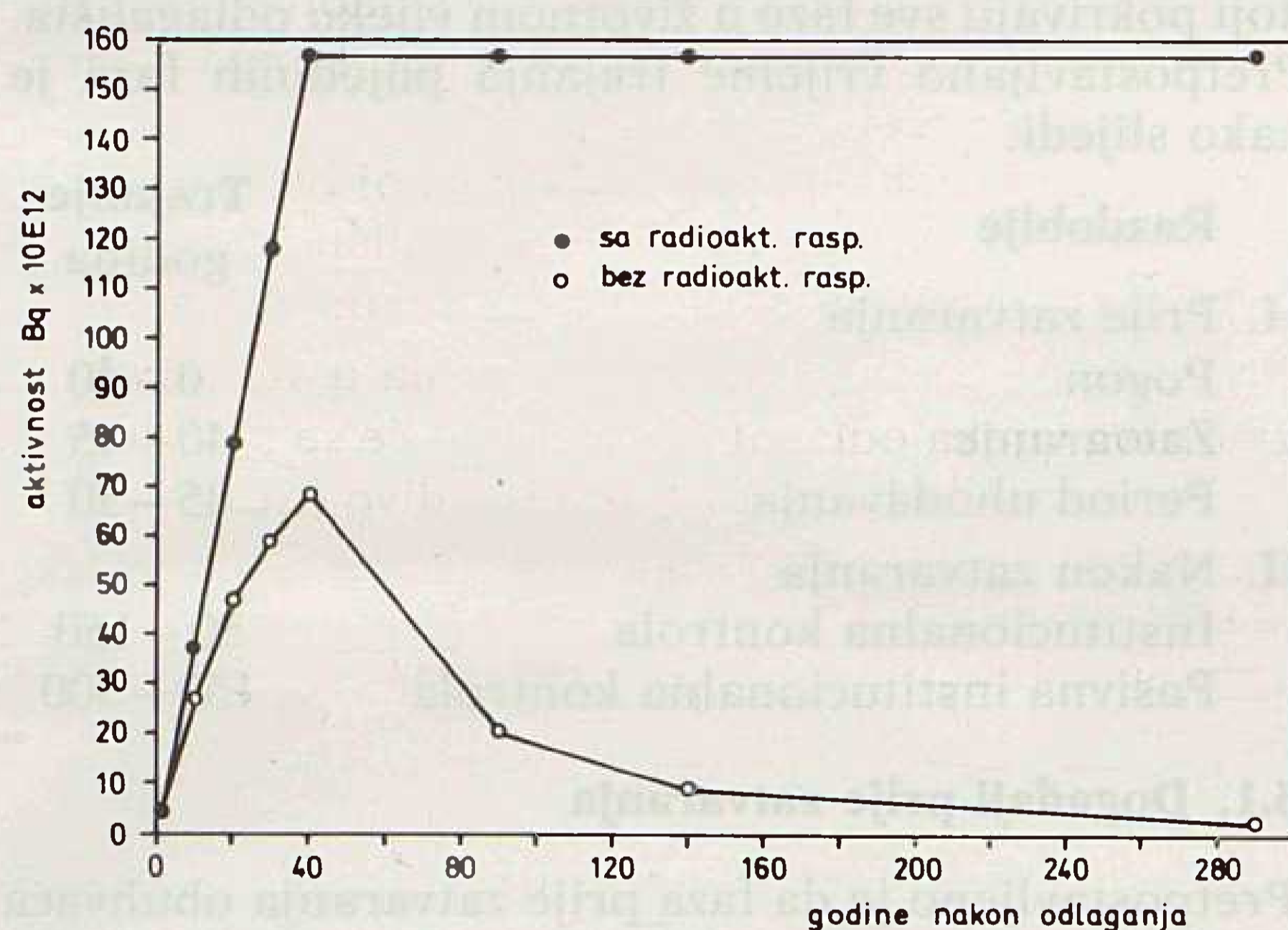
U ORONEK-u je predviđeno odlaganje nisko i srednje radioaktivnog otpada (NSRAO), odnosno klasa II.b i III. prema jugoslavenskim pravilnicima. Promatrano je pet vrsta radioaktivnih tvari koje se pojavljuju u NEK-u: istrošene smole, evaporirani ostatak, filtri, kompresibilni otpad i ostali nekompresibilni otpad. Sve vrste NSRAO materijala NEK-a, osim kompresibilnog solidificiraju se betonskom smjesom i ulažu u čelične bačve volumena 210 l. Na taj način ostvaruje se dugotrajna stabilnost otpada, mala disperzibilnost, velika otpornost izluživanju radionuklida i nezapaljivost. Količina i aktivnosti radioaktivnog otpada generiranog u razdoblju od početka rada NEK-a dane su na slici 3.

Ukupna količina materijala NSRAO s kojom se ušlo u proračun iznosi 8000 m<sup>3</sup>, odnosno 40000 bačava generiranih u 40 godina rada elektrane. U ovoj fazi otpad od demontaže (raspremanja) elektrane nije uzet u obzir. Detaljni podaci o otpadu (koncentracije, izotopski sastav, distribucija koncentracija itd.), u nedostatku podataka s elektrane, pretpostavljeni su na osnovi dokumenta NUREG/CR-4370 koji daje detaljne podatke o tipičnom otpadu za elektrane PWR.



Slika 3.

Prikaz ukupne aktivnosti NSRAO u razdoblju prije zatvaranja (40 god.) i nakon zatvaranja dan je na slici 4. Prema provedenoj procjeni može se očekivati da će u ukupnom volumenu NSRAO oko 99,5% otpada u trenutku odlaganja imati koncentraciju manju od  $2,2 \cdot 10^{12}$  Bq/m<sup>3</sup> (60 Ci/m<sup>3</sup>). Za orijentaciju, zakonsko ograničenje za srednje radioaktivni otpad jest  $5 \cdot 10^{14}$  Bq/m<sup>3</sup> (13500 Ci/m<sup>3</sup>).



Slika 4.

U ukupnom volumenu NSRAO, ako se promatraju radionuklidi s vremenom poluraspada većim od dvije godine, najviše je Cs-137 (63,3%), zatim slijede Co-60 (13,7%), Ni-63 (11,3) itd. Prikaz strukture najzastupljenijih radionuklida u trenutku odlaganja i 250 godina nakon odlaganja dan je u tablici 1.

Tablica 1. Struktura radionuklida u radioaktivnom otpadu

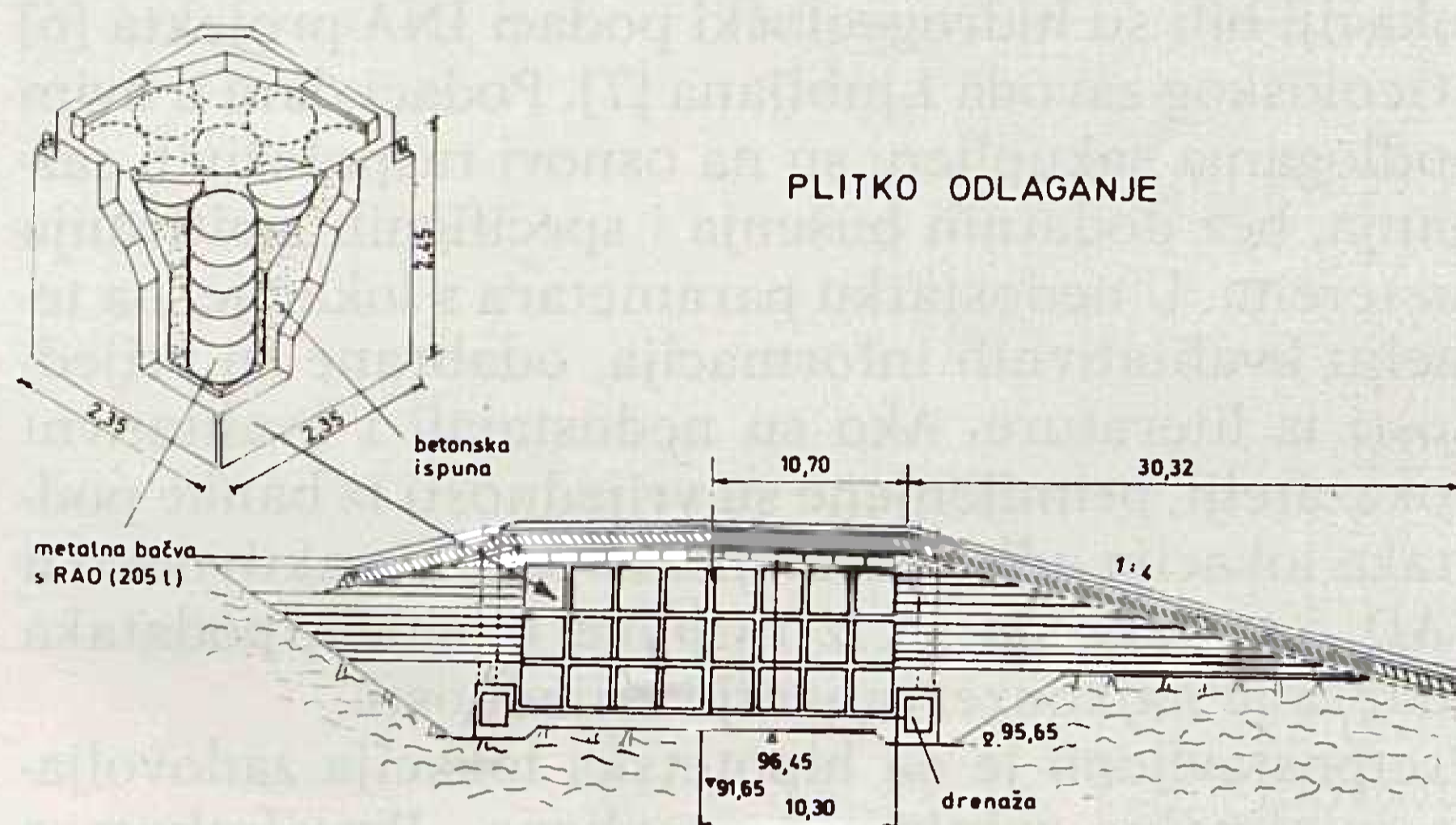
Nuklid	Vrijeme poluraspada god.	U trenutku odlaganja %	250 god. nakon odlaganja %
Cs-137	30,2	63,3	7,2
Co-60	5,3	13,7	*
Ni-63	100,0	11,3	70,1
Fe-55	2,7	3,9	*
H-3	12,3	4,7	*
C-14	5370,0	0,004	14,5
Ostali	—	3,2	8,2

\* — zanemarivo

## 4.2. Tehnologija odlaganja

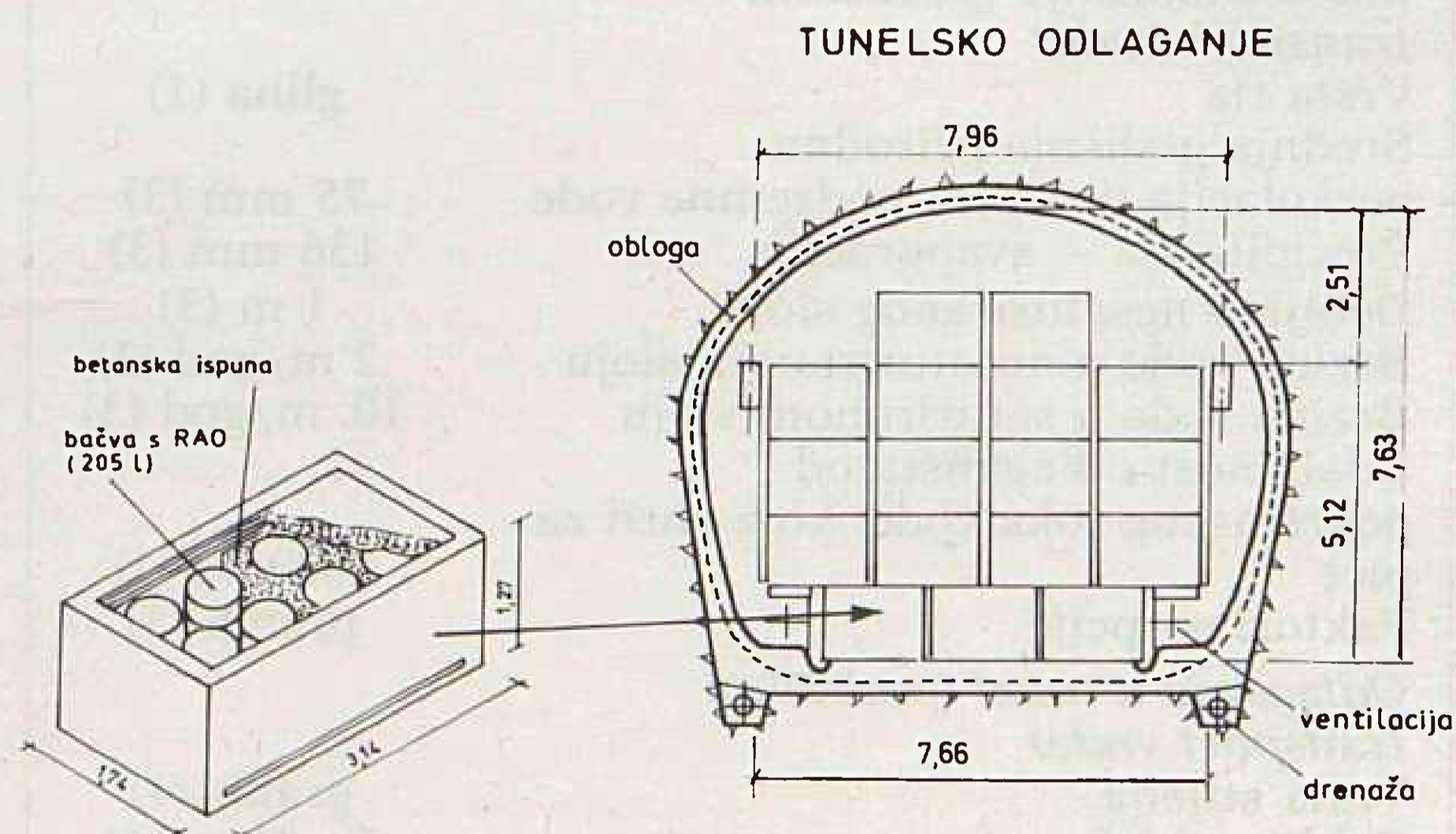
Tehnologiju odlaganja čini sistem s mnogostrukim inženjerskim barijerama kojim se bačve s otpadom smještene u betonske kontejnere (ili kanistre) odlažu u tunel ili u jedinicu za plitko odlaganje.

Jedinica za plitko odlaganje sastoji se od betonskog pokrova na kojem se nalazi nekoliko kompaktiranih slojeva, od kojih je jedan nepropustan za vodu te betonskog dna s dranažnim kanalima za sakupljanje moguće kontaminirane vode i njezini obradu (slika 5). Kanisteri s bačvama povezuju se u jedinici za odlaganje ispunjavanjem međupraznina s betonom i na taj način formiraju betonski monolit otporan na prodor vode i izluživanje.



Slika 5.

U konceptu odlaganja u tunel betonski kanisteri s bačvama polažu se u seriju horizontalnih tunela iskopanih u velikom stijenskom bloku (slika 6). Pošto se postigne kapacitet pojedinog ogranka tunela, međuprostor između otpada i oplata tunela ispunjava se kompaktiranim bentonitom (ili sličnim materijalom). Frontalni dio tunela zatvara se betonskim zidom. Dodatno, cijeli se tunel zatvara posebnom konstrukcijom na glavnom ulazu u tunel.



Slika 6.

Ostali objekti i pogon odlagališta uglavnom su istovjetni za oba koncepta odlaganja. Pogon uključuje prostor za inspekciju i pretovar, prihvatno i privremeno skladište, prostor za punjenje kanistera, prostor za naknadnu obradu otpada i ostale pomoćne prostorije.

### 4.3. Karakteristike prirodne okoline lokacije odlagališta

Aktivnosti na izboru lokacije u Republici Hrvatskoj i Republici Sloveniji traju od 1986. godine. Kako lokacija do danas nije odabrana, ova analiza sigurnosti temelji se na dvije pretpostavljene (hipotetske) lokacije: jedne za plitko odlaganje i jedne za odlaganje tunelskog tipa.

Hipotetska lokacija je imaginarna lokacija koja ima karakteristike reprezentativne za područja pogodna za lociranje odlagališta. Pretpostavljeno je da će plitko odlagalište biti smješteno u slojeve gline, a odlagalište tunelskog tipa u granitoidne stijene.

Osnovna podloga za definiranje polaznih podataka o lokaciji bili su hidrogeološki podaci INA-projekta [6] i Geološkog zavoda Ljubljana [7]. Podaci dani u ovim podlogama sakupljeni su na osnovi raspoloživih saznanja, bez dodatnih bušenja i specifičnih ispitivanja na terenu. U nedostatku parametara s lokacije, na temelju kvalitativnih informacija, odabrane su vrijednosti iz literature. Ako su nedostajali i kvalitativni pokazatelji, primijenjene su vrijednosti iz banke podataka lokacija odlagališta niske i srednje aktivnosti u SAD, i to tako da su iz raspona mogućih podataka odabrane najkonzervativnije vrijednosti.

Pretpostavljeno je da hipotetska lokacija zadovoljava minimalne zahtjeve postavljene »Pravilnikom o uvjetima za lociranje, izgradnju...« [8], kao i sigurnosnim kriterijima i standardima razvijenim od projektnog tima NEK-a. Podaci o lokaciji odnose se na geografsko-demografske podatke, meteorološko-kli-

Tablica 2. Osnovni podaci o prirodnim karakteristikama okoline hipotetskih lokacija

<i>Plitko i tunelski tip</i>	
Srednja godišnja temperatura	11 C (1)
Srednja brzina vjetrova	2.50 m/s (1)
Broj dana godišnje s padalinama većim 0.25 mm	146 (3)
Srednja godišnja precipitacija	1169 mm (1)
<i>Plitko odlaganje (podzemni transport vode)</i>	
Vrsta tla	gline (1)
Srednja godišnja prirodna perkolacija u sistem podzemne vode	75 mm (3)
Precipitacija — evaporacija	136 mm (3)
Debljina nesaturiranog sloja	1 m (3)
Brzina vode u nesaturiranom sloju	.2 m/god (3)
Brzina vode u saturiranom sloju	10. m/god (3)
Udaljenost odlagališta od površinskog toka vode, koja služi za piće	3000. m (1)
Faktori sorpcije	prema (3)
<i>Odlaganje u tunel (podzemni transport vode)</i>	
Vrsta stijena	granit (1)
Debljina bloka	5–30 m (1)
Širina bloka	1 km (1)
Permeabilnost	$10^{-7}$ – $10^{-10}$ m/s
Poroznost	0.01 (2)
Evaporacija	55% (2)
Odvodnjavanje	.35–0.40 (1)
Faktori sorpcije	prema (2)

- (1) Podaci s područja potencijalnih za lociranje odlagališta  
 (2) Iz literature na osnovi kvalitativnih pokazatelja s područja  
 (3) iz NUREG/CR-4570, najkonzervativnije sa postojećih lokacija u SAD

matološke podatke, hidrogeološke podatke, podatke o geokemijskim karakteristikama tla, podatke o karakteristikama biote itd.

Općenito rečeno, analizirane lokacije sa stajališta klime relativno su vlažne, srednje gustoće naseljenosti s vrlo malom permeabilnosti stijena (tla). Iskaz nekih bitnih parametara pretpostavljenih za hipotetske lokacije na dan je u tablici 2.

### 5. IZBOR AKCIDENTALNIH SCENARIJA

Izbor akcidentalnih scenarija sastojao se iz tri koraka. U prvom je uspostavljena lista unutarnjih i vanjskih inicijalnih događaja, koristeći se podacima iz literature za nuklearne objekte i odlagališta te inženjerskim ocjenama skupova eksperata familirajnih s prirodom problema. Iz polazne liste odabrani su u drugom koraku događaji primjenjivi za ORONEK. U trećem koraku izdvojen je set referentnih scenarija savladiv unutar opsega preliminarne analize koji predstavlja envelopu događaja primjenjivih za ORONEK.

Promatrani su vanjski i unutarnji inicijalni događaji koji pokrivaju sve faze u životnom vijeku odlagališta. Pretpostavljano vrijeme trajanja pojedinih faza je kako slijedi:

Razdoblje	Trajanje godina
I. Prije zatvaranja	
Pogon	0–40
Zatvaranje	40–45
Period uhodavanja	45–50
II. Nakon zatvaranja	
Institucionalna kontrola	50–150
Pasivna institucionalna kontrola	150–300

#### 5.1. Događaji prije zatvaranja

Pretpostavljeno je da faza prije zatvaranja obuhvaća radni period, te zatvaranje i uhodavanje. Inicijalni događaji za razdoblje prije zatvaranja odlagališta uglavnom su porijeklom iz pogonskog postrojenja (postrojenje izvan tunela ili jedinice za odlaganje). Taj je dio odlagališta jednak za oba koncepta odlaganja pa su i inicijalni događaji iz ovog razdoblja velikim dijelom istovjetni.

U toku radnog perioda osnovni mehanizam u odlagalištu koji može rezultirati značajnim transportom radionuklida do biosfere jest akcident u toku procesa rada. U tom su slučaju vjetar i površinske vode primarni transportni mediji, a razdoblje ekspozicije je akutno (kratkotrajno ozračenje).

U razdoblju prije zatvaranja pogonsko osoblje na odlagalištu je odgovorno za kontrolu i održavanje lokacije. Potencijalni utjecaj zbog pogonskog akcidenta je značajan, ali nije direktno vezan s dugotrajnim sigurnosnim svojstvima odlagališta. Pogonsko ispuštanje može biti onemogućeno ili minimizirano poboljšanjem forme otpada i pakiranja ili poboljšanjem pogonskih procedura.

Incidenti koji uključuju kontaminaciju podzemne vode i migraciju nuklida izvan granica odlagališta ni-

su za ovu fazu rada odlagališta analizirani zbog kratkog perioda u odnosu na vrijeme transporta, ugrađenih inženjerskih funkcija i pogonskih mjera koje mogu biti poduzete da se minimizira potencijalna migracija.

Akcidentalni scenarij inicirani unutarnjim događajima, u fazi prije zatvaranja, raspodijeljeni su na sljedeće korake u pogonu:

- ulaz na lokaciju, inspekcija i pretovar
- obrada i pakiranje
- rukovanje bačvama i privremeno skladištenje kontejnera
- rukovanje na lokaciji i polaganje u jedinicu za odlaganje
- otpad u jedinici za odlaganje prije zatvaranja
- zatvaranje jedinice / dekomisija postrojenja
- razdoblje probnog rada.

Vanjski inicijalni događaji za razdoblje prije zatvaranja koji su bili predmet detaljnije analize jesu:

poplava  
potres  
ekstremni vjetrovi.

Analiza inicijalnih događaja razdoblja prije zatvaranja rezultirala je setom referentnih scenarija koji su podvrgnuti detaljnoj analizi i modeliranju.

## 5.2. Događaji nakon zatvaranja

Akcidenti nakon zatvaranja odlagališta općenito su inicirani vanjskim događajima. Vanjski inicijalni događaji koji su detaljnije analizirani na osnovi inicijalnog izbora s kompletne kontrolne liste mogućih događaja, uključuju sljedeće događaje:

poplavu  
potres  
olujne vjetrove  
nenamjerne/nehotične intruzije (biljke, životinje, čovjek)  
poremećaje u podzemnom strujanju vode.

Kako je prethodno istaknuto, razdoblje nakon zatvaranja podijeljeno je u dvije faze: fazu institucionalne kontrole i fazu pasivne institucionalne kontrole (nadzor)

U razdoblju **institucionalne kontrole** prilaz lokaciji je onemogućen (ograda) i kontroliran ostalim administrativnim i kontrolnim mjerama. Na lokaciji se kontinuirano provodi monitoring i održavanje. Bilo koji kvar na sistemu barijera odlagališta bit će na vrijeme otkriven. Ako se pokaže potrebnim, provest će se popravak da bi se postigla zahtijevna efikasnost. Uz takve uvjete realno je pretpostaviti da otpad neće moći biti podvrgnut intruziji, odnosno da neće doći do otkrivanja pokrova plitkog odlagališta ili prodora u tunel.

U razdoblju **pasivne institucionalne kontrole** planovi dugotrajnog nadzora osigurati će da vjerojatnost prodora (intruzije) izazvane ljudskom aktivnosti bude minimalna. Da bi se izbjegao neovlašteni ulazak, ostat će markeri i ograda. Nadalje, pod kontrolom institucije za dugotrajni nadzor lokacija može biti proglašena rekreacijskom ili nekom drugom zonom od

posebnog interesa, s aktivnostima koje ne zahtijevaju dublje iskopavanje zemlje. U sigurnosnoj analizi konzervativno je pretpostavljeno da mjere zaštite začinu u toku pasivne institucionalne kontrole i da je scenarij prodora u odlagalište u potpunosti primjenjiv za ovo razdoblje.

Analiza inicijalnih događaja razdoblja nakon zatvaranja rezultirala je setom referentnih scenarija koji su podvrgnuti detaljnom modeliranju i procjenama.

## 6. PROCJENA POSLJEDICA

Procjena posljedica referentnih scenarija provedena je uz pomoć modela tzv. sistemskog pristupa. Sistemskim pristupom se za predviđanje posljedica matematički modelira čitav sistem odlaganja (oblik otpada, tehnologija, geosfera, atmosfera, biota). Akcidentalni referentni scenariji pridruživani su na model odlagališta da bi se utvrdile posljedice izražene u obliku koncentracija na mjestu receptora ili u vidu doza stanovništva.

Pri izboru matematičkih modela vodila se briga o nizu faktora utjecajnih na izbor, općenitim (verificiranost programa, zahtjevi na računalo i vrijeme proračuna, itd.) i specifičnim za ORONEK (nivo aktivnosti, vrijeme promatranja, raspoloživost podataka, itd.).

### 6.1. Plitko odlaganje

Za koncept plitkog odlaganja korišten je integralni model PART 61 [9]. Model PART 61 verificirala je američka nuklearna komisija (USNRC) za analize različitih tehnologija plitkog odlaganja srednje i nisko radioaktivnog otpada u SAD. Model obuhvaća sve putove mogućeg ispuštanja radionuklida u okolišu (zrak, voda, tlo, biota) simulirajući djelotvornost svih sigurnosnih komponenti u razdoblju prije i poslije zatvaranja odlagališta.

Model PART 61 koncipiran je u obliku programskog paketa. U okviru modela nalazi se banka podataka o tipičnim karakteristikama radioaktivnog otpada porijeklom iz raznih izvora (industrije, nuklearne medicine, svih tipova komercijalnih nuklearnih elektrana itd.). Na osnovi banke podataka, definira se željeni reprezentativni Source Term. Ostali ulazni podaci modela odnose se na podatke o tehnologiji odlaganja, prirodnim karakteristikama okoline odlagališta, karakteristikama biote i pripadnim konverzijskim faktorima za proračun doza.

Model PART 61 originalno sadrži 16 scenarija akcidenta prije i poslije zatvaranja odlagališta. Osnovne karakteristike tih scenarija daju se u nastavku.

### Scenariji prije zatvaranja

Scenariji pri manipulaciji otpadom na lokaciji

#### 1. Požar

Pretpostavlja se da je došlo do požara u prihvatno/pretovarnoj stanici koji se proširio na čitavi otpad na kamionu (96 bačava). Produkti izgaranja ispuštaju se nekontrolirano u atmosferu.

2. Pad kontejnera Pretpostavlja se da je prilikom rukovanja s kontejnerima zbog bilo kojeg razloga došlo do pada kontejnera (18 bačava) s visine dovoljne da dođe do pucanja stijenki kontejnera i dijela solidificiranih bačava. Pad je moguć u tehnološkoj zgradi ili pri pretovaru na lokaciji.

#### Scenariji akumulacije kontaminirane vode (izlužine)

3. Akumulacija — obrada Pretpostavlja se da je došlo do poplavlivanja jedinice za odlaganje neposredno prije zatvaranja i da je kontaminirana voda djelomično obrađena iscurila u površinske vode.
4. Akumulacija — evaporacija Pretpostavlja se da je došlo do poplavlivanja jedinice za odlaganje i da se postupkom evaporacije vrši obrada kontaminirane vode, a da se pare ispuštaju u atmosferu.
5. Akumulacija — prelijevanje Pretpostavlja se da je došlo do preplavlivanja jedinice za odlaganje i da se kontaminirana voda neobrađena izlijeva u površinske vode.

#### Scenariji nakon zatvaranja

##### Scenariji migracije radionuklida podzemnom vodom — nakon perioda inst. kontrole

6. Bunar na lokaciji Pretpostavlja se da je netko nakon perioda aktivne institucionalne kontrole iskopao bunar na samoj lokaciji, u neposrednoj blizini jedinice za odlaganje.
7. Bunar na rubu lokacije Pretpostavlja se da je netko nakon perioda aktivne institucionalne kontrole iskopao bunar na rubu lokacije.
8. Bunar za populaciju Promatra se migracija radionuklida do bunara koji se nalazi između odlagališta i površinske vode.
9. Površinski zahvat vode Promatra se migracija radionuklida do površinskog zahvata vode koja služi za piće.

##### Scenariji prodora (intruzije) u odlagalište zbog neznanja — nakon inst. kontrole

10. Bušenje Zbog potrage za vodom ili mineralima pokušano je bušenje mehaničkom opremom.
11. Otkrivanje S nakanom da se sagradi kuća, započeto je s iskopavanjem temelja na jedinici za odlaganje, ali je nakon uočenih betonskih struktura i oznaka prekinuto iskopavanje.

12. Izgradnja Započeto je sa iskopavanjem temelja za kuću na jedinici za odlaganje, ali je u odnosu na scenarij 11 ekspozicija trajala dulje jer su radovi prekinuti kasnije.

13. Poljoprivreda Sagrađena je kuća na jedinici za odlaganje, a iskopani radioaktivni materijal razbačen je po okolini. Pojedinac koji živi u kući bavi se poljoprivrednim aktivnostima na kontaminiranoj zemlji. Ozračenje je direktno, putem inhalacije i ingestije.

#### Scenariji direktne ekspozicije

14. Otkrivanje — zrak Nakon nehotičnog otkrivanja pokrova jedinice za odlaganje došlo je do raznošenja kontaminiranih sastojaka zrakom.
15. Otkrivanje — voda Nakon nehotičnog otkrivanja pokrova jedinice za odlaganje došlo je do odnošenja kontaminiranih sastojaka površinskom vodom.
16. Erozija — zrak Zbog prirodne erozije pokrova jedinice za odlaganje došlo je do raznošenja kontaminiranih sastojaka zrakom.
17. Erozija — voda Zbog prirodne erozije pokrova jedinice za odlaganje došlo je do raznošenja kontaminiranih sastojaka površinskom vodom.

Svakom referentnom scenariju ORONEK-a pridružen je odgovarajući scenarij sadržan u PART 61 modelu. Ulazni podaci preporučeni dokumentom NUREG/CR-4970 i podaci iz banke podataka modela mijenjani su za parametre koji nisu bili adekvatni za razmatrane hipotetske lokacije i tehnološke koncepte odlaganja. Proračun doza proveden je za najugroženijeg pojedinca s tim što su za scenarije, 4, 13 i 15 izračunate populacijske doze.

Sumarni prikaz rezultata proračuna dan je u tablici 3. Radi usporedbe tablica sadrži i pretpostavljene granične vrijednosti doza te udio izračunate doze u odnosu na graničnu. Sve doze iskazane su u obliku efektivne ekvivalentne doze izračunate u skladu s preporukama ICRP (International Commission of Radiological Protection). Prikaz rezultata za scenarije direktnog ozračenja i scenarij 11 izostavljen je jer oni nisu primjenjivi za ORONEK. To je zato što se pretpostavlja zaštitna funkcija betonskih struktura odlagališta u trajanju od 500 godina.

Promatra li se razdoblje prije zatvaranja odlagališta, vidi se da su za sve scenarije osim scenarija požara izračunate doze tek neznatni dio pretpostavljenih graničnih vrijednosti. Za scenario požara dobiva se doza za pojedinca koji bi bio na granici lokacije ispod centralne linije radioaktivnog oblaka 10 minuta, u iznosu od 25% granične.

Za scenarije nakon zatvaranja odlagališta izračunati utjecaj znatno je manji od pretpostavljenoga granič-



Tablica 3. Posljedice akcidentalnih scenarija za plitko odlaganje

Scenarij	Period pojave maksimalne doze	Trajanje ozračenja	Maksimalna doza mSv	ICRP granica mSv	Udio od ICRP doze %
<i>»Scenariji pri manipulaciji otpadom</i>					
Požar	period pogona	kratkotrajno	1.35E+00	5	27.
Pad kontejnera	period pogona	kratkotrajno	7.54E-10	5	.00001
<i>»Scenarij akumulacije kontaminirane vode«</i>					
Obrada	period uhodavanja	dugotrajno	3.05E-05	1	.00305
Evaporacija <sup>1</sup>	period uhodavanja	dugotrajno	7.00E-09	1	.00001
Poplava	period uhodavanja	dugotrajno	2.63E-02	1	2.63
<i>»Scenarij podzemne vode«</i>					
Bunar na odlagalištu	100 g. nakon zatvaranja	dugotrajno	6.89E-07	1	.00001
Bunar na ogradi	160 g. nakon zatvaranja	dugotrajno	6.89E-07	1	.00001
Bunar za populaciju	500g. nakon zatvaranja	dugotrajno	2.61E-08	1	.00001
<i>»Scenarij prodora«</i>					
Bušenje	500 g. nakon zatvaranja	dugotrajno	0.000	1	.00001
Otkrivanje	500 g. nakon zatvaranja	dugotrajno	0.000	1	.00001
Izgradnja	500 g. nakon zatvaranja	dugotrajno	1.80E-03	1	0.180
Poljoprivreda	500 g. nakon zatvaranja	dugotrajno	1.55E-03	1	0.155

1 Utjecaj iskazan u vidu populacijske doze mSVčovjek

noga. Zanimljiv utjecaj očituje se za scenarije transporta radionuklida podzemnom vodom do bunara. Od scenarija prodora u odlagalište zbog neznanja (scenarij intruzije) relativno veću dozu pokazuje scenarij izgradnje objekta na lokaciji, ali je ta doza još uvijek tek neznatni dio pretpostavljene granične doze (0,18%). Treba istaći da scenarij intruzije mogu imati utjecaj tek nakon 500 godina, kada je pretpostavljeno da betonske barijere zbog degradacije više neće biti djelotvorne za izolaciju.

## 6.2. Odlaganje u tunel

Specifičnosti odlaganja u tunel odnose se na sam prostor za odlaganje (tunel) i pristup prostoru za odlaganje, ostala postrojenja na lokaciji u okviru ove preliminarne analize pretpostavljena su jednaka kao i kod plitkog odlagališta. Zbog toga za razdoblje prije zatvaranja i pogonske scenarije vrijede rezultati dobiveni modelom PART 61 za plitko odlaganje. To vrijedi i za scenarij bušenja tunela u razdoblju nakon zatvaranja. Pretpostavljeno je pritom da do prodora neće doći s frontalne strane, već odozgo, kroz granitnu stijenu. Proračun je pokazao dozu za osoblje koje bi radilo na bušenju jednaku nuli, uz pretpostavku integriteta betonskih struktura koje bi upozorile i onemogućile prodor do 500 godina nakon zatvaranja.

Za proračun transporta radionuklida kroz granitoidnu stijenu primijenjen je model SUTRA [10]. SUTRA je dvodimenzionalni model transporta otopine kroz saturirane i nesaturirane medije zasnovan na metodi konačnih elemenata. Transport otopine ili kontaminirane vode simulira se numeričkim rješavanjem jednadžbe kontinuiteta i mase. Transportni procesi u modelu SUTRA u modelu uključuju advekciju, molekularnu difuziju i disperziju, radioaktivni raspad i slabljenje izvora.

Sistem odlagališta i lokacije prikazan dvodimenzionalnom mrežom konačnih elemenata u horizontal-

nom planu prikazan je na slici 7. Sistem obuhvaća prostor 2 × 2 km s jednim izdankom koji prati dolinu potoka do udaljenosti 8 km (najbliže naselje). Modelirana lokacija pretpostavlja tri bitno različite geološke formacije: granitnu stijenu kao osnovni masiv u kojem je odlagalište i aluvijalne naslage starije i mlađe dobi u dolini potoka.

Za scenarije podzemnog strujanja vode odabrane su dvije lokacije:

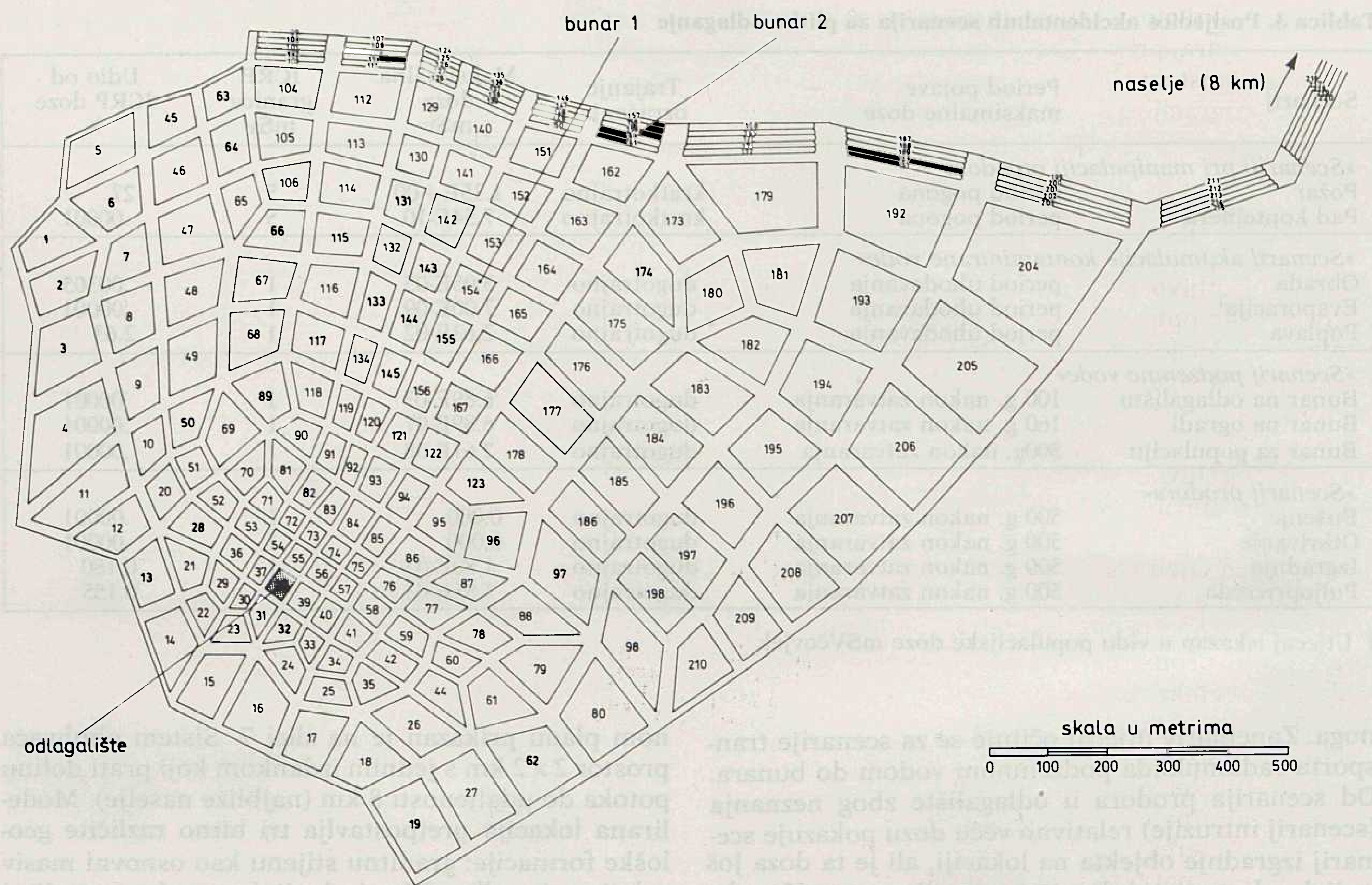
- bunar 500 m od odlagališta (područje lokacije)
- bunar 1000 m od odlagališta (između lokacije i površinske vode).

Promatrana su dva scenarija:

- »Osnovni« — Pretpostavljeni su realni parametri lokacije (permeabilnost granita  $10^{-10}$  m/s).
- »Pukotina u stijeni« — Pretpostavljeno je da će zbog potresa ili bilo kojeg drugog razloga doći do povećanja permeabilnosti kroz pukotine u stijeni u smjeru bunara (permeabilnost pukotine  $10^{-7}$  m/s).

Analize navedena dva slučaja provedene su za set radionuklida za koje je ocijenjeno da mogu imati najveći utjecaj. Prikaz rezultata za »osnovni« scenarij i scenarij »pukotina u stijeni«, za razdoblje nakon 200 i 500 godina nakon zatvaranja, prikazan je u tablici 4. Za »osnovni« slučaj izračunate koncentracije zanimarivog su nivoa, odnosno pokazalo se da radionuklidi ne bi migrirali do promatranih bunara.

Rezultati za scenarij »pukotine u stijeni« pokazuju da bi u bunaru na području lokacije, za »najbrži« radionuklid I-129 koji nije podložan retardaciji, prisutnost radionuklida bila je za jedan red veličine manja u odnosu na maksimalno dozvoljenu koncentraciju za pitku vodu definiranu našim pravilnicima. Prikaz

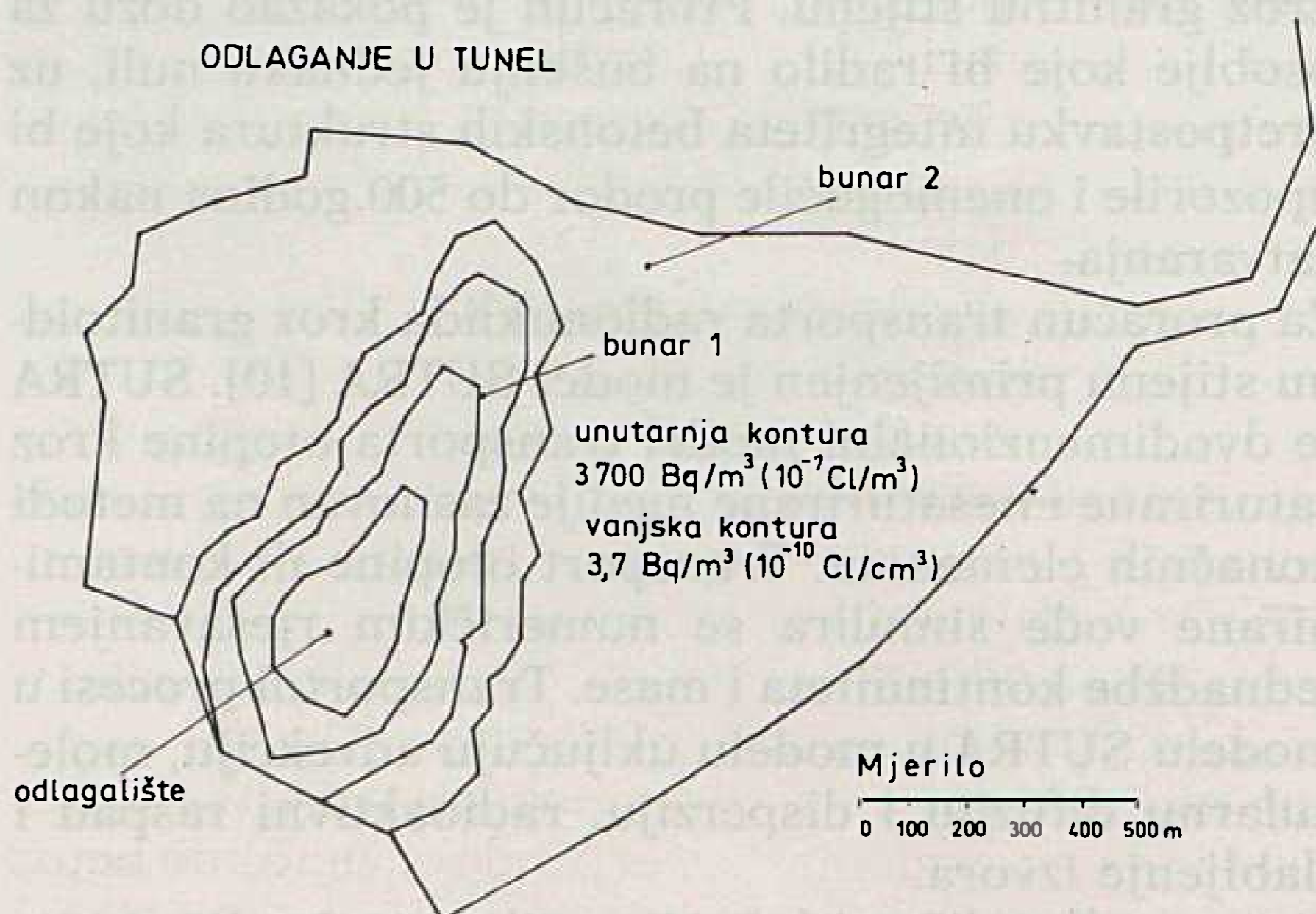


Slika 7.

Tablica 4. Posljedice akcidentalnih scenarija za tunelsko odlaganje

Scenariji migracije radionulida podzemnom vodom		I-129	Ni-59	Sr-90	Cs-137
»Osnovni« scenarij					
Bunar na lokaciji	200 g. nakon zatvaranja	1.53E-7	5.14E-19	0.00	7.88E-25
	500 g. nakon zatvaranja	5.77E-05	1.01E-16	0.00	1.61E-25
Bunar podalje od lokacije	200 g. nakon zatvaranja	4.11E-16	0.00	0.00	0.00
	500 g. nakon zatvaranja	7.25E-13	0.00	0.00	0.00
Scenarij »pukotina u stijeni«					
Bunar na lokaciji	200 g. nakon zatvaranja	7.62E-00	1.23E-14	1.23E-16	3.23E-16
	500 g. nakon zatvaranja	4.06E+02	5.48E-12	4.91E-17	1.96E-16
Bunar podalje od lokacije	200 g. nakon zatvaranja	1.13E-05	0.00	0.00	0.00
	500 g. nakon zatvaranja	4.11E-03	1.83E-23	0.00	0.00
Dozvoljena koncentracija u pitkoj vodi (Sl. 8/87).		4.00E+03	2.00E+07	2.00E+4	6.00E+04

rasporeda koncentracija radionuklida I-129 u razdoblju nakon 500 godina od zatvaranja za ovaj slučaj dan je na slici 8. U bunaru između lokacije i površinske vode koncentracije bi bile zanemarivog nivoa. Uz prethodno treba naglasiti da je proračun podzemnog transporta radionuklida proveden uz vrlo konzervativnu pretpostavku da se odlagalište nalazi u saturiranom sloju i da saturacija ostaje u čitavom razdoblju promatranja, što je isključni kriterij pri izboru lokacije. Također da je iz bilo kojih razloga došlo do pucanja kontejnera i da su čelične bačve bez izolacijskog svojstva jer su iskorodirane. Eksperimentalna ispitivanja provedena na fizičkim modelima saturacije kontejnera s otpadom u dinamičkim uvjetima kakvi se mogu očekivati pri akcidentu, pokazuju da uz očuvani integritet kontejnera neće doći do ispuš-



Slika 8.

tanja radioaktivnosti u razdoblju 300 do 500 godina [11]. Bez obzira, pri izboru lokacije trebalo bi izbjegnuti mogućnost da eventualnim nastankom pukotine dođe do migracije radionuklida do bilo kakvog zahvata vode.

## 7. ANALIZA OSJETLJIVOSTI

Analiza osjetljivosti provedena je da bi pomogla u aktivnostima optimizacije, izbora lokacije i projektiranja. Također je bila intencija da se dodatno provjeri provedena sigurnosna analiza uz pomoć informacija o osjetljivosti rezultata na pretpostavke i parametre korištene u različitim scenarijima.

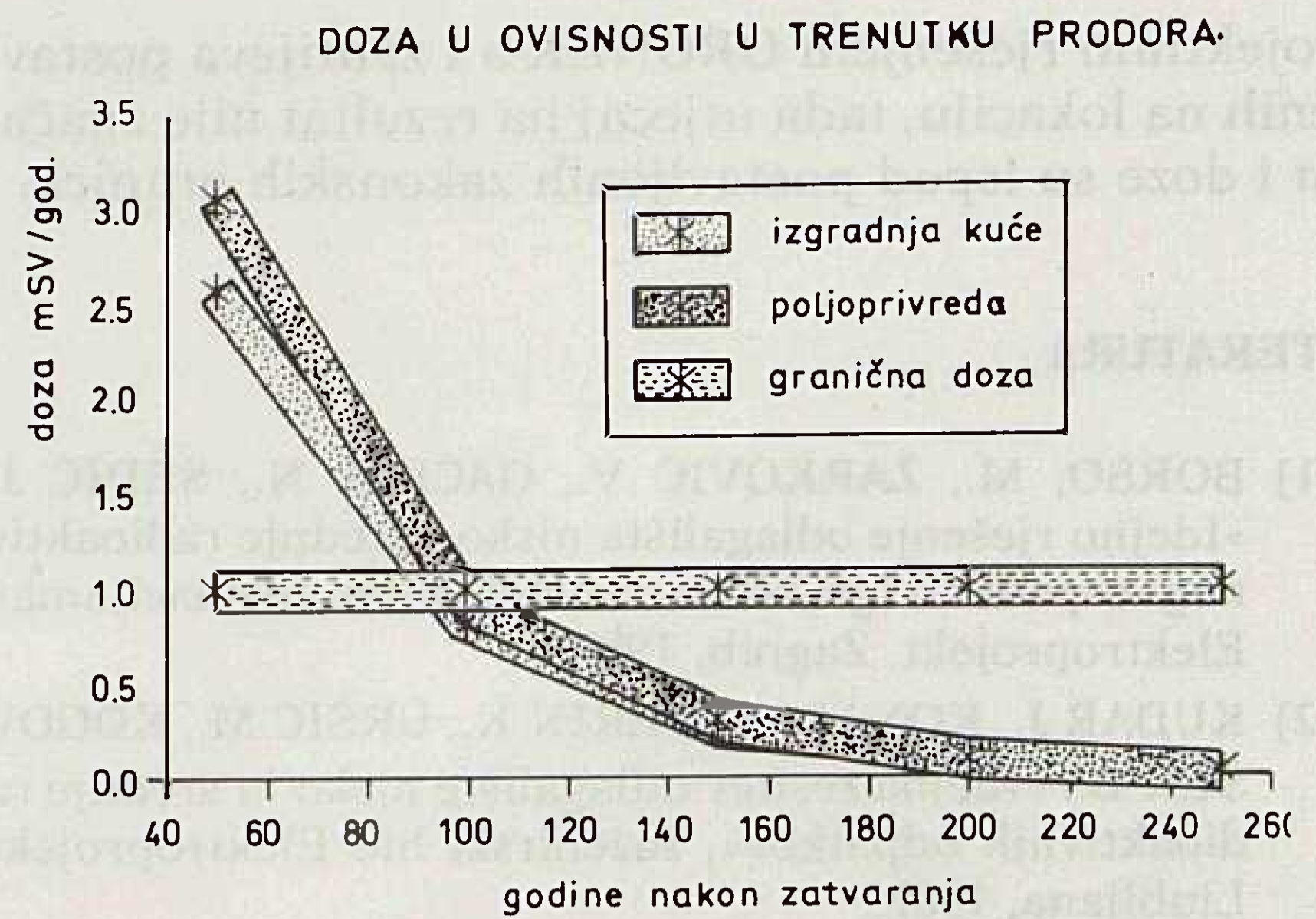
Analiza osjetljivosti provedena u ovoj fazi za ORONEK jednostavnog je karaktera i preliminarna po prirodi. To je uglavnom nametnuto pozicijom u kojoj se nalazi cijeli projekt ORONEK koji karakterizira ograničena raspoloživost podataka projekta i lokacije.

U analizi je promatran utjecaj promjene jednog parametra i efekt zajedničkog djelovanja varijacije ulaznih parametara. Pri promatranju zajedničkog djelovanja razvijen je »realan« slučaj i »konzervativan« slučaj. Realan slučaj je sastavljen od najvjerojatnijih parametara koji se mogu primijeniti na ORONEK referentnu lokaciju. Konzervativan slučaj obuhvaća sve parametre na donjoj ili gornjoj granici variranog raspona, u smjeru koji ima utjecaj na povećanje doza.

Za plitko odlaganje varirano je četrnaest različitih projektnih/tehnoloških i lokacijskih parametara (slučajeva) te promatran njihov utjecaj na svaki od scenarija. Promatran je utjecaj debljine pokrova, brzine vode u nesaturiranom sloju, debljine nesaturiranog sloja, brzine strujanja vode u saturiranom sloju, udaljenosti najbliže veće površinske vode, vjeka u kojem je osigurana zaštita od intruzije, utjecaj forme otpada i utjecaj faktora izluživanja, utjecaj pojačanog kopaktiranja i razrjeđenja otpada, volumena otpada, ispune i načina kompaktiranja pokrova.

Proračun je pokazao da pojedini parametri imaju vrlo značajan utjecaj i da mogući raspon polaznih vrijednosti kod plitkog odlaganja može rezultirati i dozama za dva reda veličine većim od osnovnog slučaja. Takvo povećanje pojavilo se međutim kod scenarija zanemarivog utjecaja, pa promjena i za dva reda veličine nije značajna.

Od rezultata izdvaja se utjecaj vremena nastupanja prodora. Prikaz utjecaja vremena prodora u odlagalište dan je na slici 9. Ako se pretpostavi da nema institucionalne kontrole nakon zatvaranja i da je prodor fizički moguć već nakon zatvaranja, pokazuje se da će se najveće doze za scenario izgradnje objekta i scenario poljoprivrednih aktivnosti dogoditi 50 godina nakon zatvaranja. U tom slučaju doza bi bila trostruko veća od pretpostavljene granične, a nakon 100 godina pala bi na prihvatljiv nivo. Navedeno potvrđuje potrebu institucionalne kontrole (onemogućava nenamjerni i namjerni prodor i značenje betonskih inženjerskih barijera predviđenih u ORONEK odlagalištu (500 godina zaštitna funkcija).



Slika 9.

Za odlaganje u tunel analizirano je nekoliko dodatnih scenarija u kojima je varirana permeabilnost i faktori koji karakteriziraju sorpciju radionuklida u toku transporta podzemnom vodom. U krajnjem slučaju koji predstavlja konzervativnu envelopu variranih parametara pretpostavljeno je da nema sorpcije radionuklida i da osnovna stijena ima sto puta veću permeabilnost od osnovnog slučaja ( $10^{-8}$  m/s). U tom slučaju pokazalo se da bi koncentracije u bunaru na granici lokacije, nakon 500 godina, za radionuklid I-129 mogle biti reda veličine granične koncentracije. Bez obzira na niz konzervativnih pretpostavki, pokazuje se da karakteristike geološkog medija treba da budu povoljnije od ovdje pretpostavljenih graničnih. To treba imati na umu pri izboru lokacije, ako na lokaciji uopće postoji vjerojatnost da dođe do saturacije odlagališta.

## 8. ZAKLJUČAK

Sigurnosna analiza odlagališta radioaktivnog otpada kontinuiran je proces koji se provodi u iteracijama s ostalim aktivnostima na projektu. Osnovne paralelne aktivnosti koje su interakciji s analizom sigurnosti jesu optimizacija projektnog rješenja, proces karakterizacije lokacije i ekonomska valorizacija. Metodski pristup i modeli razvijeni u okviru ove preliminarne sigurnosne ocjene daju dobru osnovu za napredak cjelokupnog projekta po logici nužnog sistemskog pristupa. U daljnjim fazama podaci koji su porijeklom iz literature ili su dobiveni ekspertnom ocjenom dopunjavat će se specifičnim podacima s lokacije i projekta odlagališta.

Rezultati su za oba analizirana koncepta odlaganja (plitko i tunelskog tipa) pokazali da bi predviđene tehnologije odlaganja i hipotetske lokacije u potpunosti zadovoljile granične doze dane u jugoslavenskom zakonu i ICRP preporukama. Ni u jednom od identificiranih mogućih događaja nije utjecaj premašio graničnu vrijednost od 1 mSv/god. za kroničnu (dugotrajnu) izloženost i 5 mSv/god. za akutnu (kratkotrajnu) izloženost.

Provedena analiza osjetljivosti pokazala je da, ako varijacije parametara ostaju u okviru predviđenog

projektom rješenjem ORONEK-a i zahtijeva postavljene na lokaciju, tada utjecaj na rezultat nije značajan i doze su ispod postavljenih zakonskih granica.

## LITERATURA

- [1] BORŠO, M., ŽARKOVIĆ V., GAČINA N., SEDIĆ J.: »Idejno rješenje odlagališta nisko i srednje radioaktivnog otpada u granitno morfološkim formacijama«, Elektroprojekt, Zagreb, 1987.
- [2] KUDAR J., KONALJ S., JERIN K., URŠIĆ M., KOGOVIĆ B.: »Idejna rešitev odlagalište nizko in srednje radioaktivnih odpadkov«, Inženirski bio Elektroprojekt, Ljubljana, 1987.
- [3] D. TANKOSIĆ, V. JELAVIĆ, D. ŠKANATA, A. FINDIKAKIS, C. FERRAL, F. FEIZOLAHİ: »Preliminary Performance Assessment Report for Nuklearna Elektra-na Krško Radwaste Repository, Tunnel Concept an Shallow Land Disposal«, Bechtel National, Inc., San Francisco, 1988.
- [4] V. JELAVIĆ, Z. KISIĆ, N. MALBAŠA, D. ŠKANATA: »Opći pokazatelji o sigurnosti i utjecaju na okoliš odlagališta nisko i srednje radioaktivnog otpada NEK-a«, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1989.
- [5] »Pravilnik o maksimalnim granicama radioaktivne kontaminacije čovjekove okoline i o obavljanju dekontaminacije«, Službeni list SFRJ, broj 8, 1987.
- [6] M. DEMŠAR, M. TOMA, L. RIJAVEC, M. MIŠIĆ: »Študija lokacije — Vrednovanje možnih mikrolokacija za odlagališta nisko i srednje radioaktivnih odpadkov v SR Sloveniji«, Geološki zavod Ljubljana, 1987.
- [7] M. GOLAC, D. ČERINA, M. MANICH, T. BLINJA, Z. BREŠKO, S. ANTOLIŠ: »Istražni radovi za vrednovanje mogućih mikrolokacija odlagališta RAO unutar makrolokacija«, INA — Projekt, Zagreb, 1987.
- [8] »Pravilnik o uvjetima za lokaciju, izgradnju, pokusni rad, puštanje u rad i upotrebu nuklearnih objekata«, Službeni list SFRJ 52, 1988.
- [9] O. I. OZUNTALI, G. W. ROIES: »Update of Part 61 Impacts Analysis Methodology, Envirosphere company«, NUREG/CR-4370, 1986.
- [10] C. I. VOSS: »SUTRA — A Finite-element Simulation Model for Saturated — Unsaturated, Fluid-density-dependent Ground-water Flow with Energy Transport of Chemically-reactive Single Species Solute Transport«, U. S. Geological Survey Nat. Center Reston, Virginia, 1984.
- [11] PLEČAŠ I., PERIĆ A., KONSTADINVIĆ A.: »Odredivanje brzine procurivanja radionuklida na odlagalištu radioaktivnog otpada u realnim dinamičkim uslovima«, Energija 2, 1990.

## PRELIMINARY SAFETY ASSESSMENT FOR NPP KRŠKO RADWASTE REPOSITORY

Preliminary Safety Assessment for Nuklearna elektra-na Krško radwaste repository was performed (LLW/ILW). Shallow ground and tunnel type concept were analyzed. Analysis was based on two unknown generic sites, one for the shallow ground concept and the other for the tunnel type. Scenario selecting process and consequence analysis were performed by using deterministic approach. Results for the concepts of disposal suggests that technology will fully meet radiation limits imposed by the Yugoslav regulations and ICRP guidelines.

## PRÄLIMINARE ÜBERPRÜFUNG DER SICHERHEIT DES ATOMMÜLLAGERS DER NIEDRIGEN UND MITTLEREN AKTIVITÄT DES KERNKRAFTWERKES KRŠKO

Hier wurde die Überprüfung der Sicherheit des Atommüllagers der niedrigen und mittleren Aktivität des Kernkraftwerkes Krško durchgeführt. Die Analyse gründet auf generischen Lokationen mit dem Konzept der Tunnelablagerung und Ablagerung in den Oberflächen schichten. Durch das deterministische Modell wurde eine Auswahl akzidenteller Szenarien und die Berechnung ihrer Folgen durchgeführt. Die Ergebnisse für beide Konzepte der Ablagerung zeigten, daß die vorausgesehenen generischen Lokationen der Ablagerungsstellen und Technologien des Ablagerns den Grenzdosen die im jugoslawischen Gesetz und den ICRP Empfehlungen bestimmt wurden, vollkommen entsprechen würden.

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ПРОВЕРКА БЕЗОПАСНОСТИ ОТВАЛОВ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ АКТИВНОСТИ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ «КРШКО»

Выполнена проверка безопасности отвалов радиоактивных отходов малой и средней активности Атомной электростанции Кршко. Анализ обоснован генеративными размещениями, предполагаемыми для концепта отвалов в тунеле и отвалов в поверхностных слоях. Определяющим подходом выполнен выбор несущественных сценариев и оценка их последствий. Результаты обоих концептов отвалов показали, что предполагаемые генеративные размещения отвалов и технология отвалов вполне удовлетворяют предельные дозы по югославскому закону и ИСРП рекомендациям.

Naslov pisaca:

**Mr. Vladimir Jelavić, dipl. inž.**  
**Institut za elektroprivredu,**  
**41000 Zagreb, Proleterskih**  
**brigada 37, Jugoslavija**  
**Mr. Đurica Tankosić, dipl. inž.**  
**Bechtel Inc.**  
**San Francisco, USA**  
**Mr. Dejan Škanata, dipl. inž.**  
**NE Krško**  
**68270 Krško, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1990-04-06

# EKOLOŠKI POGLEDI NA NOVI ASORTIMAN SKLOPNIH APARATURA VISOKOG NAPONA

Ivan Štahan, Zagreb

UDK 621.316.5

PREGLEDNI RAD

U članku su opisani ekološki zahtjevi kao novi pristup pri projektiranju i proizvodnji sklopnih aparatura visokog napona, jer dosadašnji funkcionalni zahtjevi i zahtjevi za pouzdanošću ne zadovoljavaju suvremene uvjete rada. Razmatranje karakteristika u svjetlu ekologije prvi je takav rad s područja sklopnih aparatura.

**Ključne riječi:** Sklopni aparati, prekidači, metalom oklopljena postrojenja, sklopni blokovi, ekološki zahtjevi.

## 1. UVOD

Ekologija je grčka riječ (oikos — kuća + logos — riječ, govor), koja se upotrebljava kao sinonim za zaštitu prirode, zaštitu okoline i ljudi, a u širem značenju to je nauka o načinu života [1]. Posljednjih nekoliko godina ekologija zauzima sve vidnije mjesto u istraživanjima u različitim oblastima. Razlozi su u »nekontroliranom« razvoju tehnike i industrije, koje su proizvele mnogo novih materijalnih dobara, ali i niz katastrofa za ljude i okolinu. Materijalno blagostanje kosi se s poremećenom prirodnom ravnotežom. Na kraju dvadesetog stoljeća uspjeli smo da za samo nekoliko sati budemo na sasvim drugom kraju svijeta, da zavirujemo u beskraj svemira, ali smo istovremeno černobilskim i drugim katastrofama poremetili tisućljetnu ravnotežu prirode. Takozvane »ozonske ili crne rupe« ili efekat »staklenog vrta« nisu samo plod fantastike. Djelovanje kozmičkih zraka sve je jače, a spojevi fluora i klora samo jednom svojom molekulom »unište« sto tisuća molekula ozona. Stvorili smo plin freon (spoj klora i fluora) da bi nas zatim on uništio. Stotine takvih ili sličnih primjera uzrok su sve intenzivnijim ekološkim istraživanjima i stvaranja pravila kojih se moramo pridržavati želimo li spriječiti ekološke katastrofe. Istraživanje odnosno utvrđivanje tzv. ekoloških zahtjeva prilično je složen problem u području elektrostrojarstva, jer se zahtjevi razlikuju od onih iz drugih oblasti, npr. biokemije ili medicine. Naprimjer, da li proizvod koji proizvodi nedozvoljeno visoke vibracije i buku ugrožava okolinu? Mišljenja različitih stručnjaka nisu tako jednoznačna kao kod pitanja radioaktivnih zračenja. Nedoumica je još veća ako se postavi pitanje da li nedozvoljeno visoke radiosmetnje ugrožavaju okolinu, a one su upravo u našem području sklopnih aparatura moguće? Međutim, radiosmetnje su prema definiciji elektromagnetske smetnje koje nastaju neželjenim djelovanjem promjenjivoga električnoga ili magnetskoga polja na električne krugove, te neže-

ljenim djelovanjem među električnim krugovima. One djeluju na komunikacijske i informacijske sisteme, osjetljive elektroničke uređaje, prijem radio programa i TV-programa.

Postavlja se pitanje; da li odusutnost sustava komunikacija ili informacija, odsutnost prijema različitih programa ili smetnje pri radu stimulatora srca ili slušnog aparata pridonosi smirenju ljudi ili obratno? Odgovor je neumitno jasan za način života potkraj dvadesetog stoljeća, a posljedice radiosmetnji u urbanim sredinama mogu biti značajne ekološke smetnje.

Daljnji je problem određivanje minimalnih ili maksimalnih zahtjeva, pogotovo ako nema nacionalnih ili međunarodnih propisa. U Jugoslaviji je zakonodavac bio vrlo izdašan sa zakonima i propisima iz područja ekologije. Od Ustava SFRJ, preko republičkih zakona i propisa imamo ih nekoliko stotina, ali velik dio govori o ekološkoj zaštiti društvene svojine, a manje o zaštiti čovjeka i njegova načina života. Zato je studij zahtjeva proizašao iz mjerenja i iskustava, a ne uvijek na osnovi nekog propisa i standarda.

Iako je ekologija novija nauka, ona se sastoji od niza poznatih zahtjeva koje treba samo doslovno provoditi, ali i niza novih zahtjeva koje treba još istražiti, jer za neke i nema znanstvenih objašnjenja. Već kod zamišljanja nekog novog proizvoda s područja sklopnih aparatura visokog napona treba voditi brigu o očuvanju prirode pomoću ovih elemenata:

- odabira principa djelovanja sklopne aparature
- odabira materijala
- odabira tehnologije, odnosno provođenja mjera zaštite u tehnološkom procesu
- osiguranja uvjeta rada u pogonu i provođenje mjera zaštite radi sprečavanja kvarova sa štetnim posljedicama za ljude i okolinu
- osiguravanja da posljedice budu minimalne u slučaju slučajnih kvarova ili grešaka.

U poduzeću »Rade Končar« d.d. ekološkim zahtjevima sve se više posvećuje pažnja, a prvo zbrajanje is-

kustava i prva istraživanja provedena su u području novih konstrukcija sklopnih aparatura. Zaključeno je da na tom području postoji 13 ekoloških zahtjeva kojima moraju sklopne aparature (i druga elektrostrojarska oprema) u potpunosti zadovoljavati. To se odnosi na prekidače SF<sub>6</sub> i vakuumske prekidače, kao i sklopna postrojenja i blokove u koje se ti prekidači ugrađuju.

## 2. EKOLOŠKE KARAKTERISTIKE NOVOG ASORTIMANA SKLOPNIH APARATURA

Novi asortiman sklopnih aparatura osniva se na dvije tehnike:

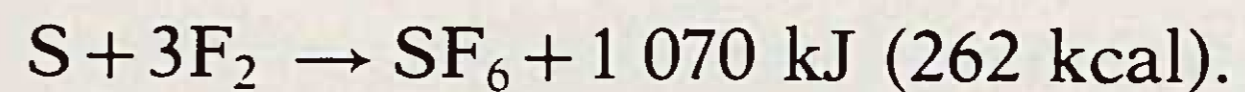
- tehnika plina SF<sub>6</sub> za gašenje luka i izolaciju
- tehnika visokog vakuuma za gašenje luka.

Tablica 1.

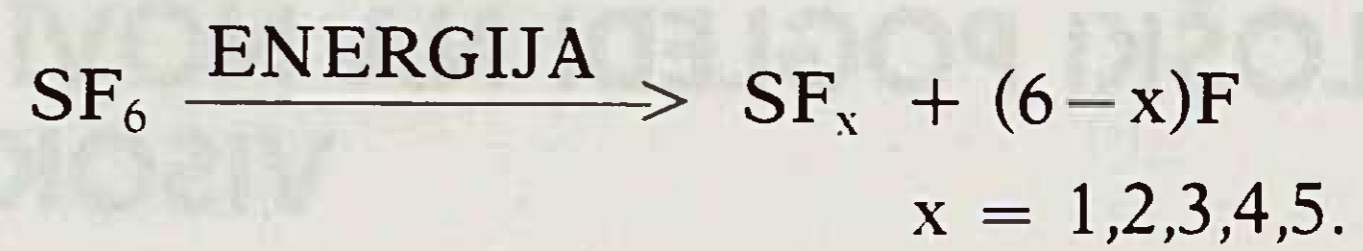
Asortiman	Tehnika SF <sub>6</sub>		Tehnika visokog vakuuma za gašenje luka
	za gašenje luka	za izolaciju	
slobodnostojeći prekidači od 72,5 do 525 kV	+		
metalom oklopljena i SF <sub>6</sub> -izolirana sklopna postrojenja od 7,2 do 35 kV		+	+
metalom oklopljena i SF <sub>6</sub> -izolirana skl. postrojenja od 7,2 do 145 kV	+	+	
metalom oklopljeni blokovi od 7,2 do 35 kV			+
vakuumski prekidači (za unutarnju montažu) od 7,2 do 35 kV			+

### 2.1. Plin SF<sub>6</sub>

S ekološkog stajališta plin SF<sub>6</sub> dosta je »pozitivan« plin i njegova primjena zadovoljava uglavnom ekološke zahtjeve. Ubraja se u tzv. elektronegativne plinove, ima izvanredna dielektrička svojstva, a najteži je od poznatih plinova. Specifična mu je masa kod 0 °C i 1 013 hPa jednaka 6,139 kg/m<sup>3</sup>, a to znači da je pet puta teži od zraka. Molekularna masa mu je 146,06 kg/kmol. Plin je bezbrojan i praktično bez mirisa. Ne gori i ne podržava gorenje. Nije otrovan. Građen je tako da ima simetričnu molekulu [2], a u centru jedan atom sumpora i 6 valentnih elektrona koji drže slobodne veze. Nadalje, ima 6 atoma fluora, koji su oko atoma sumpora tako raspoređeni da čine pravilan oktaedar. Svojstvo mu je da se već pod utjecajem zemljinog magnetskog polja i kozmičkih zraka raspada, stvarajući »trome negativne ione«, pa je kod atmosferskog pritiska i temperature 20 °C odličan izolator. Porastom temperature ili zbog djelovanja jakih električnih i magnetskih polja broj negativnih iona je veći, pa mu time i rastu dielektrička svojstva. Stabilan je plin, a dobije se u ekzotermnoj reakciji sumpora i fluora (kod sinteze se razvija energija):

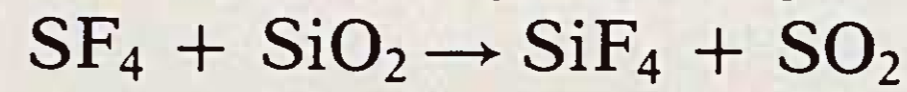
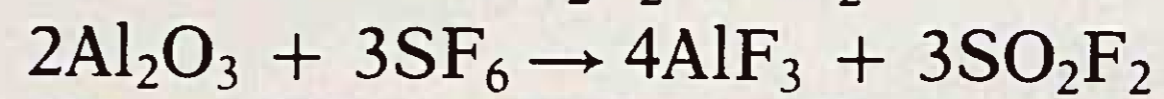
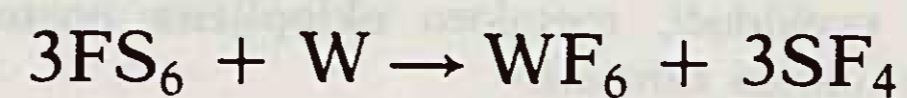
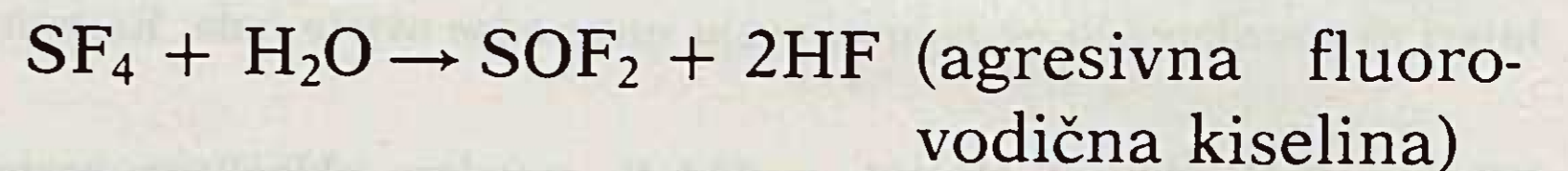
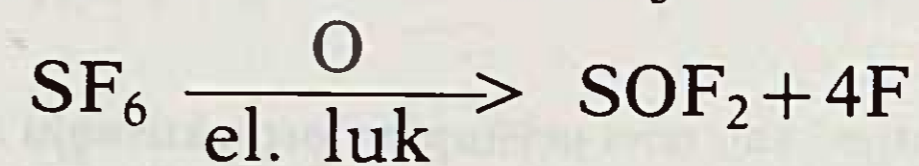


Za disociranje molekula SF<sub>6</sub> na sastavne dijelove potrebna je visoka energija kakvu imamo u momentu gašenja električnog luka u lučnoj komori (temperatura plazme je i do 20 000 K):



Proces je reverzibilan, tako da se prilikom hlađenja veći dio disociranih produkata rekombinira u SF<sub>6</sub>. Ostaju sumporni fluoridi te sumpor i fluor; SF<sub>4</sub>, SF<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>F<sub>10</sub>, S<sub>2</sub> i F<sub>2</sub>.

Uz prisutnost vlage i kisika iz okolnih materijala dolazi do tzv. sekundarnih reakcija te stvaranja cijelog niza produkata oksidacije i hidrolize. Naprimjer,



Produkti degradacije SF<sub>6</sub> uglavnom su plinoviti i u većini su otrovni, a vezivanjem s konstrukcionim materijalima dobije se sivo-bijeli (ili žućkasti) prah. Prah se taloži u obliku finog filma po obodu porcelana lučne komore i otrovan je.

Taloženje praha ovisi o količini vlage u plinu SF<sub>6</sub>, jer je ona uzrokom stvaranja agresivne fluorovodične kiseline. Propisima IEC 376 određuje se najviši sadržaj vlage, zraka i ostalih »nečistoća« u plinu SF<sub>6</sub>.

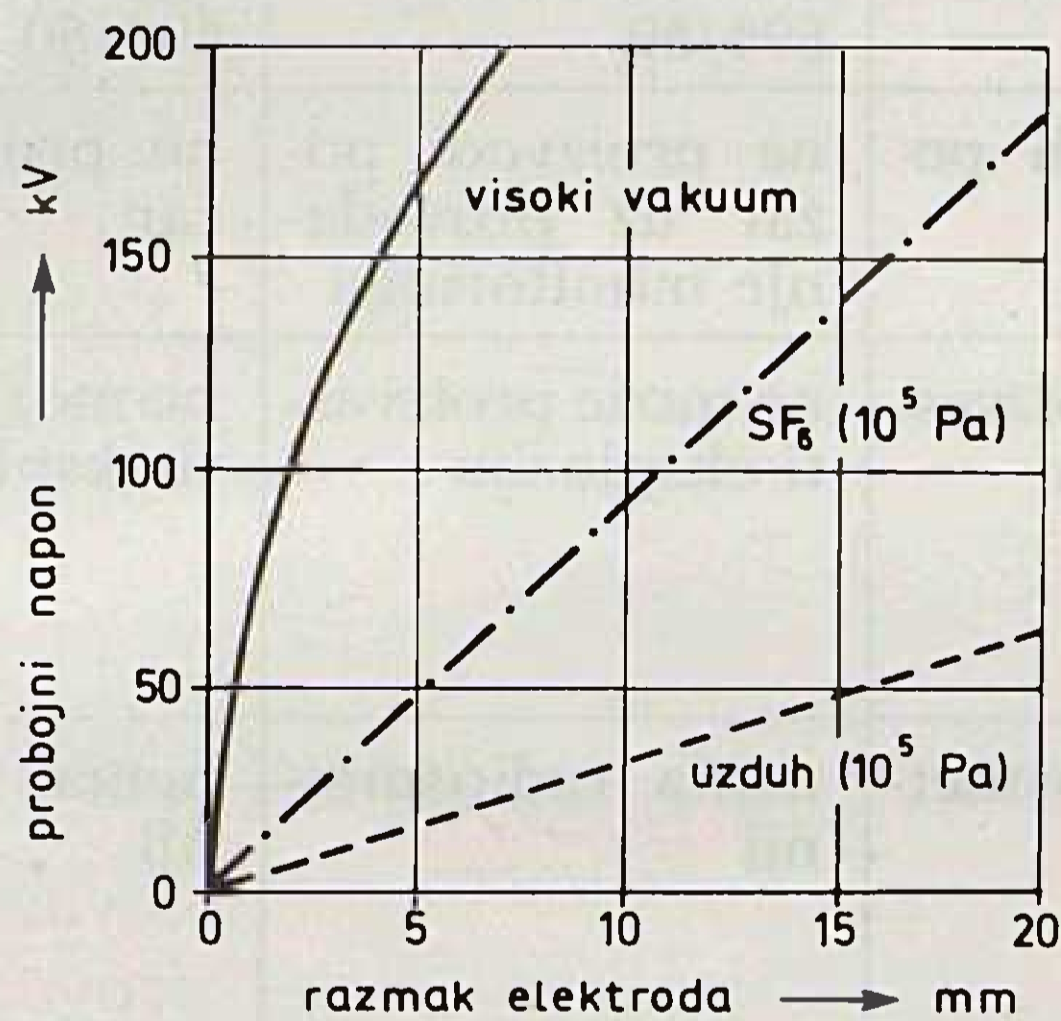
#### 2.1.1. Ekološki zaključci

- Plin SF<sub>6</sub> (u molekularnom stanju) nije otrovan.
- Pod utjecajem električnog luka plin SF<sub>6</sub> disocira (degradira), ali većim dijelom ponovno se rekombinira. Ostaju sumporni fluoridi koji su otrovni, ali je njihova koncentracija mala pa nisu opasni za zdravlje čovjeka (to se odnosi naročito na revizije slobodnostojećih prekidača u vanjskoj montaži, ali kod revizija metalom oklopljenih postrojenja u zatvorenim prostoru potrebno je osigurati odgovarajuću ventilaciju i zaštitu)
- Degradirani dijelovi SF<sub>6</sub> vežu se s vlagom i zbog reakcije s materijalima nastaje otrovan prah koji se bitno smanjuje kontrolom vlage u plinu SF<sub>6</sub> i ugradnjom filtara. (Filtar upija također i produkte degradacije i smanjuje ih na neopasnu količinu.)
- Bitno smanjenje (daljnje smanjenje) produkta degradacije vrši se kontrolom količine zraka u plinu SF<sub>6</sub> (pogotovo kod novog plina) prema IEC 376, kao i vakuumiranjem plinskih prostora.
- Pri reviziji lučnih komora potrebno je raditi zaštitnim sredstvima (spriječiti direktno udisanje produkta degradacije i dodir ruku s prahom). Ruke je potrebno češće prati i zaštititi tankim slojem vazelina, da bi se spriječilo eventualno djelovanje fluorovodične kiseline ili metalnih sulfida na kožu.

- Pri ispuštanju produkata raspada  $\text{SF}_6$  u atmosferu dolazi i do ispuštanja molekula fluora ( $\text{F}_2$ ). Ako on naide na slobodnu molekulu klora ( $\text{Cl}_2$ ), dolazi u određenim uvjetima, do stvaranja spoja koji može utjecati na ozonski sloj. Vjerojatnost ovog događaja nije još znanstveno dokazana [3]. Međutim, preporučuje se da se plin  $\text{SF}_6$  ispumpa iz plinskog prostora u poseban spremnik (uređajem za održavanje) ili u posudu s vodom. Prema tome preporuku da se  $\text{SF}_6$  ispumpa, osuši i filtrira ne treba tu mačiti samo visokom cijenom plina.
- Iako je  $\text{SF}_6$  praktično bez mirisa, u neposrednoj blizini otvorene lučne komore osjete se sumporni fluoridi.

## 2.2. Visoki vakuum

Izraz vakuum označava plinski medij čiji je tlak ispod normalnog atmosferskog tlaka ( $10^5$  Pa, odnosno 760 mmHg). Jedinica za mjeru je  $\text{N/m}^2$  odnosno Pa (paskal). Područje vakuuma od  $10^{-1}$  do  $10^{-6}$  Pa zove se visoki vakuum, a ispod  $10^{-6}$  Pa vrlo visok vakuum. Osnovno svojstvo vakuuma jest velik slobodni put čestica. Kao srednji slobodni put uzima se prosječna udaljenost koju prolazi molekula (ili atom, ili ion, ili elektron) u plinskom mediju prije nego se sudari s drugom molekulom ili njezinim dijelom. Što je vakuum viši, srednji put je duži. Pri određenoj razini vakuuma on postaje viši od razmaka npr. elektroda smještenih u vakuumu. Naprimjer, pri razmaku elektroda od 1 cm i vakuumu  $10^{-3}$  Pa samo nekoliko elektrona od milijun sudaraju se s molekulama i imaju mogućnost stvaranja iona. To su i osnovni razlozi visoke probojne čvrstoće vakuuma [4].



Slika 1. Ovisnost probojnog napona o razmaku elektroda

Iz dijagrama se vidi da je kod npr. razmaka elektroda od 5 mm probojni napon u vakuumu viši 10 puta od uzduha pri  $10^5$  Pa, od  $\text{SF}_6$  otprilike 3,5 puta.

Ako između dvije metalne elektrode malog razmaka u vakuumu postoji razlika potencijala, tada se na katodi javlja emisija elektrona, naročito jaka na neravninama površine elektrode tzv. mikrošiljcima i mikroispupčenijima.

Elektroni se oslobađaju sa značajnom energijom s površine katode te emisijom polja ubrzavaju u smjeru anode u koju udaraju. Dolazi do naglog kočenja

udarajućih elektrona, površina anode apsorbira dio ove kinetičke energije i dobije se fenomen u tzv. elektromagnetskom zračenju odnosno rendgenskim zrakama frekvencije  $10^{18}$  do  $10^{22}$  Hz [5].

Zračenje je to jače što su mikrošiljci veći. Istraživanja su pokazala: ako elektroda ima polumjer 0,02 mm (dakle, šiljak), jačina zračenja je 1 000 puta veća od elektrode s polumjerom 15 mm [6]. Zbog toga se u tehnološkom procesu proizvodnje vakuumske komore provodi skidanje mikrošiljaka i mikroispupčenja s kontakata postupkom koji se zove kondicioniranje.

Ispitivanje gotovih vakuumske komore pokazala su da se kod određenog razmaka kontakta pojavljuje ionizirajuće zračenje, ali kod napona na stezaljkama komore koji je 3 do 4 puta viši od najvišeg napona za kojeg je komora građena [7].

Tablica 2. Najviši izmjenični naponi 50 Hz na stezaljkama komora i razmaci kontakta kod kojih nema zračenja

Vakuumska lučna komora za najviši napon (kV)	Razmak kontakta (mm)	Napon na stezaljkama komore (kV)
12	11	50
17	11	53,7
24	13	70,7
35	19	99

Poznato je da su izraživanja prenapona pri sklapanju visokonaponskih motora pokazala da u realnom krugu ovisno o valnom otporu namotaja motora, duljini kabela itd. mogu se pojaviti prenaponi nekoliko puta viši od nazivnog napona motora. Međutim, ova pojava traje vrlo kratko (to je tzv. prijelazna pojava koja traje  $< 10^{-3}$  sek), a prema definiciji ozračivanje je integral ozračivanja po vremenu, odnosno suma zračenja tijekom određenog vremena. Iz toga slijedi da i u ovakvim slučajevima nema opasnosti od ozračivanja.

## 2.3. Ostale ekološke karakteristike

Ne ulazeći u analizu, ostale ekološke karakteristike mogu se nabrojati ovim redoslijedom:

- buka
- radio-smetnje
- vibracije
- zagrijavanje i požari
- eksplozije
- neugodni mirisi
- bljeskovi i svjetlo
- voda i vodotokovi.

## 3. EKOLOŠKI ZAHTJEVI NA SKLOPNE APARATURE VISOKOG NAPONA

Na osnovi analize različitih ekoloških zahtjeva došlo se do saznanja da ima 13 ekoloških zahtjeva kojima moraju odgovarati sklopne aparature visokog napona. Svi ti zahtjevi svrstani su u tablici 3. i osnovni odgovori na zahtjeve dani su po vrsti novog asortimana poduzeća »Rade Končar«, a u nastavku dana su i objašnjenja uz tablicu.

Tablica 3. 13. ekoloških zahtjeva na asortiman sklopnih aparata i postrojenja visokog napona

Ekološki zahtjev	Slobodno stojeći SF <sub>6</sub> prekidač tipe KAS, KAT, KAR	Metalom oklopljena i SF <sub>6</sub> izolirana postrojenja K8D6, K8D8 (do 145 kV)	Metalom oklopljena i SF <sub>6</sub> izolirana postrojenja BOP (do 35 kV)	Sklopni blok BIP (do 35 kV)	Vakuumski prekidači
Da ne ugrožava okolinu mehaničkim putem	ne ugrožava okolinu, odgovara IEC 17A (Central Office) 159, IEC 56 – 1987	ne ugrožava okolinu	ne ugrožava okolinu	ne ugrožava okolinu	ne ugrožava okolinu
Da ne ugrožava okolinu kemijskim putem	ne ugrožava okolinu uz provođenje preporuka proizvođača	ne ugrožava okolinu uz provođenje preporuka proizvođača	ne ugrožava okolinu	ne ugrožava okolinu	ne ugrožava okolinu
Da ne ugrožava okolinu otrovnim sastojcima	ne ugrožava okolinu uz provođenje preporuka proizvođača	ne ugrožava okolinu uz provođenje preporuka proizvođača	ne ugrožava okolinu	ne ugrožava okolinu	ne ugrožava okolinu
Da ne zagađuje vodotokove	ne zagađuje vodotokove	ne zagađuje vodotokove	ne zagađuje vodotokove	ne zagađuje vodotokove	ne zagađuje vodotokove
Da ne ugrožava okolinu vibracijama i udarima	ne ugrožava okolinu odgovara ISO – 2631	ne ugrožava okolinu odgovara ISO – 2631	ne ugrožava okolinu odgovara ISO – 2631	ne ugrožava okolinu odgovara ISO – 2631	ne ugrožava okolinu
Da ne ugrožava okolinu bukom	ne ugrožava okolinu bukom Sl. list SFRJ br. 29/71	ne ugrožava okolinu bukom Sl. list SFRJ br. 29/71	ne ugrožava okolinu bukom Sl. list SFRJ br. 29/71	ne ugrožava okolinu bukom Sl. list SFRJ br. 29/71	ne ugrožava okolinu bukom Sl. list SFRJ br. 29/71
Da ne ugrožava okolinu svjetlosnim bljeskovima	ne ugrožava okolinu	ne ugrožava okolinu	ne ugrožava okolinu	ne ugrožava okolinu	ne ugrožava okolinu
Da ne ugrožava okolinu neugodnim mirisima	ne razvijaju mirise	ne razvijaju mirise	ne razvijaju mirise	ne razvijaju mirise	ne razvijaju mirise
da ne zagrijavaju okolinu	ne zagrijava okolinu IEC Publ. 694/80	ne zagrijava okolinu IEC Publ. 694/80	ne zagrijava okolinu IEC Publ. 694/80	ne zagrijava okolinu IEC Publ. 694/80	ne zagrijava okolinu IEC Publ. 694/80
da ne proizvodi požar	ne proizvodi požar	ne proizvodi požar	ne proizvodi požar	ne proizvodi požar uz provođenje monitoringa	ne proizvodi požar
Da ne ugrožava okolinu eksplozijom	neće proizvesti eksploziju uz provođenje stalnog monitoringa pritiska	neće proizvesti eksploziju uz provođenje stalnog monitoringa pritiska	ne može proizvesti eksploziju	ne može proizvesti eksploziju	ne može proizvesti eksploziju
Da se spriječe visoke radiosmetnje	ne proizvodi visoke radiosmetnje – IEC Publ. 694/80 točka 6.2.	ne proizvodi visoke radiosmetnje – IEC Publ. 694/80 točka 6.2.	nema radiosmetnji	nema radiosmetnji	nema radiosmetnji
Da ne ugrožava okolinu ionizirajućim zračenjem	nema zračenja	nema zračenja	u normalnim pogonskim uvjetima nema radioaktivnih zračenja	u normalnim pogonskim uvjetima nema radioaktivnih zračenja	u normalnim pogonskim uvjetima nema radioaktivnih zračenja

### 3.1. Objašnjenje uz tablicu 13 ekoloških zahtjeva

1. **Ugrožavanje okoline mehaničkim putem.** Kod slobodnostojećih SF<sub>6</sub> prekidača dimenzioniranje aparatskog elektroprocelana vrši se s koeficijentom sigurnosti 2,5 za statička odnosno 1,25 za statička plus dinamička opterećenja, a da pri vrlo teškim uvjetima rada, kao što je prekidanje kratkih spojeva, visokih mehaničkih opterećenja (vjetровi iznad 150 km/h), seizmoloških optereće-

nja itd., ne dolazi do rasprsnuća aparatskog elektroprocelana (vidi IEC 17A (Central Office) 156, IEC 56 – 1987; Končar – Stručne informacije, 4/1984.)

2. **Ugrožavanje okoline kemijskim putem.** Plin SF<sub>6</sub> i njegove produkte razgradnje treba iz lučne komore evakuirati za to predviđenim uređajima i ne treba ih puštati slobodno u atmosferu. To se odnosi na prekidače, bilo slobodnostojeće, bilo u metalom oklopljenim postrojenjima.



3. **Ugrožavanje okoline otrovnim sastojcima.** Budući se produkti razgradnje plina SF<sub>6</sub> uz prisutnost vlage kemijski vežu s konstrukcionim materijalima, rezultat je relativno otrovan prah. Radovi na revizijama komora moraju se vršiti uz zaštitne mjere za ljude (zaštita dišnih organa, rukavice, itd.). Obavezno je vršiti kontrolu plina prema uputama proizvođača i IEC Publikacije 376.
4. **Zagađivanje vodotoka.** Kod ovih novih tehnika nema opasnosti da bi se zagađili vodotokovi, ali je poteban neprekidan monitoring hidrauličkih instalacija.
5. **Ugrožavanje okoline vibracijama i udarima.** Vlastita frekvencija zbog sklapanja prekidača, postrojenja i blokova kreće se između 1, 2 do 3 Hz uz neznatne amplitude, pa prema ISO 264 ne ugrožavaju okolinu. Kod tzv. skočnih mehanizama koji sklapaju udarima potrebno je predvidjeti prigušenje vibracija da se ne bi prenosile na ostale dijelove postrojenja i podlogu.
6. **Ugrožavanje okoline bukom.** Mjerenja buke zbog sklapanja kod cjelokupnog asortimana visokog napona kreće se između 86 i 90 dB, ali u vremenu do 100 ms, pa prema propisima iz Sl. lista SFRJ br. 29/71 ne ugrožava okolinu bukom. (Npr., SF<sub>6</sub> prekidači imaju prosječnu razinu buke 90 dB (mjereno u zatvorenoj hali), a raniji pneumatski prekidači 3P od 106 dB.)
7. **Ugrožavanje okoline svjetlosnim bljeskovima.** Konstrukcija svih sklopnih aparatura ne omogućuje vidljivu pojavu bljeskova jer se lučne komore nalaze unutar cilindra elektroprocelana ili u metalnom kućištu.
8. **Ugrožavanje okoline neugodnim mirisima.** Odabrani mediji za gašenje, izolaciju i pokretanje pogonskog mehanizma, a ni njihovi produkti razgradnje ne razvijaju mirise.
9. **Zagrijavanje okoline.** Svaka sklopna aparatura i njezini sastavni dijelovi ispituju se na zagrijavanje prema IEC Publikaciji 694/80 tabela V i točka 6.3. Tijekom rada potrebno je, na osnovi preporuka ili vlastitog iskustva, provesti dijagnostičko ispitivanje metodom termovizije.
10. **Mogućnost požara.** Požar u sklopnim aparaturama i blokovima može nastati jedino od širenja kratkog spoja po postrojenju. Teorijska mogućnost postoji kod sklopnih blokova BIP, ali se to rješava izoliranjem sabirnica i vodiča negorivom izolacionom masom i provođenjem monitoringa pojave kratkog spoja. Inače plin SF<sub>6</sub> ne gori i ne podržava gorenje.
11. **Ugrožavanje okoline eksplozijom.** Kod slobodnostojećih prekidača i metalom oklopljenih postrojenja provodi se stalno nadgledanje pritiska plina SF<sub>6</sub> i ulja u pogonskom mehanizmu. Za slučaj naglog porasta pritiska, zbog npr. slučajne pojave unutarnjeg kratkog spoja, ugrađuju se zaštitne membrane za rasterećenje, a kod sklopnih blokova posebni poklopci.
12. **Sprečavanje radiosmetnji.** Svaka sklopna aparatura ili njezin dio, a koji su predviđeni za nazivni

napon 123 kV i više ispituju se na radiosmetnje prema IEC Publikaciji 694/80. Ako nije drugačije dogovoreno s kupcem, razina radiosmetnji ne smije prelaziti 2 500 μV (mikrovolta). Mjerenja radiosmetnji kod slobodnostojećih prekidača SF<sub>6</sub> (npr. K3AS2, 245 kV) iznose (kod 0,5 MHz i ispitnog napona  $1,1 \cdot 245/\sqrt{3}$  u trajanju 5 minuta) između 600 i 800 μV ovisno da li je prekidač isključen ili uključen. Kod rastavljača Rvz (npr. 245 i 420 kV) razina radiosmetnji iznosi između 300 i 500 μV.

13. **Ugrožavanje okoline ionizirajućim zračenjem.** Kod sklopnih aparatura i blokova u kojima upotrebljavamo vakuumske prekidače, kod nazivnih napona ne dolazi do ionizirajućih zračenja.

#### 4. ZAKLJUČAK

Dosadašnji način projektiranja i konstruiranja sklopnih aparatura imao je dvije faze:

- osiguranje nazivnih karakteristika u skladu s nacionalnim i međunarodnim standardima i propisima, kao i osiguranje potpune sigurnosti rukovoca sklopnim aparaturama
- osiguranje visoke pouzdanosti, tj. visoka mehanička i električna trajnost u najtežim uvjetima električnih i mehaničkih opterećenja (kratki spoj, zemljotres, vjetar iznad 150 km/h itd.) uz minimalno održavanje. Radi održanja visoke raspoloživosti u tijeku su razvojna istraživanja svih vrsti monitoringa i tehničke dijagnostike.

Međutim, ovim dvjema fazama mora se priključiti i treće:

- osiguranje udovoljavanju ekološkim zahtjevima.

Iz cjelokupnog razmatranja ekoloških zahtjeva proizlazi da postoji minimum od 13 zahtjeva kojima moraju udovoljavati sve sklopne aparature. Neka istraživanja još traju (a mnogi novi zahtjevi otkrivat će se i naknadno), ali onoga što je već danas u potpunosti jasno moramo se pridržavati. Kada je u pitanju ekologija, to nije samo profesionalni odnos nego i tehnička i ljudska savjest.

#### LITERATURA

- [1] B. KLAIĆ: »Veliki riječnik stranih riječi, izraza i kratica«, Zora, Zagreb
- [2] I. ŠTAHAN, I. NAUMOVSKI: »Primjena plina SF<sub>6</sub> u sklopnim aparaturama visokog napona«, Končar — Stručne informacije br. 3–4/1982
- [3] R. MAHMUTČEHAJIĆ, S. HAJDIN: »Osvrt na razvoj i primjenu SF<sub>6</sub> prekidača«, Energija, br. 4/1989.
- [4] I. ŠTAHAN, I. NAUMOVSKI: »Razvoj električnih sklopnih aparata s gašenjem luka u vakuumu«, Končar — Stručne informacije br. 2–3/1981.
- [5] N. MARINKOVIĆ: »Opća elektrotehnika i elektronika«, Školska knjiga, Zagreb 1979.

- [6] D. DOHNAL: »Untersuchungen zur Korrelation Zwischen der Röntgenstrahlung und den elektrischen Grössen an Elektrodenanordnungen im Hochvakuum und and Vakuumschaltröhren«, etz Archiv Bd 3 (1981) H7
- [7] Zulassungsschein Nr 8 W/139/88/Rö von firm AEG — Opto und Vakuumelektronik
- [8] KALICHEMIE — Hannover: Schwefelhexa fluorid
- [9] Službeni listovi SFRJ: br. 29/71, br. 62/84, br. 9/74, br. 31/89
- [10] Narodne novine SRH; br. 54/76, br. 31/84.

ECOLOGICAL ASPECTS OF NEW DESIGN HV BREAKING APPARATUS

In the article are described ecological requirements for a new approach to design and production of HV breaker apparatus, because up-to-day functional and reliability requirements do not comply to modern operation conditions. Elaboration of ecological aspects of technical characteristics is the first paper in the field of breaking apparatus.

ÖKOLOGISCHE ANSICHTEN AUF DAS NEUE ASSORTIMENT DER SCHALTAPPARATUREN FÜR HOCHSPANNUNG

Im Artikel werden ökologische Ansprüche als auch ein neuer Zutritt beim Projektieren und der Erzeugung der Schaltapparaturen für Hochspannung beschrieben, da die bisherigen funktionalen Ansprüche und die Ansprüche bezüglich der Zuverlässigkeit den modernen Arbeitsbedingungen nicht entsprechen. Das Erwägen der Charakteristiken im Lichte des Umweltschutzes ist die erste Arbeit auf dem Gebiet der Schaltapparaturen.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА НОВОГО СОРТИМЕНТА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПРЕРЫВАТЕЛЬНЫХ АППАРАТУР

В статье описаны экологические требования, как новый подход при проектировании и производстве прерывательных высоковольтных аппаратур, ибо предыдущие функциональные требования и требования надежности не удовлетворяют нынешние условия работы. Рассмотрение характеристик с точки зрения экологии является первой такой работой в области прерывательной аппаратуры.

Naslov pisca:

Ivan Štahan, dipl. inž. ETI »Rade Končar« Zagreb, 41000 Zagreb, Baštijanova bb, Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis: 1990-03-23

LITERATURA

- [1] B. KLAIC: Vredniti rješenja suvremenih tipova vakuumskih aparatura, Zagreb, 1987.
- [2] I. ŠTAHAN, I. KAMUNOVSKI: »Ekonomska analiza i ekološki aspekti suvremenih visokonaponskih aparatura«, Kakanj - Zbornica informacija, br. 3-4/1981.
- [3] R. MAHNUČIĆ, B. HADJIĆ, O. VUKIĆ: »Otvor za rasipanje«, Zbornica informacija, br. 4/1982.
- [4] I. ŠTAHAN, I. KAMUNOVSKI: »Karakteristike i ekološki aspekti suvremenih visokonaponskih aparatura«, Kakanj - Zbornica informacija, br. 5-6/1981.
- [5] M. MARINKOVIĆ: »Osnovne karakteristike i ekološki aspekti suvremenih visokonaponskih aparatura«, Kakanj - Zbornica informacija, br. 7-8/1981.

- 1. Uvodna razmatranja. Svrha ovog rada je opisati ekološke zahtjeve za dizajn i proizvodnju visokonaponskih aparatura, jer se današnji funkcionalni i pouzdanosni zahtjevi ne uklapaju u moderne uvjete rada. Prvo razmatranje odnosi se na ekološke zahtjeve za dizajn i proizvodnju visokonaponskih aparatura, jer se današnji funkcionalni i pouzdanosni zahtjevi ne uklapaju u moderne uvjete rada. Prvo razmatranje odnosi se na ekološke zahtjeve za dizajn i proizvodnju visokonaponskih aparatura, jer se današnji funkcionalni i pouzdanosni zahtjevi ne uklapaju u moderne uvjete rada.
- 2. Ekološki zahtjevi za dizajn i proizvodnju visokonaponskih aparatura. Ekološki zahtjevi za dizajn i proizvodnju visokonaponskih aparatura odnose se na smanjenje emisije štetnih tvari, smanjenje potrošnje energije i smanjenje troškova održavanja. Ekološki zahtjevi za dizajn i proizvodnju visokonaponskih aparatura odnose se na smanjenje emisije štetnih tvari, smanjenje potrošnje energije i smanjenje troškova održavanja.
- 3. Ekološki zahtjevi za dizajn i proizvodnju visokonaponskih aparatura. Ekološki zahtjevi za dizajn i proizvodnju visokonaponskih aparatura odnose se na smanjenje emisije štetnih tvari, smanjenje potrošnje energije i smanjenje troškova održavanja. Ekološki zahtjevi za dizajn i proizvodnju visokonaponskih aparatura odnose se na smanjenje emisije štetnih tvari, smanjenje potrošnje energije i smanjenje troškova održavanja.
- 4. Ekološki zahtjevi za dizajn i proizvodnju visokonaponskih aparatura. Ekološki zahtjevi za dizajn i proizvodnju visokonaponskih aparatura odnose se na smanjenje emisije štetnih tvari, smanjenje potrošnje energije i smanjenje troškova održavanja. Ekološki zahtjevi za dizajn i proizvodnju visokonaponskih aparatura odnose se na smanjenje emisije štetnih tvari, smanjenje potrošnje energije i smanjenje troškova održavanja.
- 5. Ekološki zahtjevi za dizajn i proizvodnju visokonaponskih aparatura. Ekološki zahtjevi za dizajn i proizvodnju visokonaponskih aparatura odnose se na smanjenje emisije štetnih tvari, smanjenje potrošnje energije i smanjenje troškova održavanja. Ekološki zahtjevi za dizajn i proizvodnju visokonaponskih aparatura odnose se na smanjenje emisije štetnih tvari, smanjenje potrošnje energije i smanjenje troškova održavanja.

# IZOLIRANI VODIČI NA SREDNJONAPONSKIM VODOVIMA NAPONA 10 i 20 kV

Miljenko Jugovac, Rijeka

UDK 621.315.3  
PREGLEDNI RAD

Opisan je dalekovod 20(10) kV izveden na jednoj dionici s izoliranim vodičima zbog trave u blizini škole. Opis je detaljan i može dobro poslužiti stručnjacima koje interesira ta problematika.

**Ključne riječi:** dalekovod, izolirani vodiči, specijalni uvjeti.

## 1. UVOD

Primjena izoliranih vodiča na srednjonaponskim vodovima u zadnje je vrijeme sve prisutnija na mrežama distribucija Finske, Švedske i SR Njemačke. Razlog za uvođenje ove tehnologije jest želja za što većom pogonskom sigurnosti u uvjetima snijega i leda, posebno kada su posrijedi šira šumska područja. Pogonska iskustva i ispitivanja, koja su obavljena s time u vezi govore o velikoj pouzdanosti takvih sistema napajanja, uz relativno mala ulaganja. Dakako da je ovu tehnologiju moguće primijeniti i u ostalim uvjetima kao što su zračna zagađivanja, protupožarna zaštita, minimalni razmaci na stupovima i slično, ako za to postoje dovoljno opravdani razlozi.

Jedna od prednosti koja se željela iskoristiti u prvom pokušaju uvođenja ove tehnologije u našoj RO jest izolaciona sposobnost vodiča. Zbog toga je dio voda 20(10) kV, koji prolazi parkom uz zgradu osmogodišnje škole »10. svibanj« na Jelenju (općina Rijeka), opremljen vodičima izoliranim i postavljenim na postojeće drvene i čelično rešetkaste stupove.

Valja spomenuti i jednu od vrlo važnih, a u ovom trenutku i posebno naglašenih prednosti koja se odnosi na protupožarnu zaštitu. Padovi vodiča izazvani od prenapona ili proboja izolacije neće prouzrokovati šumske požare (na koje smo već navikli u toku ljetnih mjeseci) zahvaljujući upravo visokim prijelaznim otporima.

## 2. TEHNIČKI PODACI O OPREMI I VODIČU

Izolirani vodič, koji je korišten na spomenutoj lokaciji, jest ustvari Alče uže od 35/6 mm<sup>2</sup> prevučeno izolacijom od umreženog polietilena debljine 2,7 mm. Time se ustvari pokušalo prilagoditi mogućnostima proizvođača, koji u ovom trenutku nije bio u stanju isporučiti vodič iz aldreja, a koji se primjenjuje u Sjevernoj Evropi.

Ovjesni pribor, koji je korišten za ovu priliku, iz standardnog je asortimana opreme, koja se inače koristi za samonosivi kabelski snop za 1 kV naponski nivo. Pritome svakako poseban problem predstavlja primjena zavješena vodiča na potporni izolator linijskog (ili nosivog) stupa.

U Finskoj je to riješeno ugradnjom stezaljke (leđice) na glavi izolatora, dok je u Njemačkoj za to korišten poseban tip Lsp izolatora s rupom na glavi.

U nedostatku ovih izolatora, ali i u namjeri da se izolirani vodiči mogu ugrađivati na postojeće D 175 (VHD) izolatore, primijenili smo novo tehničko rješenje, koristeći stezaljke i petlje iz SKS-a (16 mm<sup>2</sup>), takozvani YU VEZ (sl. 1).



Slika 1.

Primjenom ovog rješenja uspjelo se osigurati prihvaćanje vodiča, ali i njegovo odmicanje od površine izolatora, sve u želji da se u toku eksploatacije zaštiti sloj izolacije od mogućeg trljanja i oštećenja.

U prilogu je dan i osvrt na ostale elemente zavješena kao što su rasteretna, kutna mjesta s određenim uputama za montažu.

Tu bismo posebno izdvojili tehničko rješenje sa zateznom stezaljkom, koja se inače koristi za samonosiivi kabelski snop 1 kV, a u ovoj je prilici izvanredno prilagodljiv element jer je u stanju prihvatiti i izolirane vodiče većeg presjeka.

Zasada je mogućnost primjene opreme vezana za određene presjeke vodiča. Uvođenjem AlČe vodiča i povećanjem izolacije od 2,3 na 2,7 mm osjetno se povećava opseg izoliranog vodiča, čime dakako treba računati pri izboru ovjesnog i zateznog pribora.

Stezaljke sa dva vijka pokazale su se u takvim slučajevima kao bolje tehničko rješenje iako tehnički još nedovoljno provjerene.

Rješenja prezentirana u prilogu odnose se isključivo na presjek AlČe 35 mm<sup>2</sup>. Primjena vodiča presjeka 70 ili čak 120 mm<sup>2</sup> zahtijeva posebnu razradu, osobito ako je posrijedi njihova primjena u zonama s otežanim meteorološkim uvjetima.

### 3. ISPITIVANJA — NAPONSKA I MEHANIČKA

Optimalni nivo izolacije vodiča odabran je, s određenim namjerama, u smislu poboljšanja pogonske sigurnosti bilo da su posrijedi međusobni dodiri vodiča, bilo da je u pitanju moguć dodir prolaznika s palim vodičem. U svakom slučaju bilo je potrebno provesti naponska ispitivanja da bi se odgovorilo na pitanja kao što su veličine napona pri kojima dolazi do proboja izolacije i veličine pražnjenja u slučaju dodira.

Tablica I.

Varijanta		Ispitni napon (kV)							
		5	10	15	20	25	30	35	
a.	m A	42	94	145	200	244	274	250	Pri naponu > 20 kV povećano je pražnjenje. Izolacija nije oštećena.
b.	m A	43,5	95	151	221	269	317	305	Pri naponu > 15 kV povećano je pražnjenje. Izolacija nije oštećena.
c.	m A	76	159	245	330	360	420	430	Osjetno povećanje struje, svjetlosnih efekata pražnjenja. Izolacija nije oštećena.
d.	m A	440		500	200	270	310	320	Struje su daleko veće. Izolacija nije oštećena, ali je suha. Kontakt je vruć.

Tablica II.

Varijanta		Ispitni napon (kV)				
		5	10	15	20	25
		Dodirni napon (V)				
suho		0,36	0,8	1,3	1,8	2,4
vlažno		0,54	1,05	1,55	2,1	2,8
struja odvoda (mA)					0,68	0,88

U I. i II. tablici prikazani su rezultati takvih ispitivanja iz kojih je vidljiva činjenica koja potvrđuje izolacijske sposobnosti izoliranih vodiča u granicama njezina korištenja. Tu, dakako, ne treba smetnuti s uma činjenicu da oštećenje nastalo zbog pada vodiča na konzolu (kada lako može biti oštećena izolacija), uz-

rokuje direktni kratki ili zemni spoj, što se ustvari svodi na isti problem kao što ga dosada imamo s golim vodičima.

U sklopu ovakvih razmišljanja zanimljiva su iskustva distribucija Finske kojima su se kvarovi na 20 kV nadzemnoj mreži ozbiljno smanjili korištenjem izoliranih vodiča ili, kako ih oni zovu »SAX«-vodova. Iskustva uz ostalo govore o padu drveća i grana na vodove, koji su mjesecima nakon toga pod naponom, a kvarovi su identificirani tek pri periodičnim obilascima.

Mehanička ispitivanja obavljena su s namjerom da se provjeri veličina horizontalne sile potrebne za popuštanje veza (YU) na potpornim izolatorima linijskog stupa. Utvrđeno je da se sa stezaljkom kojoj su skinute čeljusti postiže popuštanje pri zatezi od 200 daN, ako je vijak pritegnut sa 1,2 daN, i to na temperaturi od 15 °C.

Taj podatak zadovoljava uobičajene kriterije privezivanja vodiča uz izolator, što drugim riječima znači da je njegovom primjenom bio primjerno zaštićen i stup.

### 4. ISKUSTVA PRI IZGRADNJI PRVOG SN VODA IZOLIRANIM VODIČEM

Moramo naglasiti da su iskustva iznesena u sadržaju isključivo oko ugradnje izoliranog vodiča na dionici 20 kV voda Jelenje – Podrvanj.

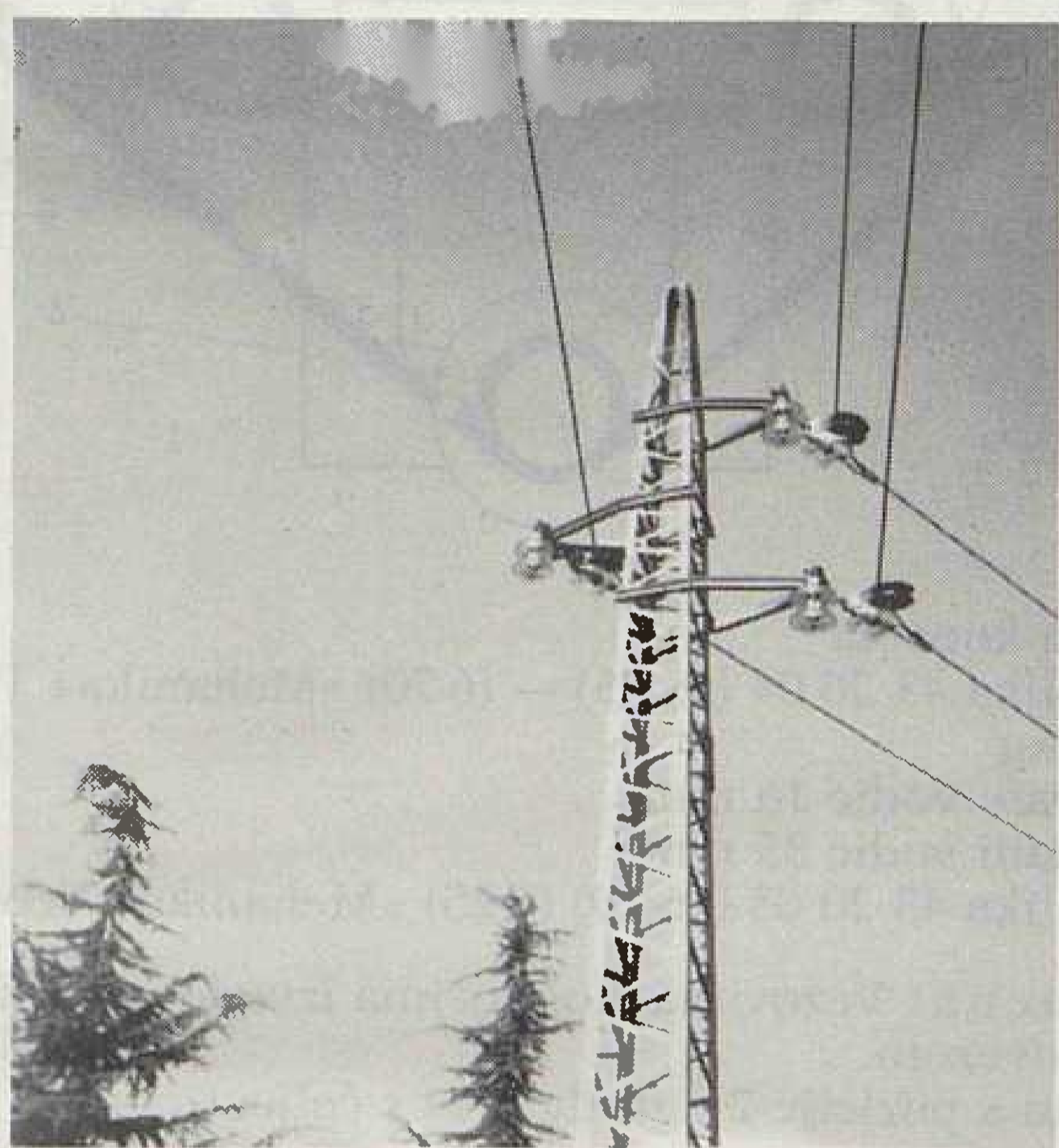
#### Osnovni podaci o vodu

- Stupovi — 2 čelično-rešetkasta — rasteretna  
4 drvenih impregniranih stupova — linijski
- Vodič — AlČe izolirani 35/6 mm<sup>2</sup>
- Napajanje — vod je u petlji s početkom na objektu trafostanice »Jelenje« 10(20)/0,4 kV a završava na rešetkastom stupu.  
Linija se dalje produžava s golim vodičima na drvenim stupovima.
- Ostalo — Interpolacija je izvršena na postojećoj trasi voda gdje su goli vodiči zamijenjeni izoliranim u dužini od 350 m.
- Namjena — Ugradnja izoliranih vodiča izvedena je na dijelu voda koji prelazi u neposrednoj blizini škole, čime se željela postići određena zaštita od dodirnog napona.

**Napomena** — Dosadašnji vod izgrađen s golim vodičima zadovoljavao je sve tehničke uvjete. Međutim, smatrali smo da je bilo potrebno na neki način pružiti veću sigurnost djeci kojima je park ispod voda prostor za igru.

Montažu vodiča obavile su dvije brigade montera, od kojih je jedna radila na uvođenju vodiča u trafostanicu, a druga na zamjeni vodiča na nadzemnom 20 kV vodu.

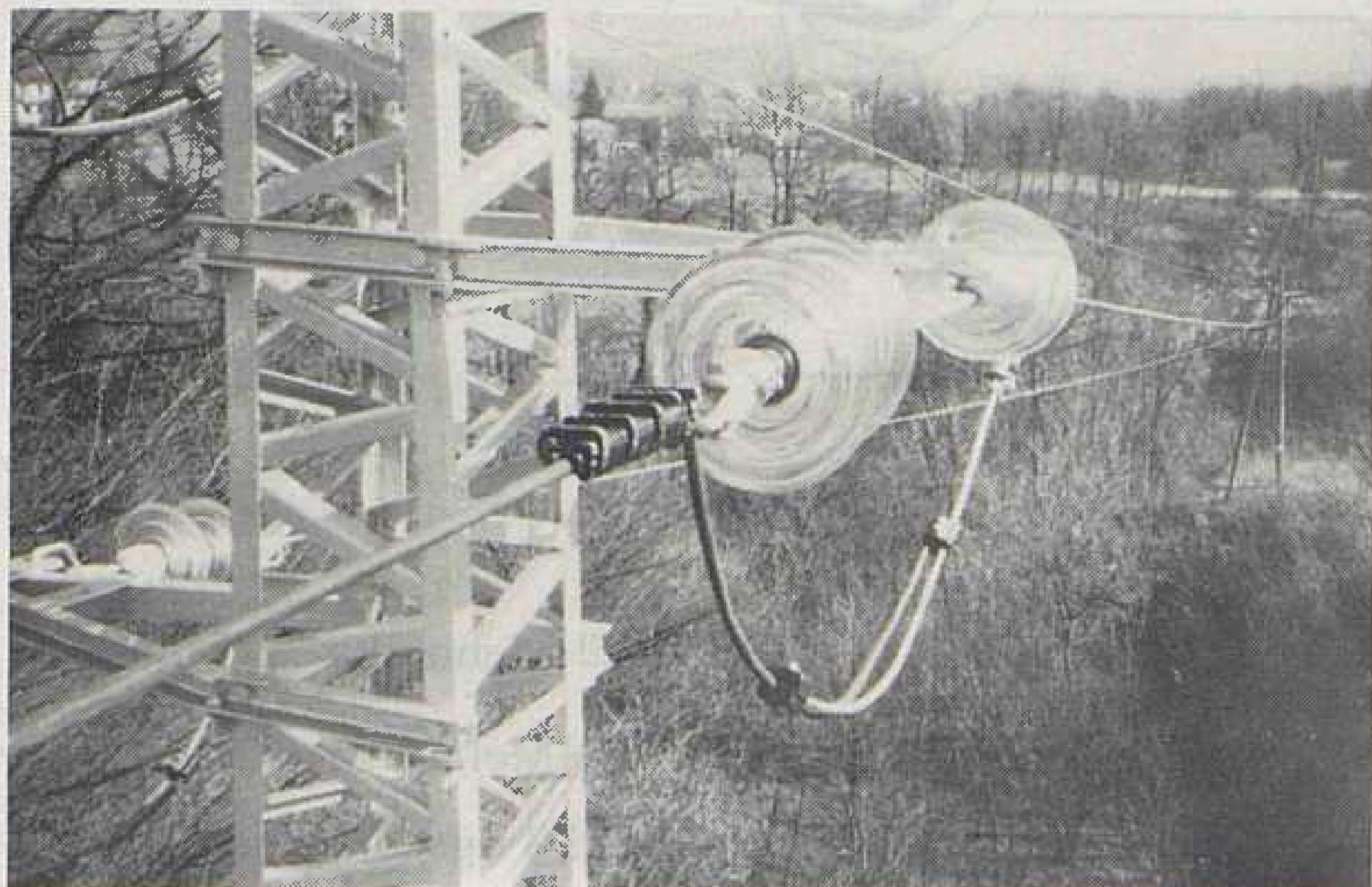
Na nadzemnom vodu bilo je prvo potrebno razvući izolirane vodiče preko koloturnika, koristeći se pritom golim vodičima (koji su se mijenjali). Zatim je obavljeno zatezanje i prihvaćanje sa stezaljkama sa silom od 250 daN na rešetkastim stupovima i trafostanici.



Slika 2.

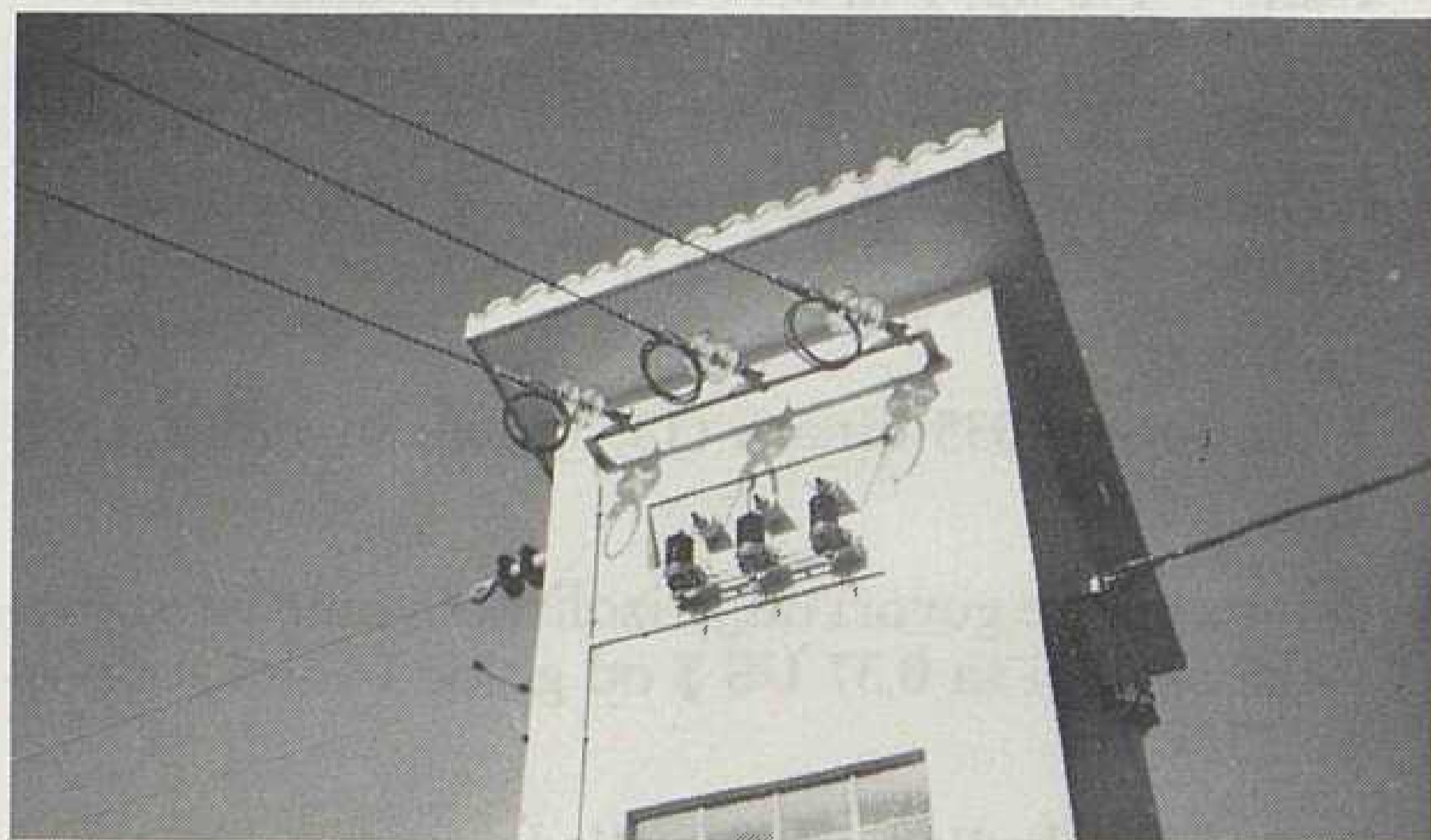
Ugradnja vodiča izvedena je tako da su se na željezno-rešetkastom stupu, u neposrednoj blizini škole, »strujni mostovi« formirali bez ubacivanja strujne stezaljke kako bi se osigurali od mogućeg doticaja »nestručnih penjača«, odnosno djece.

Na krajnjem čelično-rešetkastom stupu izvedena je zatega, a na strujnim mostovima spojen je goli vodič s izoliranim vodičem, pri čemu su se primjenile stezaljke sa dva vijka (slika 3).



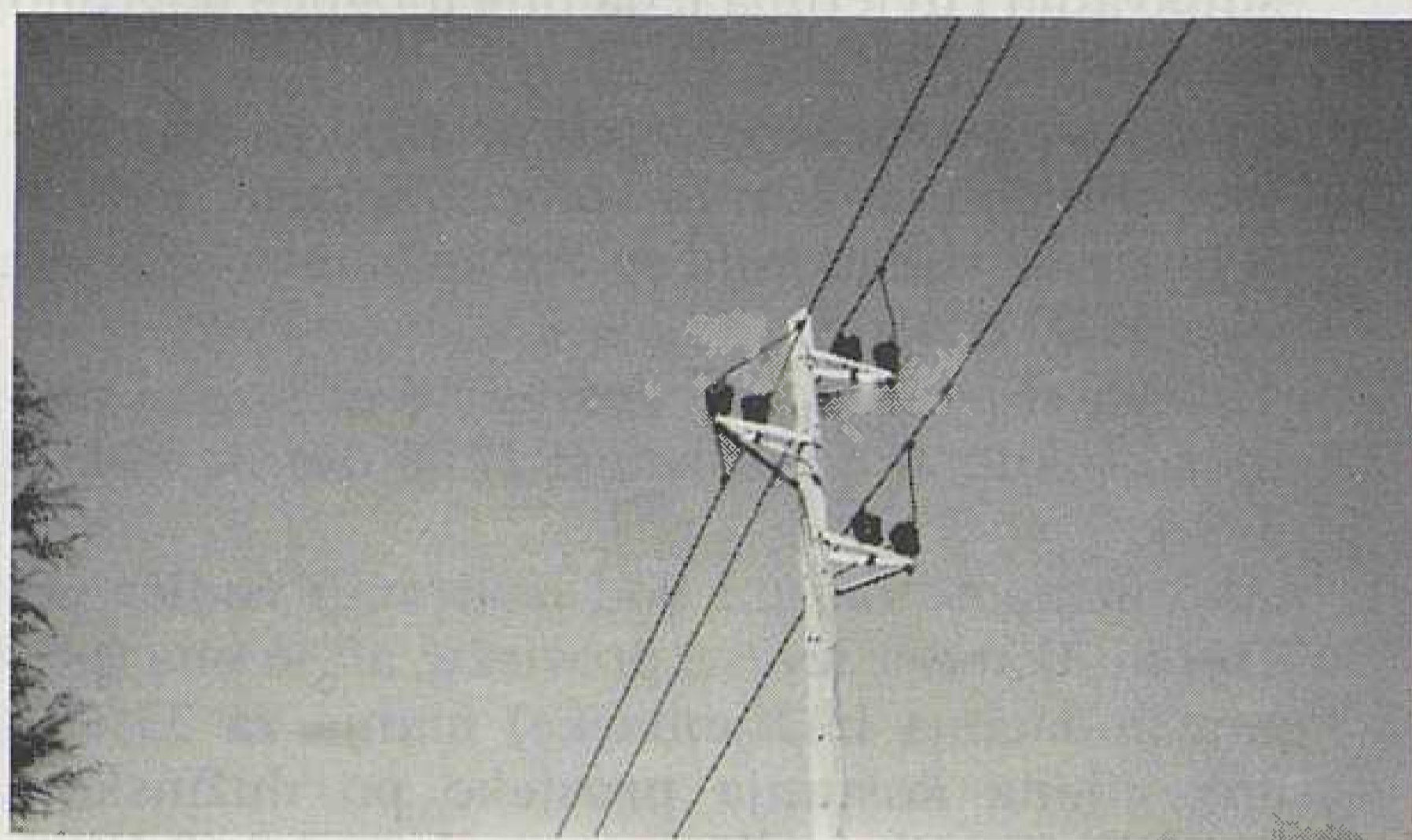
Slika 3.

Na trafostanici (tip seoski tornjić) izvedeno je zavješanje sa zateznim stezaljkama, nakon čega se kroz provodne izolatore ušlo s vodičem direktno na rastavljač. Na isti se most prihvatilo i katodni odvodnik tipa 1B10N. (slika 4).



Slika 4.

Prihvaćanje izoliranih vodiča na linijskom stupu sa dvostrukim zavješanjem, odnosno na stupnoj trafostanici prikazano je na 5. i 6. slici.



Slika 5.



Slika 6.

## 5. ANALIZA TROŠKOVA UGRADNJE IZOLIRANIH VODIČA

- Cijena golog vodiča** AlČe 35/6 mm<sup>2</sup> – 493,47 dinara/kg  
1 km – 140 kg, 1 m 0,14 kg = 69,08 dinara/m  
1 US \$ – 68 446 dinara (23.11.89) ili 1,02 US \$/m
- Izolirani vodič** AlČe 35/6 mm<sup>2</sup> – po fakturi od 12. 10. 89.  
57,44 dinara/m  
1 US \$ – 41 035 dinara (13. 10. 89) ili 1,39 1,4 US \$/m
- Odnos cijene govori da je izolirani vodič istog presjeka skuplji za 0,37 US \$ od golog vodiča, odnosno 35%.

### 4. Naša kalkulacija govori o sljedećem:

- Cijena izoliranog vodiča u odnosu na goli veća je za 35%.
- Uz prihvaćeni udio vodiča u cijeni dalekovoda od 30% dalekovod s izoliranim vodičem skuplji je za 10,5%.
- Povećanje pogonske sigurnosti u uvjetima zasoljavanja i uvjetima leda nije moguće novčano utvrditi.
- Troškove prosjeke u uvjetima gdje je opravdana primjena izoliranih vodiča moguće je uzeti u obzir uz cijenu koja se danas uzima, a iznosi oko 45,00 din/m<sup>2</sup>.

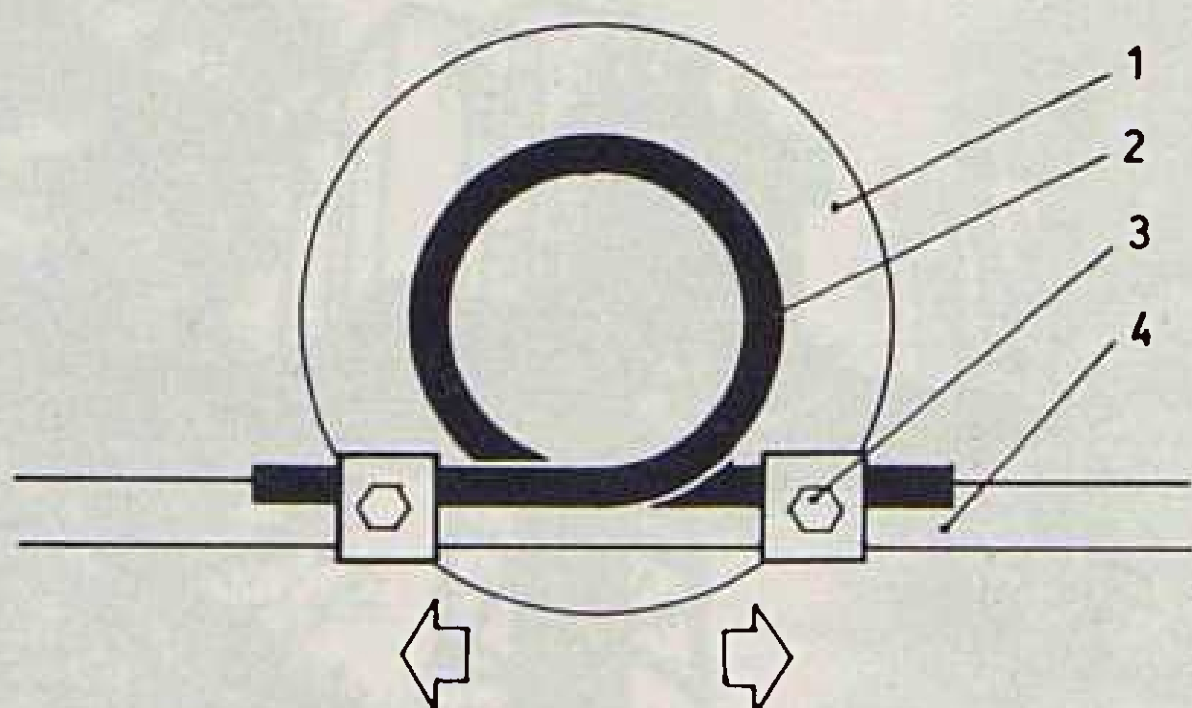
Iz toga slijedi da 1 m dužine i 6 m široka prosjeka (ukupno 6 m<sup>2</sup>) iznosi 27,00 din ili 3,94 4 US \$.

Ako uzmemo da je i kod izoliranih vodiča potrebno također izvesti prosjeku, ali je ona (prema podacima iz Njemačke) manja za 33% (2 m), cijena koštanja prosjeke po dužinskom (kod izoliranih vodiča) metru iznosi 2,68 US \$, drugim riječima, ušteta iznosi 1,32 US \$ po metru dalekovoda.

Napomena: Ostaje nepoznanica cijena pribora (specijalnog izolatora i spojnog materijala) koji povećavaju cijenu ugradnje I. V.

## 6. GRAFIČKI PRIKAZ SLIKA

### Prikaz veza s petljom (Vez YU)



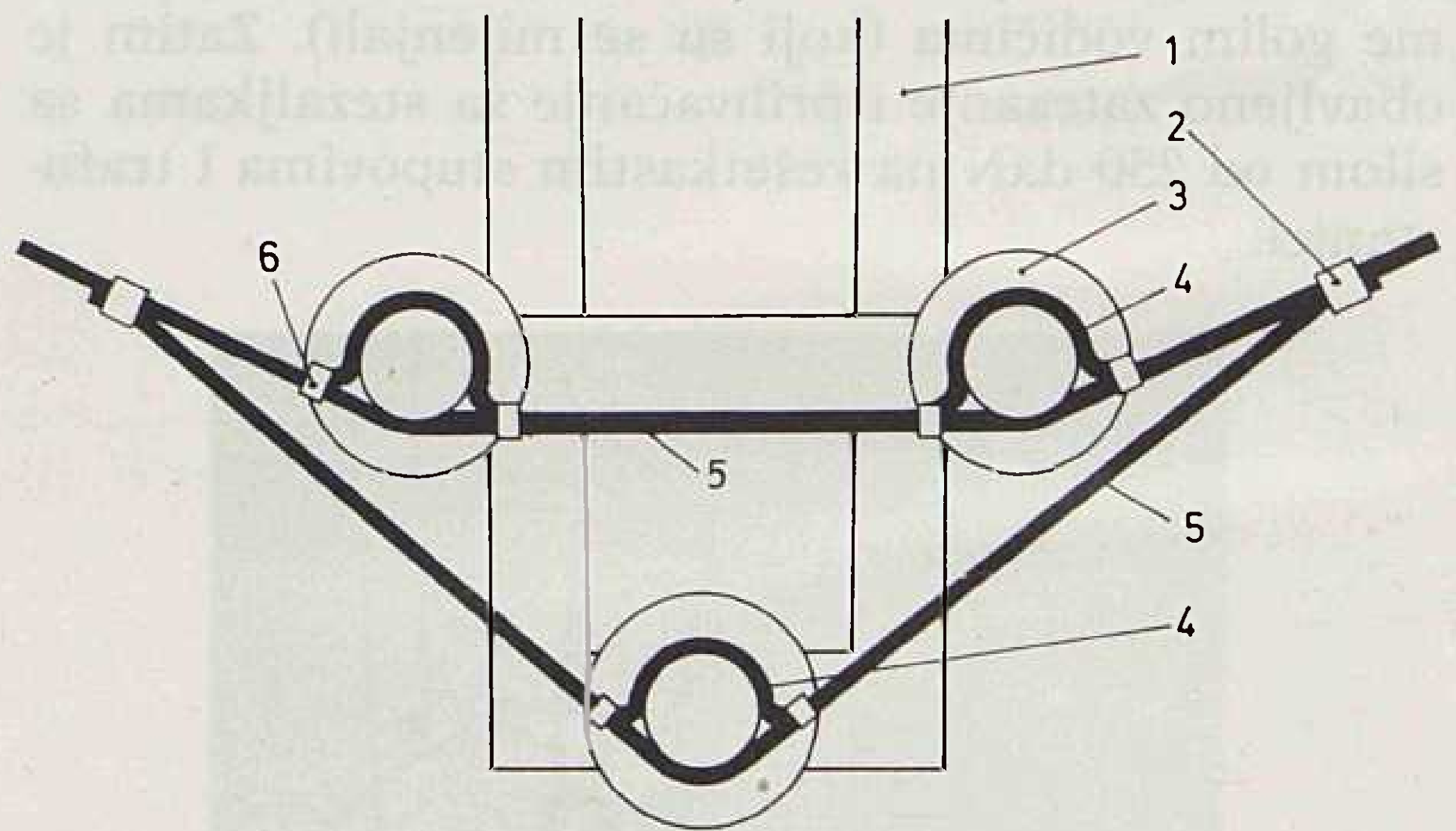
- izolator
- izolirani vodič 16 mm<sup>2</sup>

- stezaljka 43 20 03 (»Mehanika« — Trbovlje (16-70) — (6-25)
- izolirani vodič 35 mm<sup>2</sup>

Napomena: Strelice pokazuju smjer zatezanja kako bi se onemogućilo ispadanje petlje.

Ovaj je vez prihvatljiv zbog činjenice što se odmicanjem osnovnog vodiča od izolatora štiti XLP sloj od oštećenja, a opterećenje se prenosi sa stezaljke na izolator. Namatanje oko izolatora počinje s lijeve strane u smjeru suprotnom kazaljke na satu.

### Izvedba kutnog zavješanja

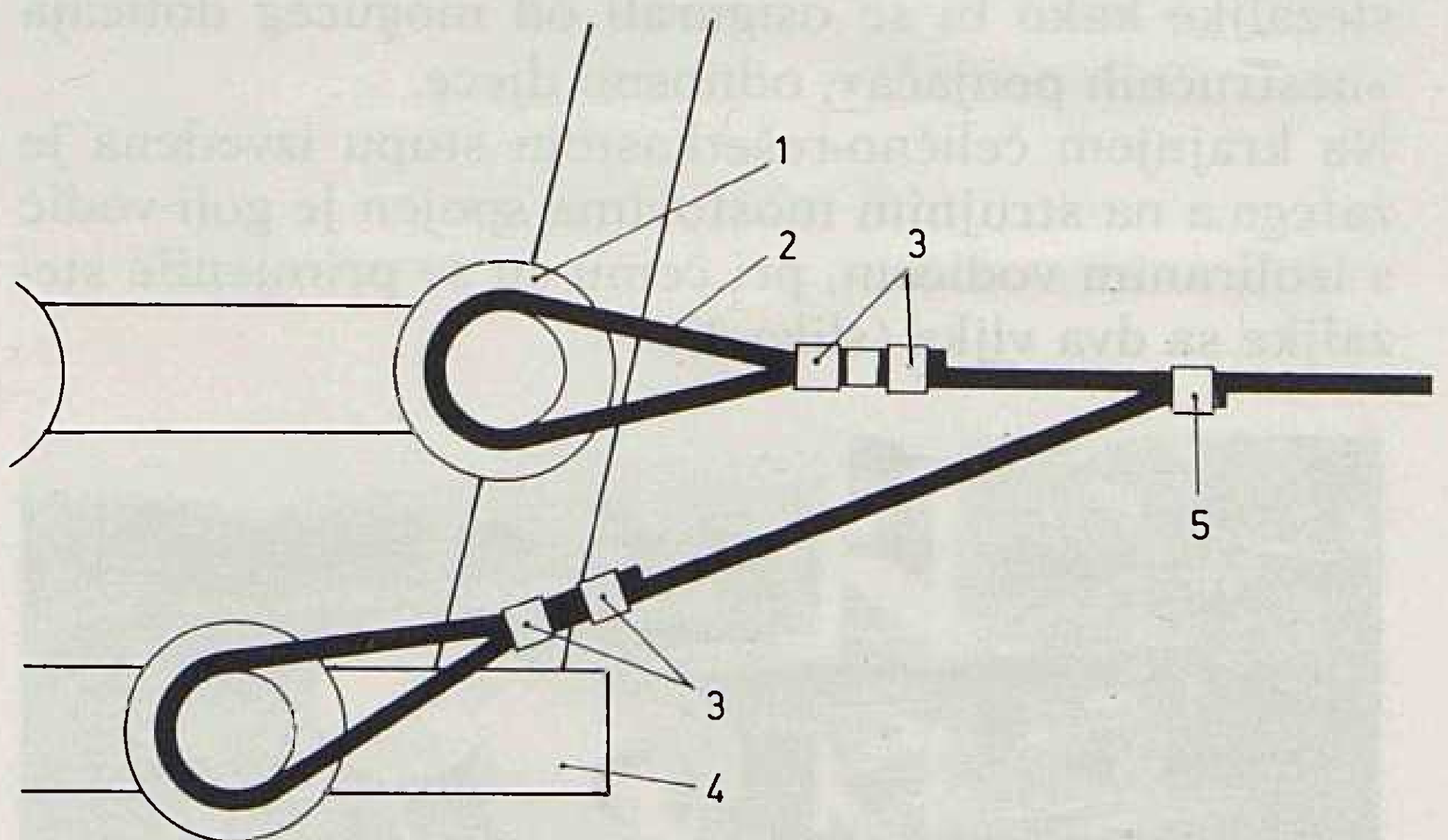


- kutna konzola
- stezaljka 43 20 04 (35-95) — (6-70) »Mehanika« Trbovlje
- izolator
- izolirani vodič 16 mm<sup>2</sup>
- izolirani vodič 35 mm<sup>2</sup>
- stezaljka 43 20 03 (16-70) (6-25) »Mehanika« Trbovlje

Napomena: Vezovi na izolatorima izvode se užetom SKS i »ohm« vezom.

Stezaljka s pozicije 2 ugrađuje se s čeljustima.

### Izvedba završnog veza i jednostranog dvostrukog zavješanja

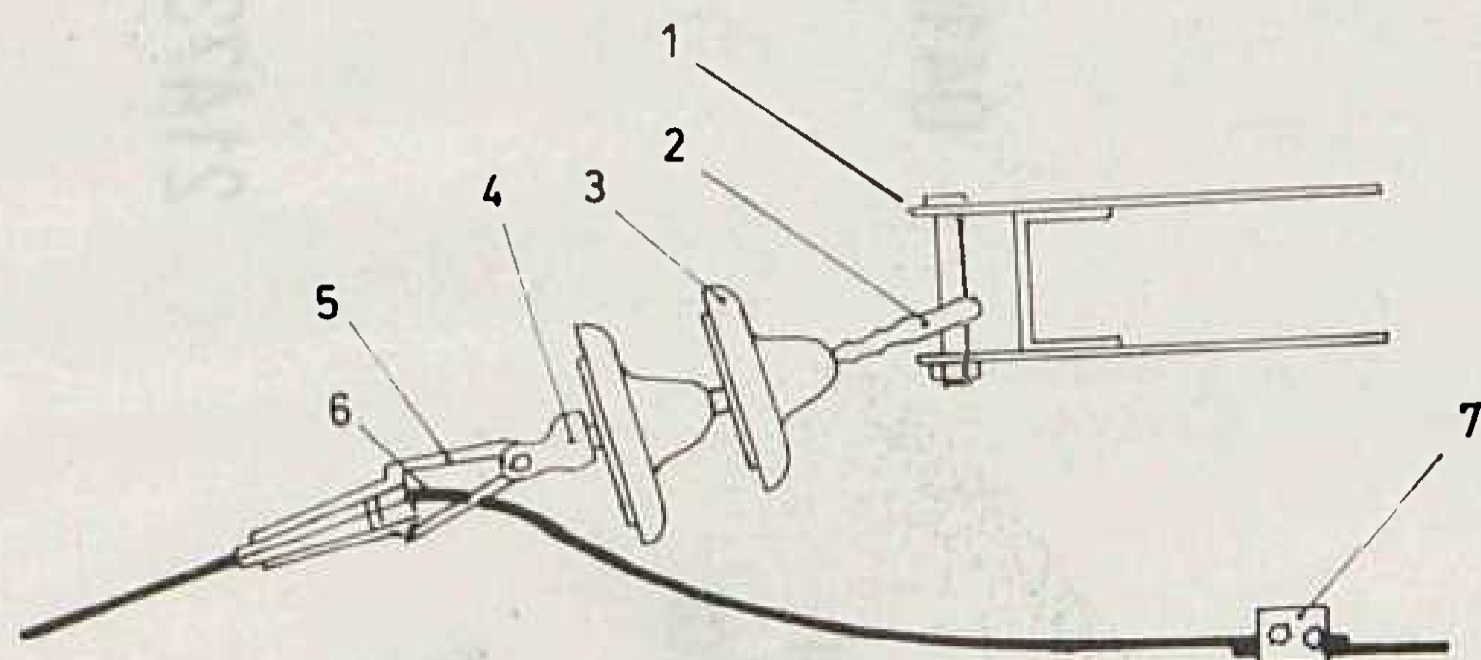


- izolator
- izolirani vodič 35 mm<sup>2</sup>
- stezaljka 43 20 03 (16-70) (6-25) »Mehanika« Trbovlje
- rasteretna konzola
- stezaljka 43 20 04 (35-95) (6-70) »Mehanika« Trbovlje

Napomena: Stezaljke na poziciji 3 ugrađuju se s ugrađenim čeljustima.

Stezaljke na poziciji 5 ugrađuju se s ugrađenim čeljustima.

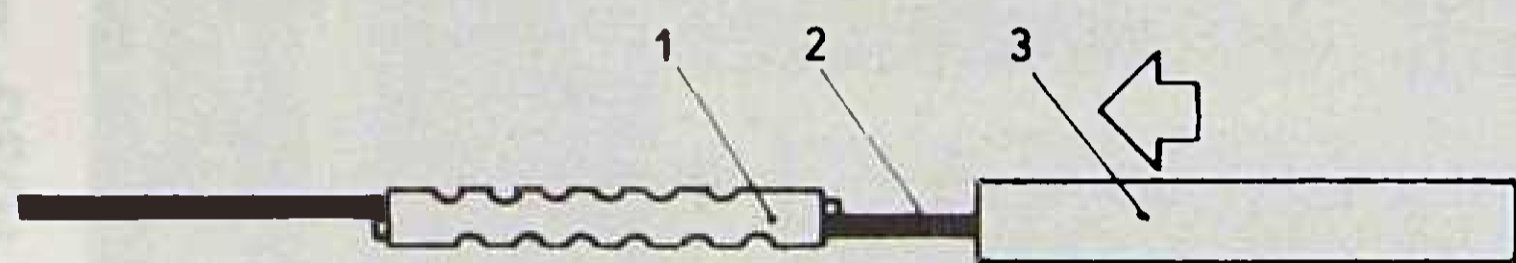
### Izvedba zatege s visećim izolatorima



1. konzola (rasteretna)
2. ušica s batićem i pločicom 21 37 10 («Dalekovod»)
3. izolator U 120
4. zdjelica s vilicom 24 60 10 («Dalekovod»)
5. zatezna stezaljka (za SKS)
6. izolirani vodič 35 mm<sup>2</sup>
7. stezaljka 43 20 04 («Mehanika» Trbovlje)

Napomena: Ovo se rješenje koristi za izolirane vodiče presjeka 35 mm<sup>2</sup>.  
Stezaljka na poziciji 7 ugrađuje se s čeljustima.

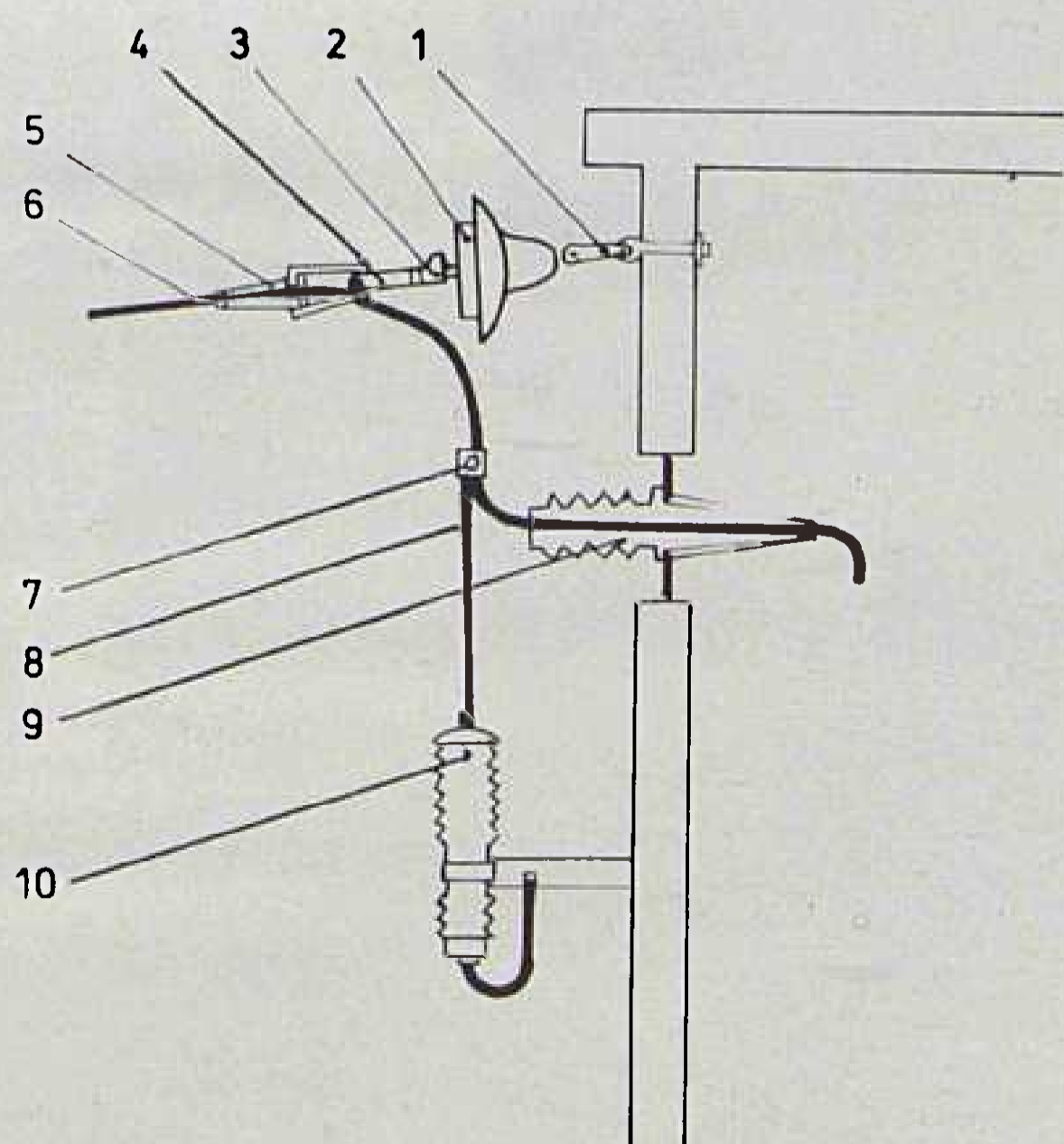
### Izvedba nastavne spojnice



1. toploskupljajuća cijev
2. izolirani vodič
3. zarezna spojnica

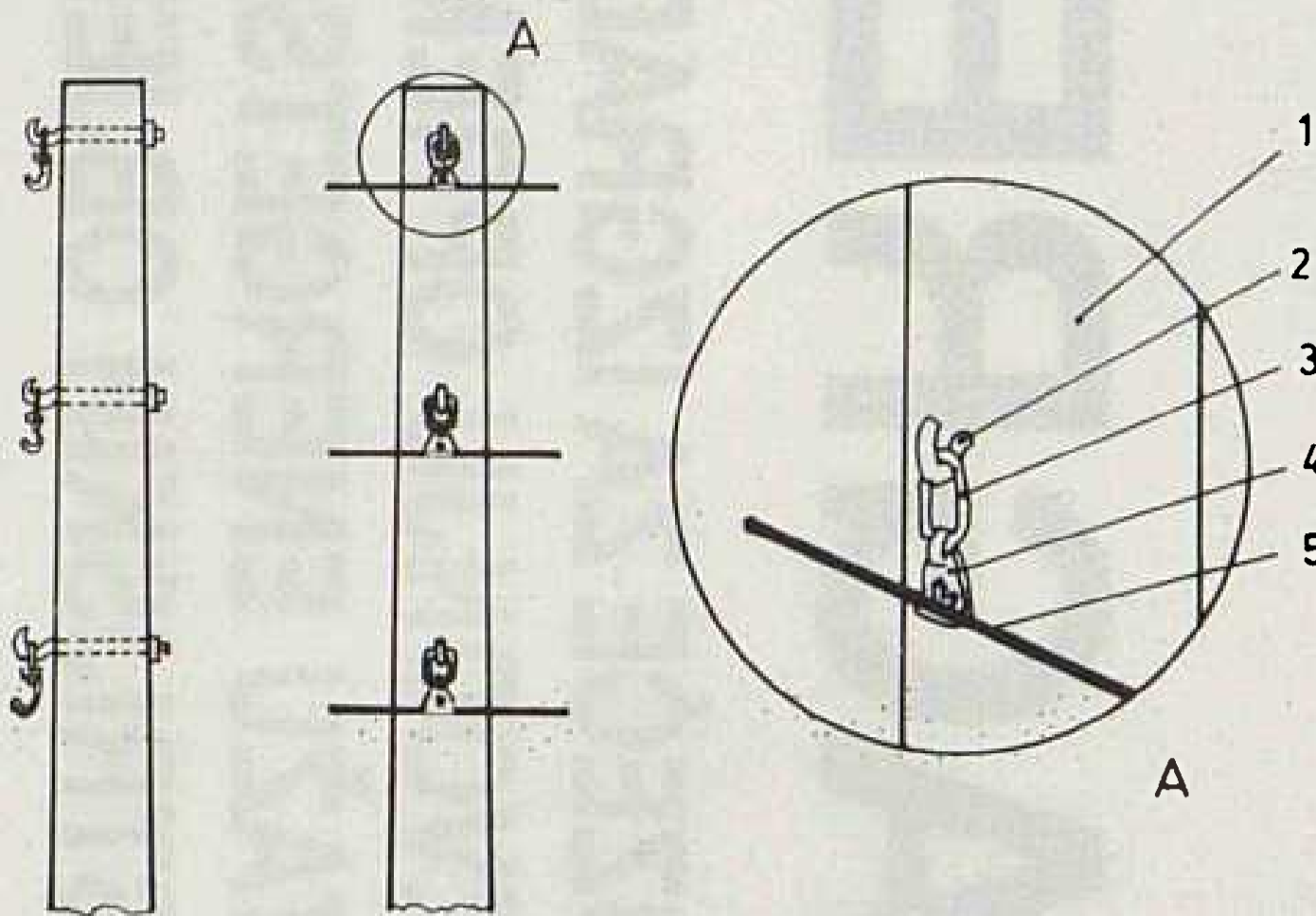
Napomena: Zarezna spojnica navlači se na užu kojemu je skinuta izolacija. Nakon izvršenog postupka spajanja užeta na spojnici se navlači toplo-skupljajuća cijev i provodi njezino zagrijavanje. Nakon toga navlači se još jedna cijev i obavlja zagrijavanje.  
Spojnice se na užadi vode pomaknuto međusobno po okomici.

### 20 kV priključak na transformatorsku stanicu tip tornjić



1. produžnik
2. izolator kapasti KT 120 M
3. zdjelica s vilicom
4. produžnik
5. zatezna stezaljka
6. izolirani vodič 35 mm<sup>2</sup>
7. stezaljka 43 20 04 («Mehanika»)
8. izolirani vodič 16 mm<sup>2</sup>
9. provodni izolator
10. katodni odvodnik

### Ugradnja izoliranog vodiča na poliesterskom stupu



1. poliesterski stup (prešani poliester)
2. kuka (Ø 16)
3. karika
4. nosna stezaljka
5. izolirano uže 35 mm<sup>2</sup>

Napomena: Ovakav način zavješavanja moguć je u uvjetima gdje se ne očekuju veća dodatna opterećenja kao što su led i vjetar, odnosno za zone s dodatnim teretom ispod 1,6 g pritiskom vjetra ispod 110 daN/m<sup>2</sup>.

### 7. ZAKLJUČAK

Namjena izgradnje ovog prvog voda s izoliranim vodičima u zemlji, vezana je uz već navedeno, i za praćenje njegova ponašanja u toku eksploatacije. Neke uočene izolacijske sposobnosti ovih vodiča pružaju nam određenu sigurnost u pogledu njegova korištenja. Međutim, drugo je pitanje kakvo će biti njegovo ponašanje u duljim razdobljima njegova korištenja. Iskustva drugih zapadnih distribucija govore da bi i kod nas njegova primjena mogla imati odgovarajuće mjesto pored svih postojećih sličnih tehnologija. No ipak je potrebno naglasiti da će se tek u idućem razdoblju pokazati koliko prateća industrija ima sluha i odgovornosti za ovu tehnologiju, te je prihvatljivijom cijenom učiniti dovoljno dostupnom svim distributerima u zemlji.

#### ISOLATED CONDUCTORS ON THE MIDDLE VOLTAGE 20(10) kV LINES

In the article is described a 20(10) kV overhead line with isolated conductors on the one section in the neighbourhood of a school due to grass. Described problematic can be of interest for specialists.

#### ISOLIERTE LEITER AUF MITTELSPANNUNGSLEITUNGEN DER SPANNUNG VON 10 UND 20 kV

Es wurde eine Fernleitung 20 (10) kV auf einer Strecke mit isolierten Leitern wegen des Grases in der Nähe einer Schule beschrieben. Die Beschreibung ist sehr genau und kann für Flachleute die an dieser Problematik interessiert sind nützlich sein.

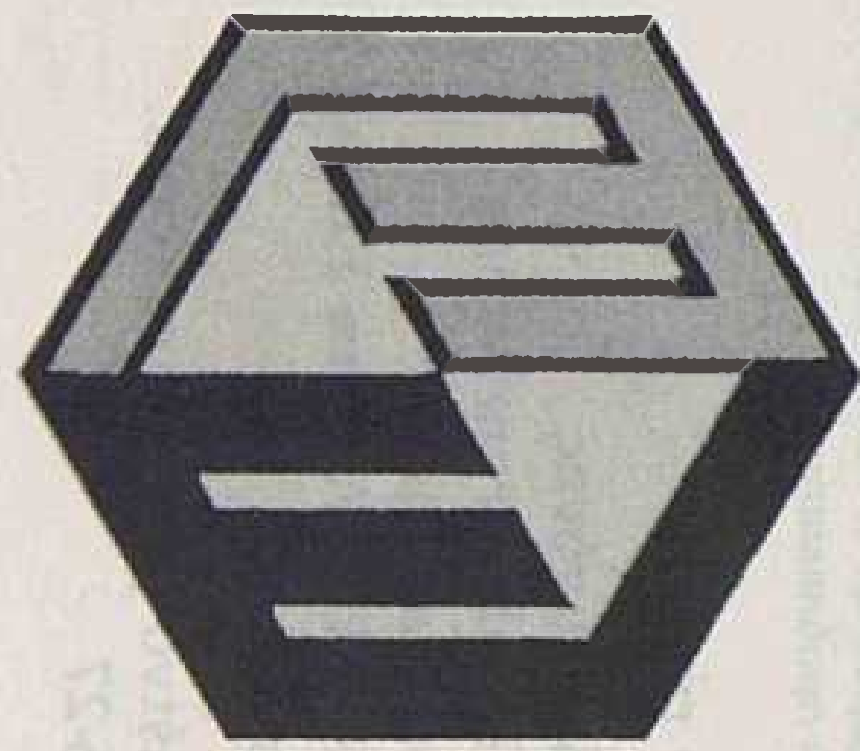
#### ИЗОЛИРОВАННЫЕ ПРОВОДА ЛИНИЙ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЙ 10 и 20 кВ

Описана ЛЭП 20 (10) кВ, выполненная на одном участке с изолированными проводами из-за травы волизи школы. Описание подробное и может хорошо пригодиться специалистам, заинтересованным в этой проблематике.

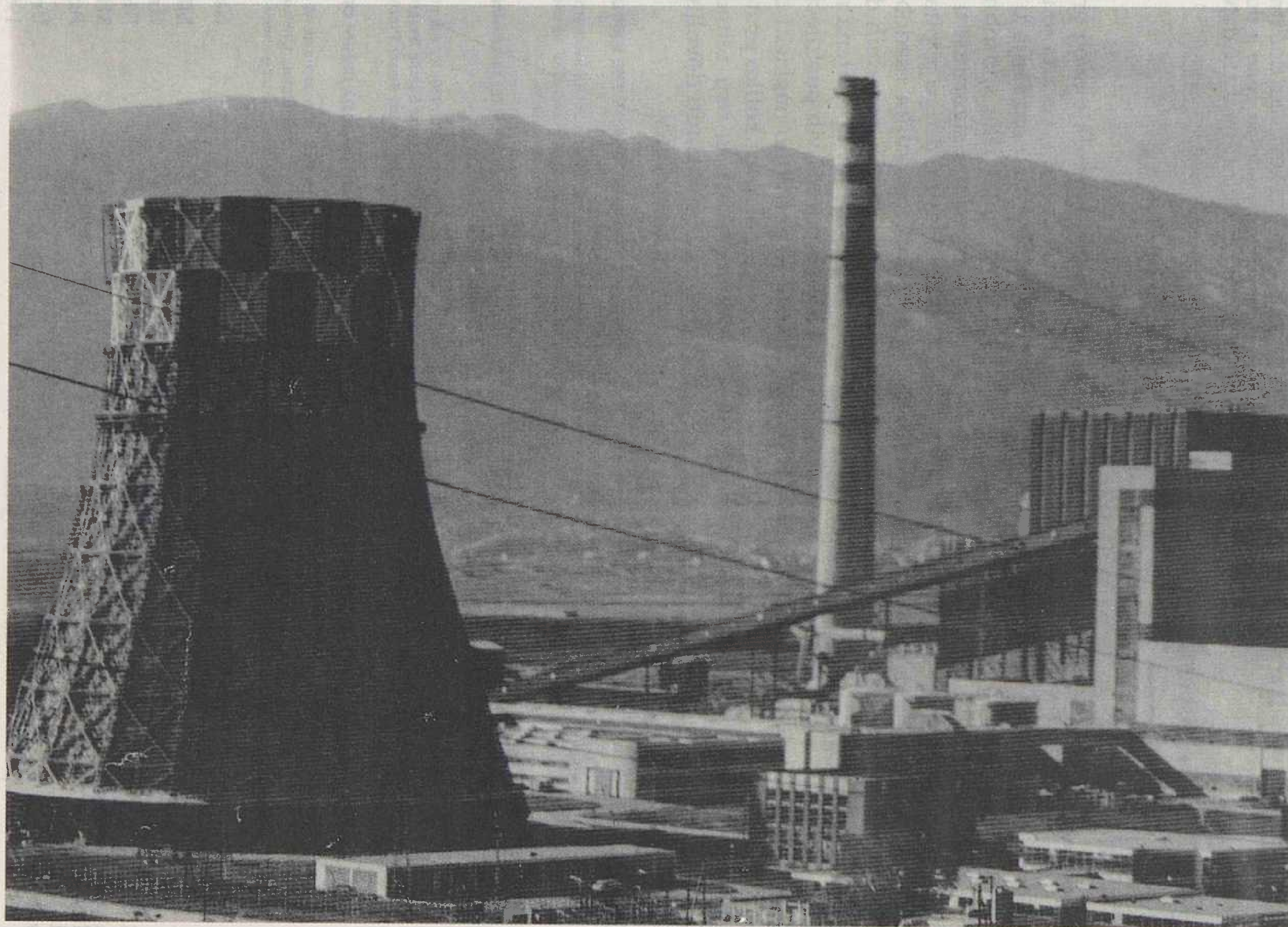
Naslov pisca:

**Miljenko Jugovac**  
Hrvatska elektroprivreda  
Distribucija Rijeka  
51000 Rijeka, V. Cara Emina 2,  
Jugoslavija

Uredništvo primilo rukopis:  
1990-06-27



# MONTING ENERGETIKA ZAGREB



**PODUZEĆE ZA IZGRADNJU,  
PROIZVODNJU OPREME I  
MONTAŽU ENERGETSKIH I  
INDUSTRIJSKIH OBJEKATA**

**41000 ZAGREB  
Kesterčankova 1**

Telefoni:

Centrala	041/217-700
Generalni direktor	235-644
Komercijalni sektor	235-270
Tehnički sektor	233-880
Financijski sektor	234-007
Kadrovski sektor	233-878
Telex	21473 yu mont
Telefax	235-560

TE »GACKO« – Gacko: Kompletna montaža bloka 1 instalirane snage  $1 \times 300$  mW, 1982. godine.  
Rekonstrukcija kotla kapaciteta 990 t/h pare i kapitalni remont turbogenerators 300 MW, 1989. godine.



# PLANIRANJE RAZVOJA SREDNJONAPONSKE RAZDJELNE MREŽE GRADA ZAGREBA POMOĆU RAČUNALA

Neven Lang-Kosić — Irena Radeka, Zagreb

UDK 621.316.1

STRUČNI RAD

U radu se opisuju svojstva programskog paketa CADDIN koji se koristi za optimalno planiranje srednjonaponske distributivne mreže na računalo PC. Prikazane su neke mogućnosti programskog paketa — njegova primjena za strukturiranje SN mreže jedne ili više pojmih točaka te uklapanje nove pojne točke u postojeću SN-mrežu. Posebna pažnja posvećena je usporedbi tehno-ekonomskih karakteristika mreža 10 kV i 20 kV, odabiranju jeftinijeg rješenja te poboljšanju rješenja interaktivnim radom planer-računalo na osnovi čega se dolazi do konačno prihvatljivog najboljeg rješenja.

**Ključne riječi:** distributivna mreža, razdjelna mreža, optimalno planiranje, prstenasti tip mreže, povezni tip mreže.

## 1. UVOD

Zagreb kao gotovo milijunski grad ima fizički vrlo veliku i tehnički relativno složenu srednjonaponsku elektrodistributivnu mrežu. Osiguranje opskrbe potrošača kvalitetnom električnom energijom zahtijeva da se posebna pozornost posveti planiranju razvoja te mreže. Postupak planiranja, kojem je svojstveno postojanje mnogobrojnih tehnički jednakovrijednih rješenja dugotrajan je i vrlo složen posao ako mu se pristupa na konvencionalan način. Zbog toga je pokrenuta inicijativa za suradnju između Elektre Zagreb, OOUR DEEZ i Elektrotehničkog fakulteta u Zagrebu, ZVNE koja je rezultirala izradom programskog paketa CADDIN za optimalno planiranje srednjonaponskih mreža pomoću računala. Radi se o interaktivnom kompjutorskom programskom paketu (razvijenom za VAX i PC-AT računala) gdje planski postupak vođen računalom obrađuje vrlo velik broj varijantnih rješenja i neka od njih nudi planeru na kvalitativnu procjenu. Planer tada u interaktivnom radu s računalom vrednuje pojedina rješenja na temelju uvjeta i ograničenja koji se ne mogu kvantificirati i ugraditi u program te, mijenjajući ulazne parametre i pretpostavke, ponavlja postupak u dijelu ili u cjelini. Rezultat bi trebalo biti optimalno rješenje mreže u danom planskom razdoblju.

Planiranje distributivnih mreža sastoji se od dva odvojena optimizacijska postupka: određivanja opskrbnog područja i strukturiranja mreže.

Podjela opskrbnog područja temelji se na poznatom opterećenju pojedinih točaka mreže i trošku potrebnom da se čvor poveže s izvorom, a za kriterij optimalnosti uzima se minimizacija sume umnoška opterećenja i troška.

Drugi korak u planiranju strukturiranje mreže unutar tako određenog proračuna — temelji se na rješavanju višeputnog »problema trgovačkog putnika«, tj.

na pronalaženju najkraćeg puta odnosno minimalnog troška povezivanja svih poznatih potrošača.

Programskim paketom CADDIN može se optimirati više tipova razdjelnih mreža, i to:

- mreže tipa »prsten«
- »povezni« tip mreže
- mreže s protustanicom.

Posebna je kvaliteta ovog programskog paketa u tome što se pri planiranju uzima u obzir postojeća mreža.

Zbog usporedbe pojedinih varijantnih rješenja razvijen je postupak ekonomskog vrednovanja svih troškova koji se temelje na metodi sadašnje vrijednosti. Postupak planiranja započinje zadavanjem podataka, ali ga je moguće započeti i na osnovi podataka prethodnih analiza.

Zadavanje podataka moguće je na dva načina: ili u alfanumeričkom obliku ili u grafičkom obliku korištenjem alata grafičkih paketa (CAD sistema).

Za planiranje mreže u elektrodistributivnim organizacijama znatno je pogodniji drugi način jer je grafički prikaz rezultata kao i ulaznih podataka vrlo praktičan. Ako je cjelokupna mreža, na opisani način jednom zadana, tada se podaci potrebni za obradu jednog područja dobivaju njegovim izdvajanjem.

Postupak planiranja mreže moguće je provesti ili automatski ili interaktivnim radom samog planera s računalom. Prednost interaktivnog optimiranja je u mogućnosti intervencije planera koji može npr. iz područja opskrbljivanja izbaciti ili u područje ubaciti neke točke opterećenja. Razlog za takve intervencije može biti uvažavanje postojećeg stanja (neka se TS 10(20)/0.4 kV napaja postojećim vodom iz područja koje po podjeli ne pripada željenom izvoru) ili zahtjev da se to područje proširi zbog postupnog odumiranja nekog od susjednih izvora (npr. TS 30/10 kV) itd.

Programski paket pruža mogućnost odabiranja veličine parametara optimiranja od strane planera. Minimalni presjek i starosna granica vodova, cijene gubitaka energije i snage, vrijeme uporabe maksimalnog opterećenja, razdoblje za koje se mreža planira te diskontna stopa parametri su koji su potrebni za ekonomsko vrednovanje pojedinih rješenja.

Do optimalnog rješenja moguće je doći pretraživanjem područja, odnosno strukturiranjem mreže u smjeru kazaljke na satu ili suprotnom od kazaljke na satu (za mrežu »prsten«), odnosno strukturiranjem mreže ulijevo ili udesno (za »poveznu« mrežu). Tako dobivena rješenja ne moraju biti istovjetna, a planer se odlučuje za povoljniju varijantu uvažavajući i druge kriterije koji su često i vanenergetski.

Budući da je gradsko područje podijeljeno na kvadratne sektore  $100 \times 100$  m, a TS 10(20)/0.4 kV su smještene u centar takvih zona, dužine vodova između TS 10(20)/0.4 kV računaju se i prikazuju kroz središte svakog sektora.

Moguće je odrediti i tzv. »zabranjene zone« te točke određene težinom prolaza (veće ili manje od prosječne).

Na taj način mreža postaje bliska realnoj. Mogućnost primjene programskog paketa nije samo pri izradi rješenja raspeta SN-mreže novih pojmih točaka 110/10(20) kV nego i pri rješavanju problema vezanih za manje intervencije u mreži (npr. uklapanje jedne ili više TS 10(20)/0.4 kV u postojeću ili već strukturiranu SN mrežu).

Programski paket CADDIN poboljšavan je u smislu uobičajenih potreba u toku njegove praktične primjene, a također su i poboljšani glavni algoritmi te se proces računanja ubrzao i tako da se danas dijelovi procesa izvode brže i do deset puta u odnosu na prvu verziju programskog paketa.

Od kraja 1988. godine, kada je programski paket CADDIN dovršen, pomoću njega su u Elektri Zagreb — OOUR Distribucija električne energije Zagreb izrađena dva idejna rješenja srednjonaponske mreže — zapadno područje grada Zagreba (koje obuhvaća 2 pojne točke 110/10(20) kV, cca 110 postojećih TS 10(20)/0.4 kV i oko 40 planiranih TS 20/04. kV) i područje Trnja (4 pojne točke 110/10(20)/0.4 kV, 4 pojne točke 30/10 kV, cca 280 postojećih TS 10(20)/0.4 kV i blizu 130 planiranih novih TS 20/0.4 kV). To čini gotovo četvrtinu postojeće SN-mreže grada Zagreba.

Namjera je autora ovog rada da prikažu neke karakteristične primjene optimiranja glavnih tipova SN mreže, uz već određeno područje opskrbe pojmih točaka VN/SN.

## 2. PARAMETRI OPTIMIRANJA

Već je u uvodu navedeno da planer može odabirati parametre po želji i tako dobiti niz rješenja od kojih odabire najjeftinije. Parametri optimiranja nabrojani su za primjer optimiranja 10 kV i 20 kV srednjonaponske mreže na zapadnom području grada Zagreba prikazane u daljnjem tekstu.

Za 10 kV mrežu parametri su sljedeći:

Maksimalno opterećenje staze (kW):	5000
Pogonski napon mreže (kV):	10
Maksimalni broj TS $\times$ /0.4 kV po stazi:	20
Faktor iskorištenja TS $\times$ /0.4 kV (%):	70.0
Faktor stalnih godišnjih troškova (%):	5.0
Pad napona u redovnom pogonu (%):	5.0
Pad napona u izvanrednom pogonu (%):	8.0
Minim. dozv. presjek Cu-kabela (mm <sup>2</sup> ):	90
Minim. dozv. presjek Al-kabela (mm <sup>2</sup> ):	150
Maks. presjek novog Al-kabela (mm <sup>2</sup> ):	185
Starosna granica kabela (god.):	1945
Cijena gubitaka snage (d/kW):	20.0
Cijena gubitaka energije (d/kWh):	2
Cijena polaganja novog kabela (d/m):	400.0
Cijena rekonstrukcije TS 10 kV (d/TS):	50000.0
Godišnje trajanje maks. opterećenja (h):	4000
Razdoblje planiranja mreže (god.):	10
Diskontna stopa (%):	10.0
Godišnji porast opterećenja (%):	2.0
Faktor promjene broja staza (%):	30.0
Varijanta optimiranja (A, B, C, D):	B

Za 20 kV mrežu:

Maksimalno opterećenje staze (kW):	10000
Pogonski napon mreže (kV):	20
Maksimalni broj TS $\times$ /0.4 kV po stazi:	30
Faktor iskorištenja TS $\times$ /0.4 kV (%):	70.0
Faktor stalnih godišnjih troškova (%):	5.0
Pad napona u redovnom pogonu (%):	5.0
Pad napona u izvanrednom pogonu (%):	8.0
Minim. dozv. presjek Cu kabela (mm <sup>2</sup> ):	90
Minim. dozv. presjek Al kabela (mm <sup>2</sup> ):	150
Maks. presjek novog Al kabela (mm <sup>2</sup> ):	185
Starosna granica kabela (god.):	1945
Cijena gubitaka snage (d/kW):	20.0
Cijena gubitaka energije (d/kWh):	2
Cijena polaganja novog kabela (d/m):	400.0
Cijena rekonstrukcije TS 10 kV (d/TS):	50000.0
Godišnje trajanje maks. opterećenja (h):	4000
Razdoblje planiranja mreže (god.):	10
Diskontna stopa (%):	10.0
Godišnji porast opterećenja (%):	2.0
Faktor promjene broja staza (%):	30.0
Varijanta optimiranja (A, B, C, D):	B

Zbog stalne inflacije prošlih godina cijene su određene prema njemačkim normama [1] te predstavljaju ustvari dinarske jedinice s protuvrijednošću u markama.

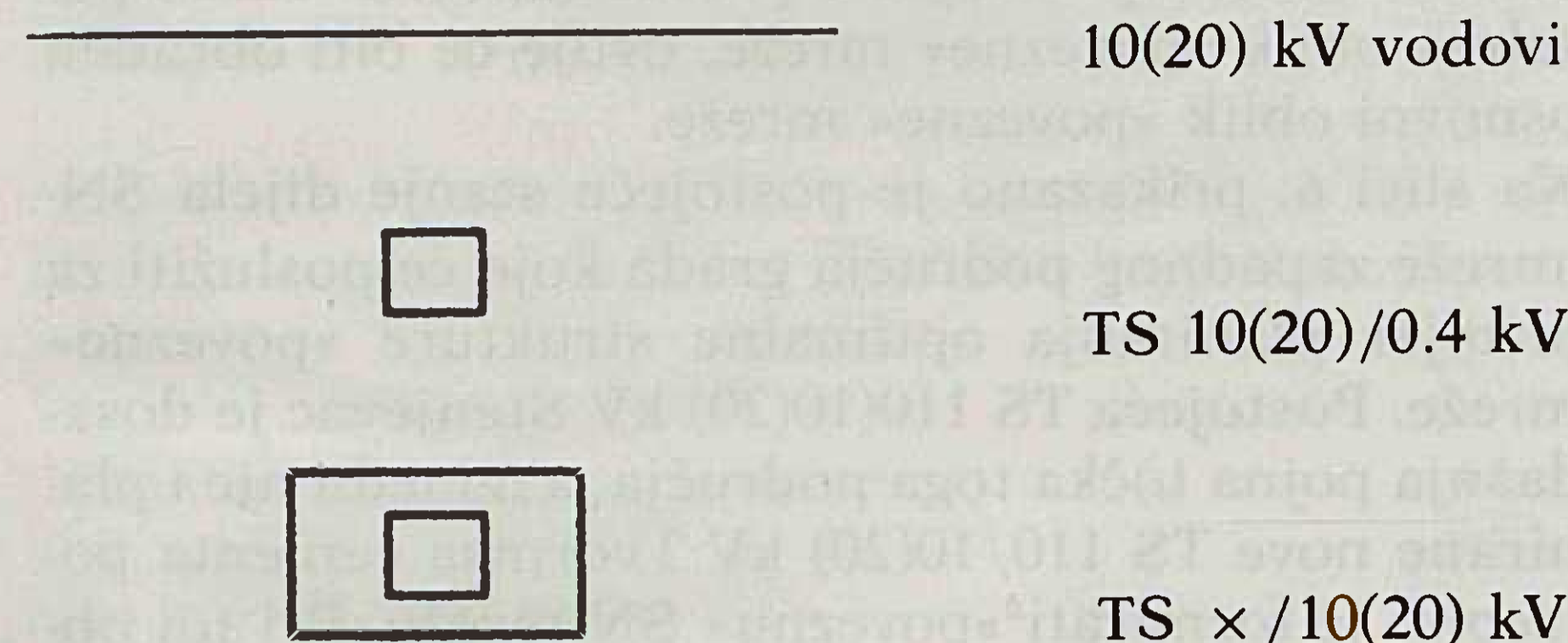
Pomoću programskog paketa CADDIN moguće je provesti optimiranje SN mreže za sljedeća četiri slučaja:

- Uvažavanje postojećeg stanja bez valorizacije presjeka kabela (korištenje postojećih trasa)
- Uvažavanje postojećeg stanja s valorizacijom presjeka kabela i starosnom granicom kabela
- Optimiranje novog područja (nema postojećeg stanja)
- Uvažavanje postojećih trasa 10 kV kabela kod optimiranja 10 kV mreže.

### 3. OPTIMIRANJE SN-MREŽE

Za planiranje SN-mreže i optimiranje na računalu PC pogodan je grafički oblik prikazivanja mreže (pomoću AutoCAD-a) bilo kao ulazni podatak, bilo kao rezultat optimiranja.

SN-mreža prikazana je simbolično s pripadajućom legendom:

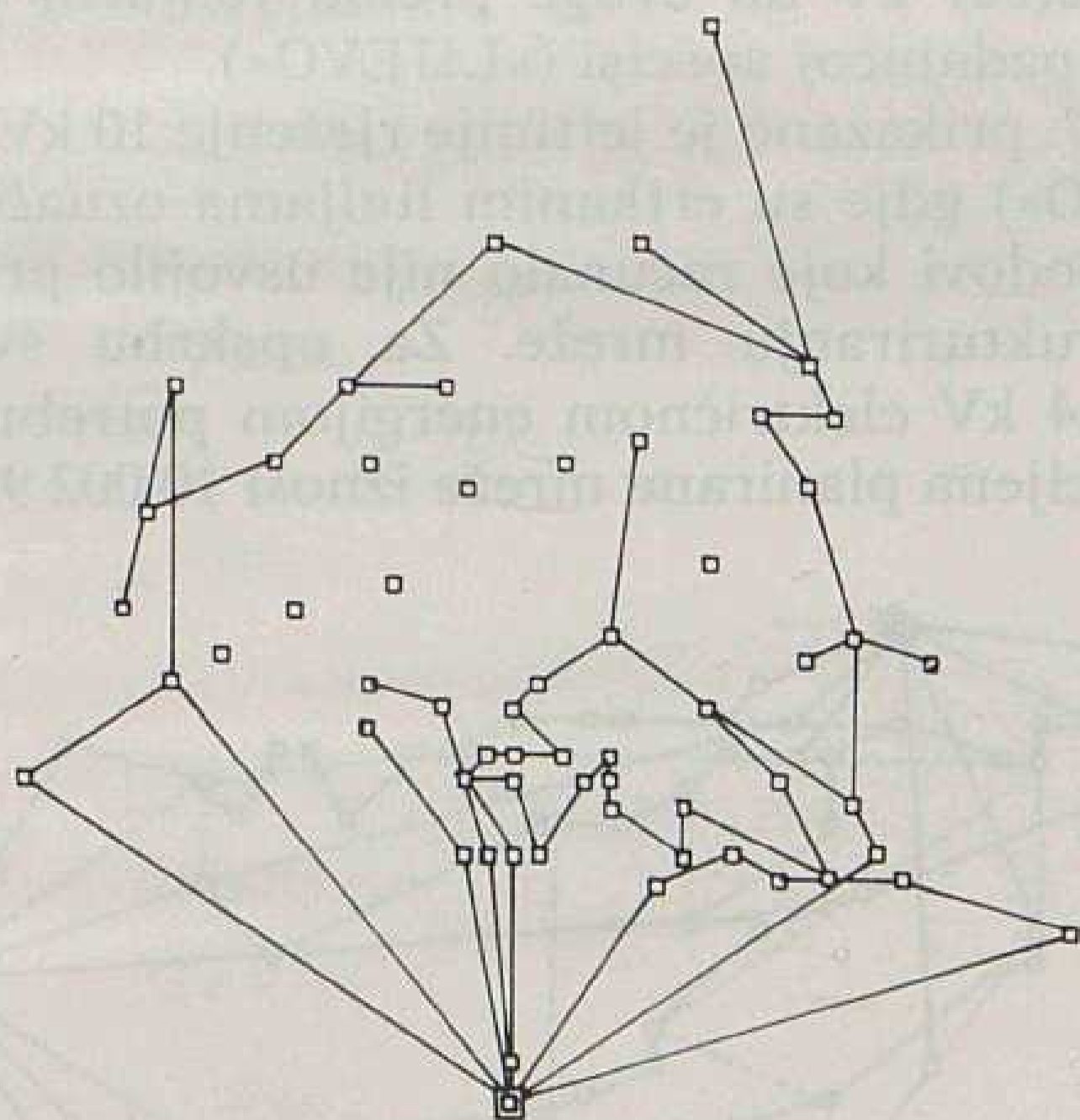


i to tako da svaki element ima onu boju koja označava njegov stupanj izolacije, što se, nažalost, ne može prikazati u ovom radu. Također su svakom elementu pridruženi i karakteristični podaci (Block u AutoCAD-u) — za transformatorske stanice ime i instalirana snaga, a za vodove presjek starost i imena transformatorskih stanica koje povezuju.

### 4. OPTIMIRANJE SN MREŽE TIPRA »PRSTEN«

Mreža tipa »prsten« jedan je od osnovnih oblika mreže grada Zagreba. Zastupljena je na rubnim područjima grada, pa tako i ovaj primjer obrađuje dio zapadnog područja grada gdje nije moguće, odnosno nije ekonomski opravdano graditi »poveznu« SN mrežu.

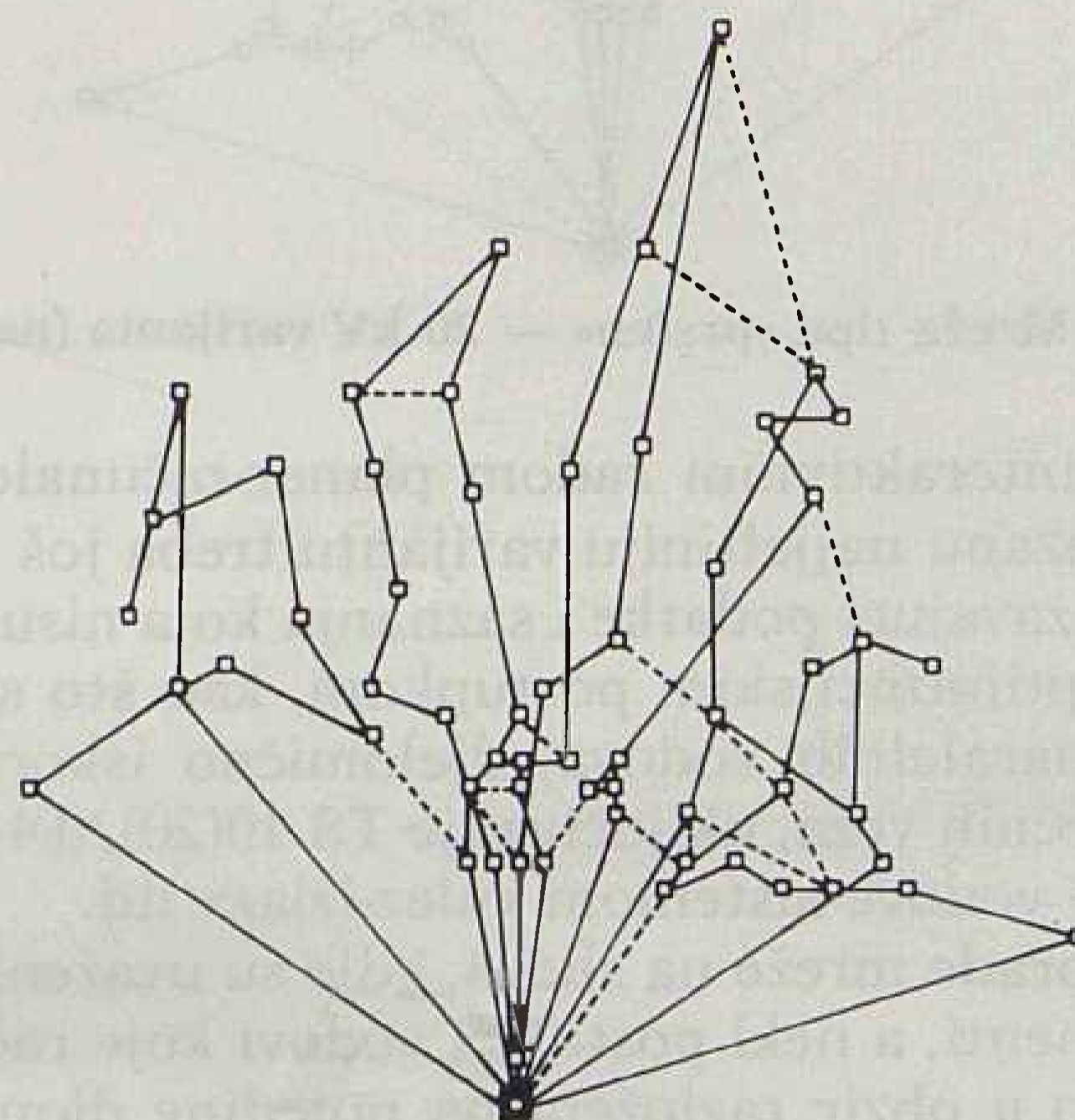
Na slici 1. prikazano je postojeće stanje SN mreže iz pojne točke TS 110/10(20) kV Stenjevac, i to samo podsljemenski dio mreže sa svim planiranim TS 10(20)/0.4 kV za razdoblje od 10 godina.



Slika 1. Mreža tipa »prsten« — postojeće stanje

Kako je već navedeno, programskim paketom je moguće optimirati i 10 kV i 20 kV mrežu, pa je to učinjeno i u ovom primjeru.

Na slici 2. prikazano je 10 kV rješenje SN mreže gdje su crtkanim linijama označeni postojeći vodovi koje računalo nije usvojilo, odnosno uvažilo za ovakvo rješenje. Pri optimiranju SN-mreže tipa »prsten« postupak teče tako da računalo strukturira mrežu u smjeru kazaljke na satu (»NAPRIJED«) ili obrnuto (»NAZAD«). Naime, svim točkama potrošnje (TS 10(20)/0.4 kV) pridodan je kut u odnosu na izvor (TS × /10(20) kV) te se raspored prstena izvodi po rastućem, odnosno padajućem kutu.



Slika 2. Mreža tipa »prsten« — 10 kV varijanta

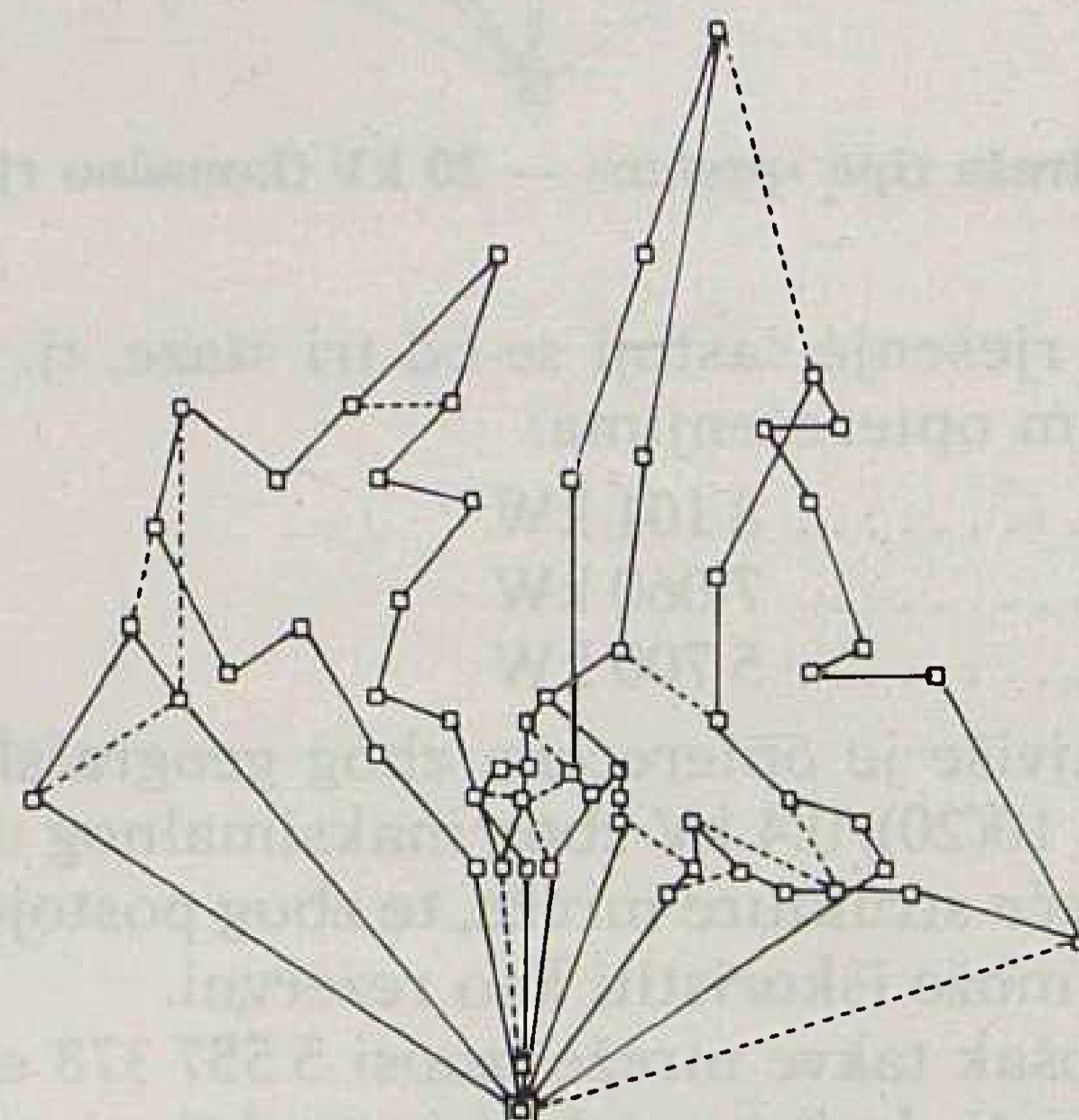
Na osnovi usporedbe troškova za tako dobivena dva »najbolja« rješenja planer bira ono povoljnije. U ovom primjeru to je rješenje dobiveno strukturiranjem NAPRIJED, a cijena prikazanih 5 staza (prstena) iznosi 9 178 977 ekv. dinarskih jedinica.

Za 20 kV rješenje SN mreže, zbog bolje preglednosti — manje staza, prikazana su oba rješenja i NAPRIJED (slika 3) i NAZAD (slika 4) s pripadajućim troškovima:

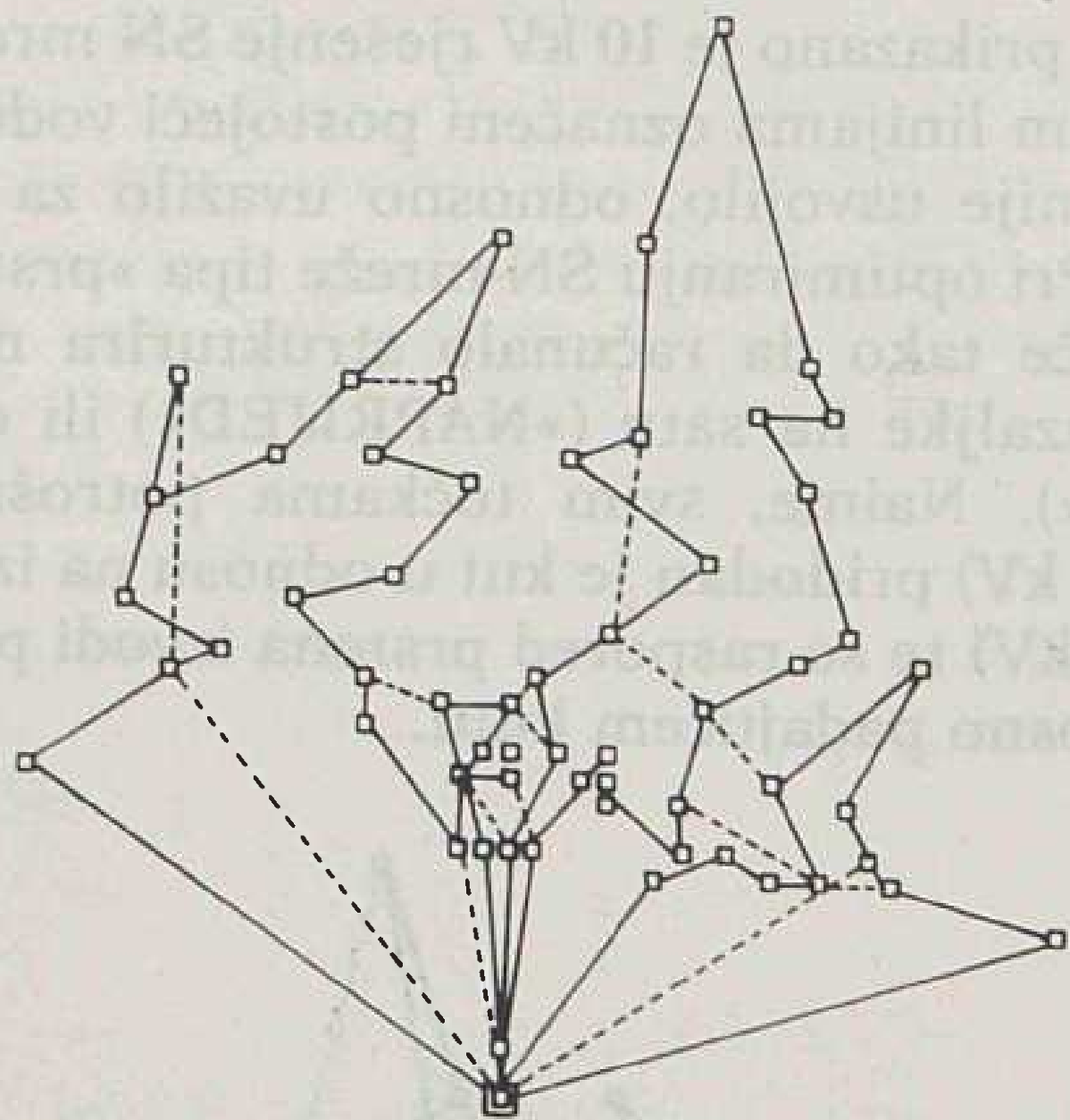
NAPRIJED .....	7 514 743 ekv. din. jed.
NAZAD .....	6 867 429 ekv. din. jed.

U ovoj varijanti uračunata je i cijena rekonstrukcije TS 10/0.4 kV koje je potrebno prirediti za rad na 20 kV naponu.

Odmah je vidljivo da je najjeftinija 20 kV varijanta NAZAD, pa ona čini osnovu za dobivanje konačnog



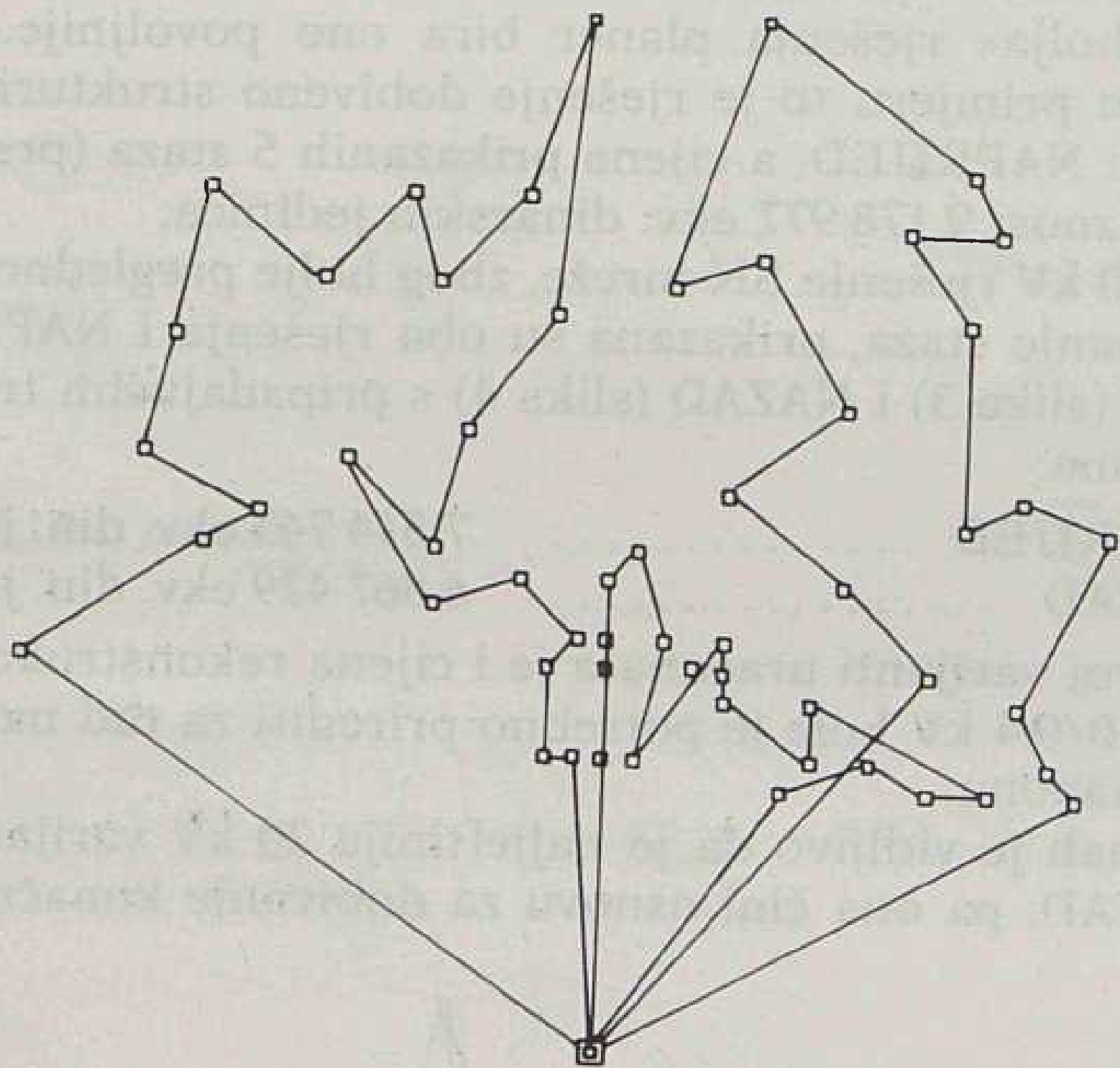
Slika 3. Mreža tipa »prsten« — 20 kV varijanta (naprijed)



Slika 4. Mreža tipa »prsten« — 20 kV varijanta (natrag)

rješenja interaktivnim radom planer-računalo. Naime, prikazanu najjeftiniju varijantu treba još »doraditi«, uvažavajući podatke i saznanja koja nisu obuhvaćena optimizacijskim postupkom, kao što su uvažavanje paralelnih vodova, djelomično iskorištavanje poprečnih veza, uključivanje TS 10(20)/0.4 kV na postojeće vodove sistemom »ulaz-izlaz« itd.

Nakon obrade mreže na slici 4, gdje su uvaženi navedeni elementi, a neki postojeći vodovi koje računalo nije uzelo u obzir razloženi na pojedine dionice, te usvojeni kao dio rješenja, dobiveno je konačno 20 kV rješenje mreže i prikazano na slici 5.



Slika 5. Mreža tipa »prsten« — 20 kV (konačno rješenje)

Prikazano rješenje sastoji se od tri staze, tj. prstena sa sljedećim opterećenjima:

staza I. ....	8 101 kW
staza II. ....	7 060 kW
staza III. ....	5 700 kW

Staza I najviše je opterećena zbog geografskog rasporeda TS 10(20)/0.4 kV zbog maksimalnog uvažavanja postojeće strukture mreže, te zbog postojećeg voda koji se može iskoristiti kao rezervni.

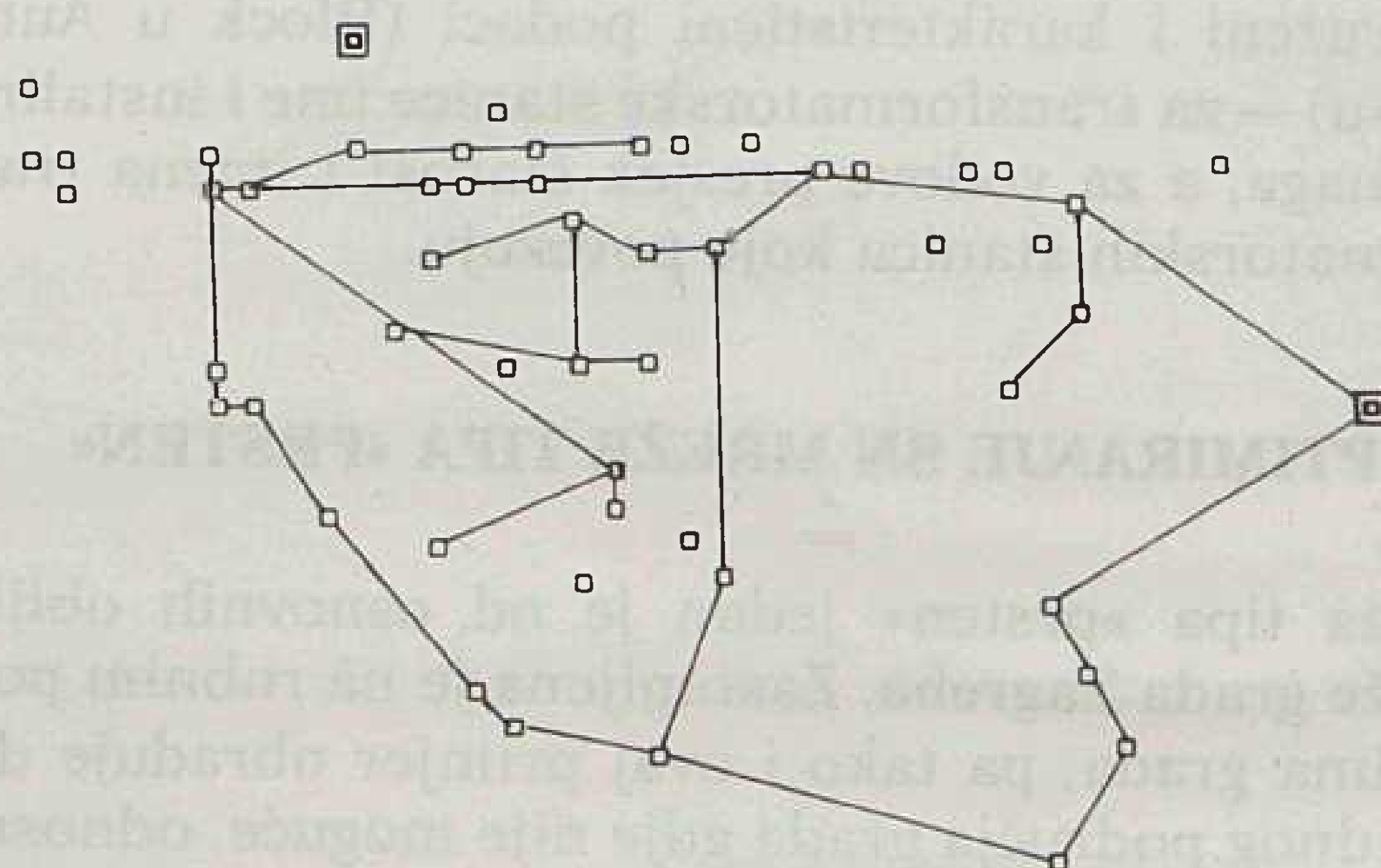
Ukupni trošak takve mreže iznosi 5 557 378 ekv. din. jed., što znači da je navedeni interaktivni postupak bio uspješan.

## 5. OPTIMIRANJE »POVEZNE« SN MREŽE

Povezni tip mreže predstavlja takvu strukturu gdje SN-kabel započinje u jednoj, a završava u drugoj pojnoj transformatorskoj stanici. »Povezna« mreža predstavlja osnovni oblik mreže grada Zagreba, a zastupljena je na području cijelog grada, osim u rubnim područjima.

Budući da je tip »mreže s protustanicom« samo poseban oblik »povezne« mreže, ovdje će biti obrađen osnovni oblik »povezne« mreže.

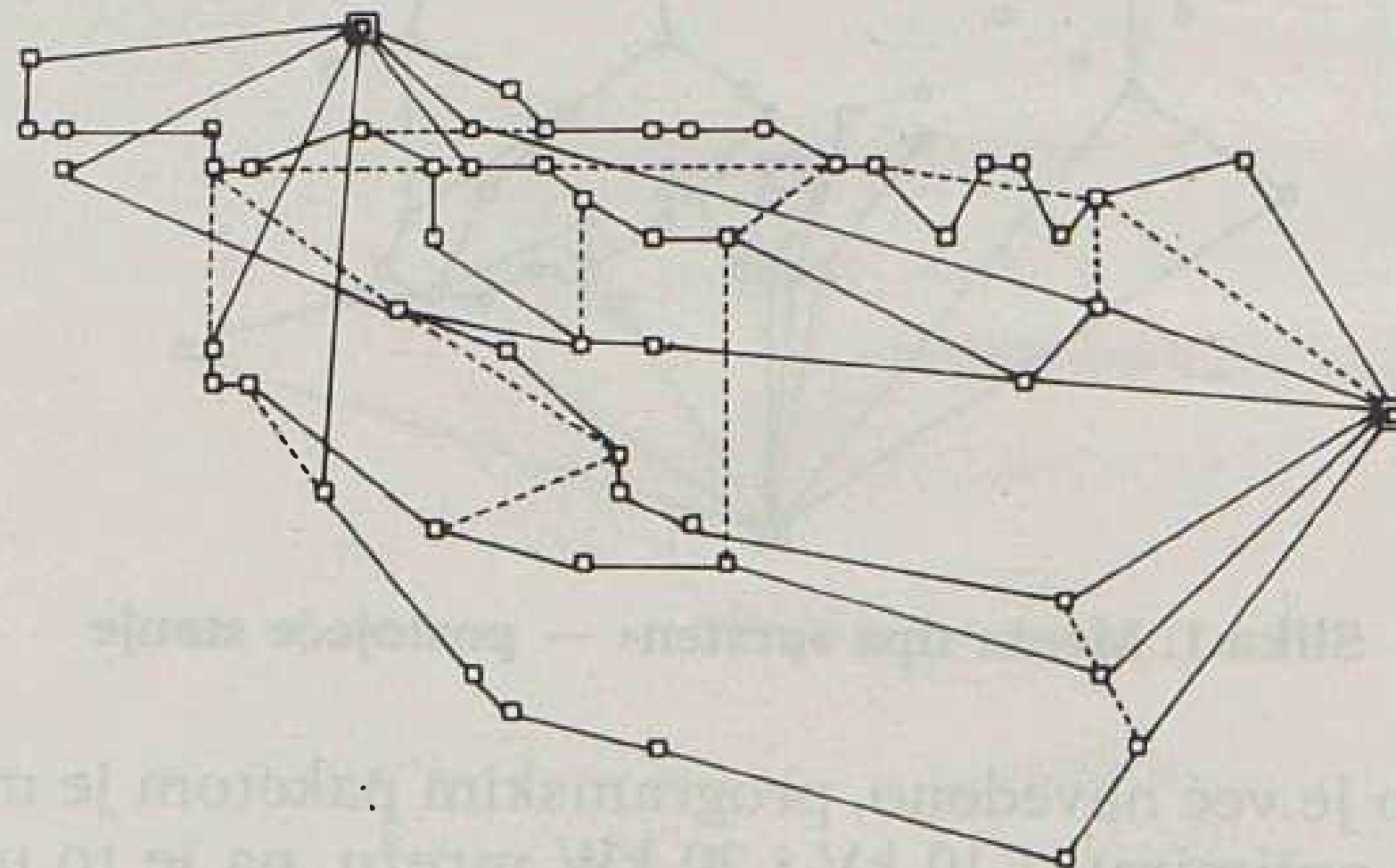
Na slici 6. prikazano je postojeće stanje dijela SN-mreže zapadnog područja grada koje će poslužiti za primjer planiranja optimalne strukture »povezne« mreže. Postojeća TS 110(10(20) kV Stenjevac je dosadnja pojna točka toga područja, a između nje i planirane nove TS 110/10(20) kV Tvornica cementa potrebno je formirati »poveznu« SN mrežu. Pri toj obradi potrebno je uzeti u obzir sve planirane TS 10(20)/0.4 kV za promatrano razdoblje koje iznosi 10 godina. Također su izrađene 10 kV i 20 kV varijante SN-mreže.



Slika 6. Povezna mreža — postojeće stanje

Kod poveznog tipa mreže, kao i kod »prstena« također je moguće vršiti optimiranje na dva načina: »LIJEVO« i »DESNO«. Svaka TS 10(20)/0.4 kV ima svoje koordinate, pa se strukturiranje mreže vrši od jedne TS  $\times/10(20)$  kV do druge prema rastućoj (»DESNO«) ili padajućoj apscisi (»LIJEVO«).

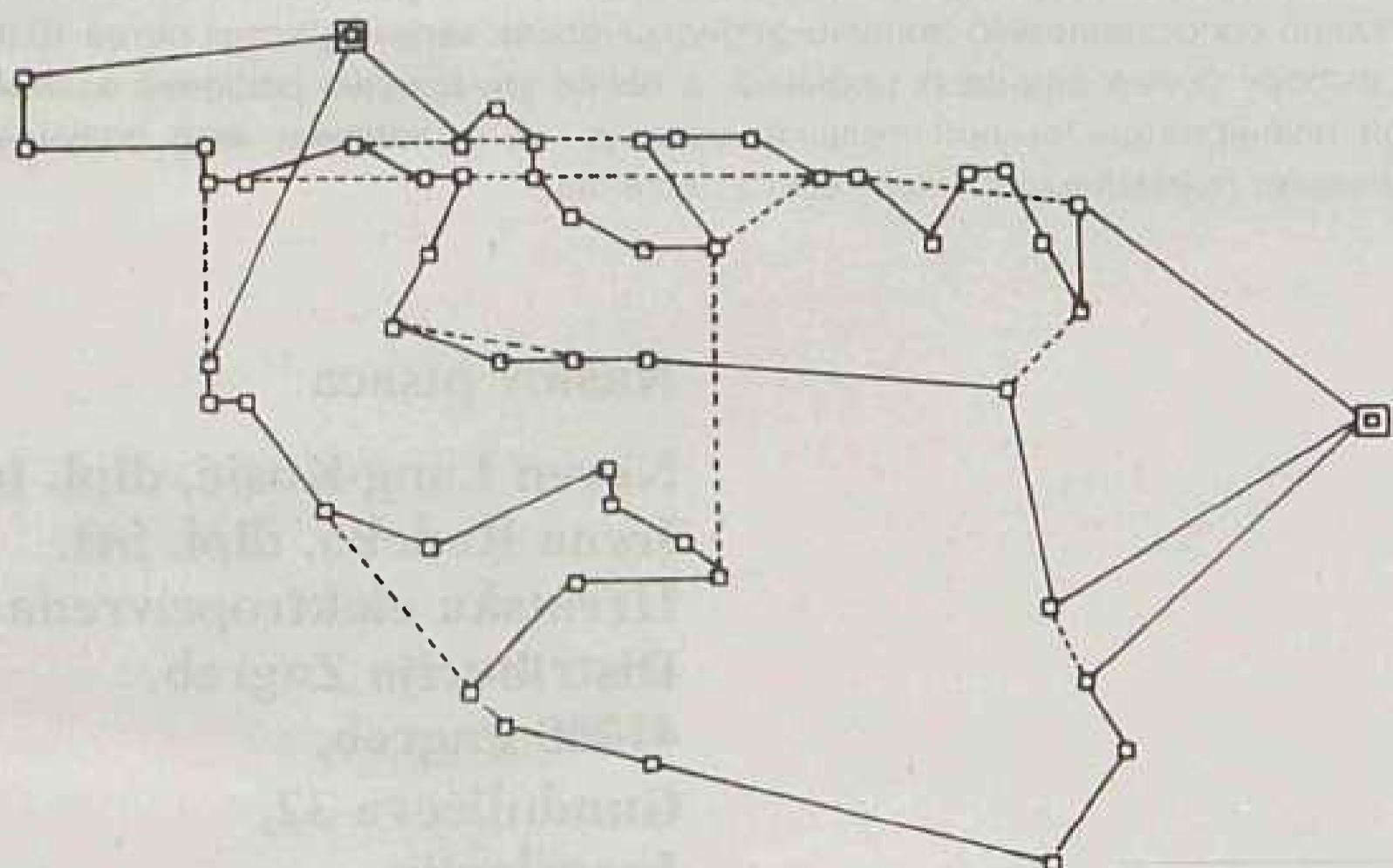
Na slici 7. prikazano je jeftinije rješenje 10 kV mreže (»LIJEVO«) gdje su crtanim linijama označeni postojeći vodovi koje računalo nije usvojilo pri ovakvom strukturiranju mreže. Za opskrbu svih TS 10(20)/0.4 kV električnom energijom potrebno je 7 staza, a cijena planirane mreže iznosi 10 002 920 ekv. din. jed.



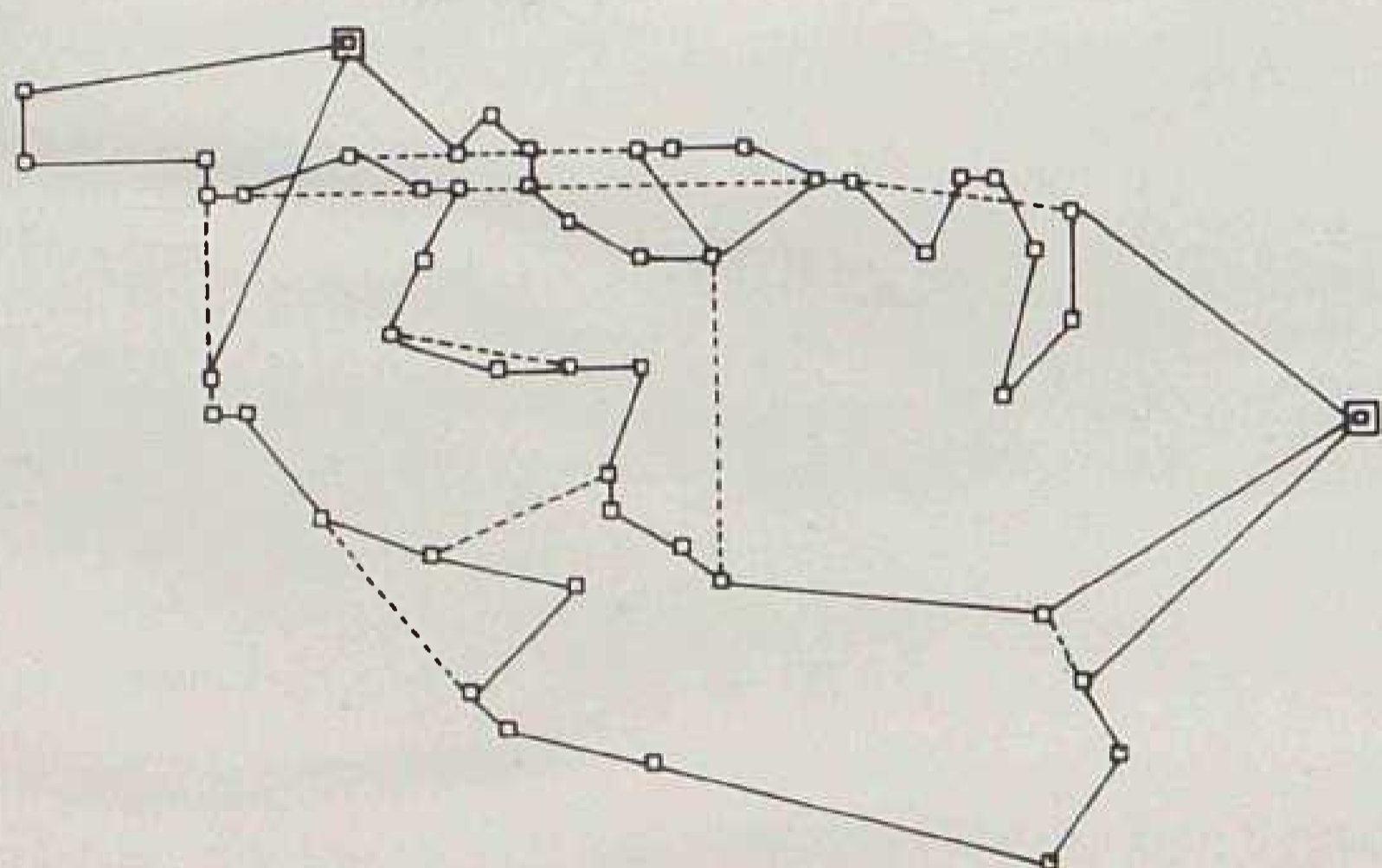
Slika 7. Povezna mreža — 10 kV varijanta

Za 20 kV varijantu na slikama 8. i 9. prikazana su oba rješenja s pripadajućim troškovima:

DESNO (slika 8) ..... 5 884 546 ekv. din. jed.  
LIJEVO (slika 9) ..... 5 774 232 ekv. din. jed.



Slika 8. Povezna mreža — 20 kV varijanta (desno)

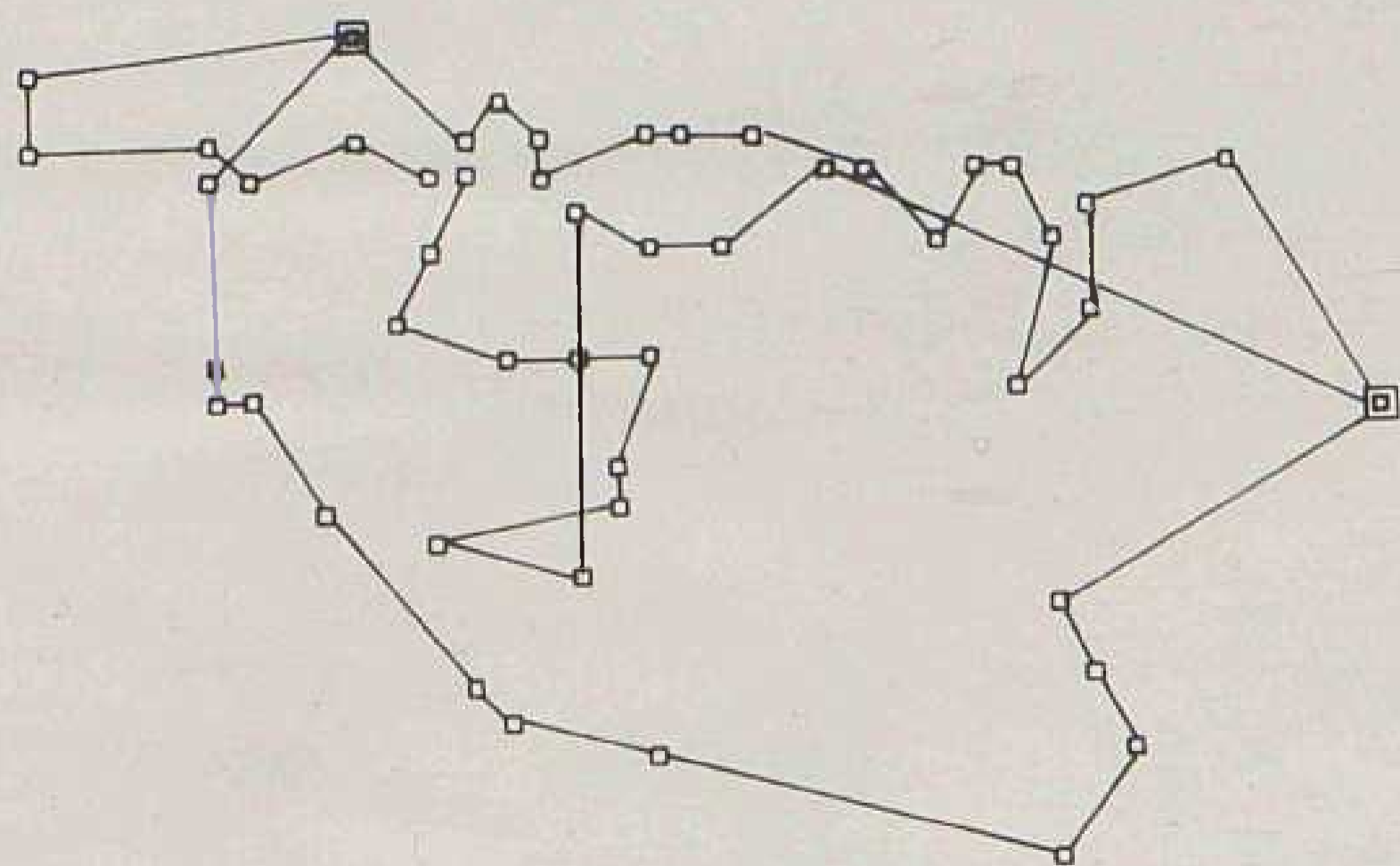


Slika 9. Povezna mreža — 20 kV varijanta (lijevo)

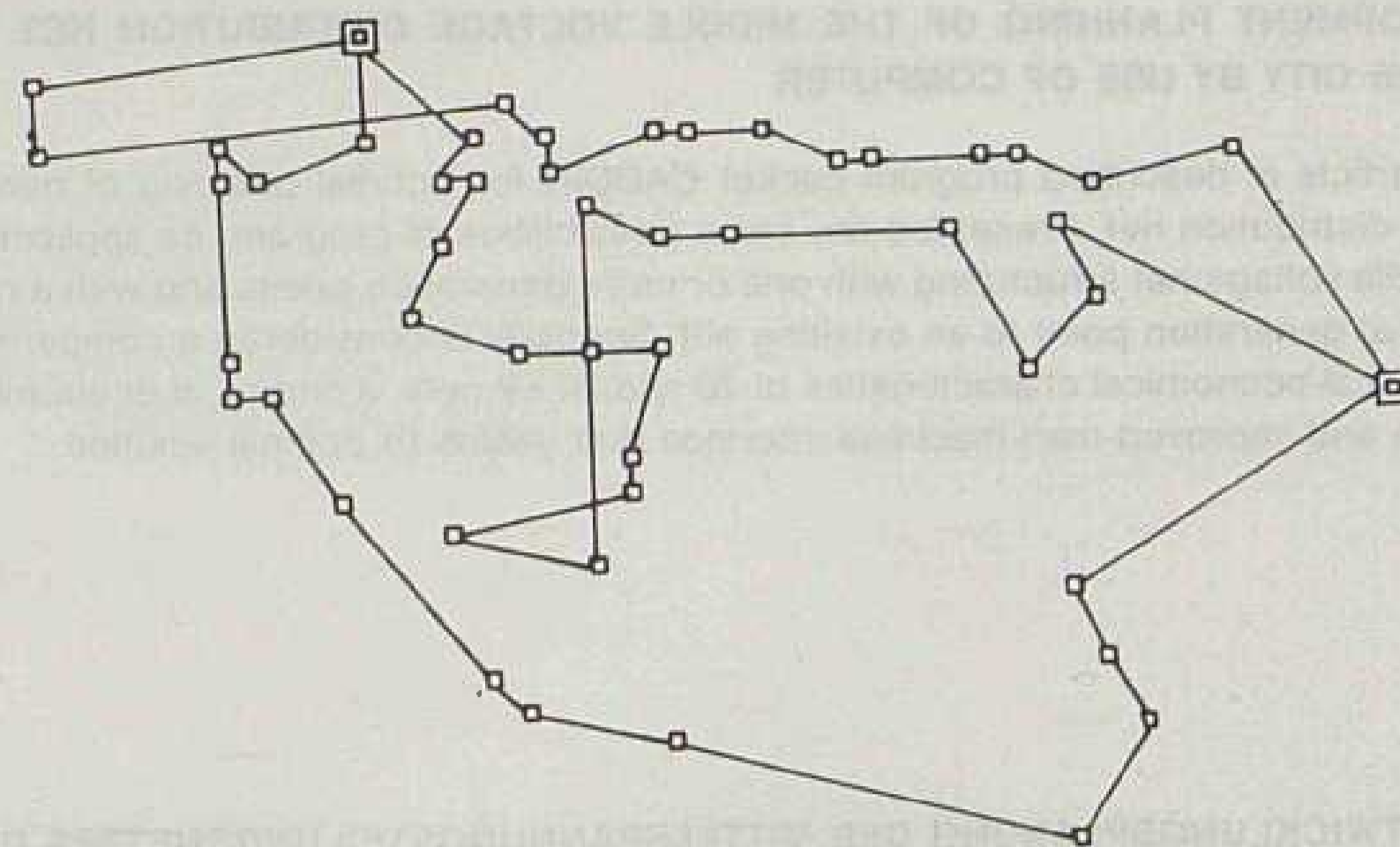
U ovim varijantama uračunata je i cijena rekonstrukcije TS 10/0.4 kV koje je potrebno prirediti za rad na 20 kV naponu.

Budući da je varijanta »LIJEVO« jeftinija, nju je bilo potrebno »doraditi« u smislu uvažavanja podataka i saznanja koja nisu obuhvaćena optimizacijskim postupkom, a navedena su već u prethodnom primjeru SN-mreže tipa »prsten«.

Mrežu je bilo potrebno doradivati u više etapa interaktivnog rada, pa je tako na slici 10. prikazan međukorak (cijena mreže 5 320 020 ekv. din. jed.), a na slici 11. konačno rješenje 20 kV mreže za čiju realizaciju treba 5 206 633 ekv. din. jed.



Slika 10. Povezna mreža — 20 kV rješenje (međukorak)



Slika 11. Povezna mreža — 20 kV — konačno rješenje

Prikazano rješenje povezne 20 kV mreže sastoji se od 3 staze sa sljedećim opterećenjem:

staza I. .... 9 250 kW  
staza II. .... 8 910 kW  
staza III. .... 10 094 kW

Staza II. najmanje je opterećena jer je na taj način ostavljena mogućnost uklapanja tereta iz staze I. ili iz staze III. Razlog je u tome što je ovakvo konačno rješenje moguće vrlo jednostavno korigirati u slučaju poremećaja u planiranoj dinamici izgradnje novih TS 20/0.4 kV zbog djelomičnoga geografskog preklapanja staza.

## 6. ZAKLJUČAK

Planiranje razvoja srednjonaponske distributivne mreže pomoću programskog paketa CADDIN na PC računalu pokazalo je, u toku primjene zadnjih godinu i pol, nesporne prednosti u odnosu na konvencionalno planiranje kakvo se do sada u Elektri Zagreb koristilo. Obraden je znatan dio gradske srednjonaponske mreže, i to na način koji je omogućio pronalaženje najboljih rješenja na tim područjima uz minimalne investicijske troškove i troškove održavanja u promatranom razdoblju. U toku rada pokazalo se da pristup problemima planiranja na način na koji je to riješeno CADDIN-om, gdje interaktivni rad planera i računala daje rješenje koje je sinteza traženja optimuma između mnogo varijanti i iskustva i znanja čovjeka koje je nemoguće ugraditi u program, daje vrlo dobre rezultate.

## LITERATURA

- [1] S. KRAJCAR: »Algoritmi za interaktivno optimalno planiranje razdjelnih mreža«, doktorska disertacija, Zagreb, 1988.
- [2] S. KRAJCAR, D. ŠKRLEC: »CADDIN — upute za instalaciju i korištenje«, Zagreb, 1989.
- [3] N. LANG-KOSIĆ, B. BORJANOVIĆ, S. KRAJCAR, D. ŠKRLEC: »Idejno rješenje srednjonaponske mreže za zapadnog područja grada Zagreba«, Zagreb, 1989.
- [4] N. LANG-KOSIĆ, B. BORJANOVIĆ: »Idejno rješenje srednjonaponske mreže područja Trnja«, Zagreb, 1990.

**DEVELOPMENT PLANNING OF THE MIDDLE VOLTAGE DISTRIBUTION NET OF ZAGREB CITY BY USE OF COMPUTER**

In the article is described program packet CADDIN for optimal planning of middle voltage distribution net. Presented are some possibilities of program: its application for middle voltage net structuring with one or more generation points and with a new additional generation point to an existing net. Specially is considered a comparison of technical-economical characteristics of 10 and 20 kV nets, a choice of economical solution and improved man-machine interface that yealds to optimal solution.

**ПЛАНИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ГОРОДА ЗАГРЕБА С ПОМОЩЬЮ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ**

В работе описаны свойства программного пакета CADDIN используемого при оптимальном планировании распределительной сети среднего напряжения на вычислительной машине РС. Показаны известные возможности программного пакета — его применение при создании сети среднего напряжения. Особое внимание уделено сопоставлению технико-экономических характеристик сетей 10 кВ и 20 кВ, выбору более дешовых решений, а также улучшению решений взаимной работой планировщик-вычислительная машина, на основании чего получается окончательно приемлимого наилучшего решения.

**DIE ENTWICKLUNGSPLANUNG DES MITTELSPANNUNGSTEILUNGSNETZES DER STADT ZAGREB MIT HILFE DES COMPUTERS**

In der Arbeit beschreibt man die Eigenschaften des Programmpaketes CADDIN das für das optimale Planen des Mittelspannungsdistributionsnetzes am Rechner PC genutzt wird. Es wurden einige Möglichkeiten des Programmpaketes, seine Anwendung für das Strukturieren des Mittelspannungsnetzes — eines oder mehrerer Versorgungspunkte sowie das Einschalten in neue Punkte in das schon vorhandene Mittelspannungsnetz beschrieben. Besondere Aufmerksamkeit gilt dem Vergleich der techno — ökonomischen Charakteristiken der Netze 10 kV und 20 kV, der Wahl einer billigeren Lösung sowie der Verbesserung der Lösung durch interaktive Arbeit des Planer Computers wodurch es zur entgultig besten Lösung kommt.

Naslov pisaca:

**Neven Lang-Kosić, dipl. inž.  
Irena Radeka, dipl. inž.  
Hrvatska elektroprivreda  
Distribucija Zagreb,  
41000 Zagreb,  
Gundulićeva 32,  
Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis  
1990-05-28

LITERATURA

[1] S. KRAJČAR: Abgleich der Verteilungsnetze, Elektr. 1988.

[2] S. KRAJČAR, D. ŠKRLJEC, CADDIN — paket za optimalno planiranje mreže, Elektr. 1989.

[3] N. LANG-KOSIĆ, B. BORJANOVIĆ, S. KRAJČAR, D. ŠKRLJEC: Izborno pitanje studijskog rada, Elektr. 1989.

[4] N. LANG-KOSIĆ, B. BORJANOVIĆ: Izborno pitanje studijskog rada, Elektr. 1990.

# ODREĐIVANJE FAKTORA SNAGE KATEGORIJE DOMAĆINSTVO U »ELEKTROSLAVONIJI« OSIJEK

Damir Pečvarac, Osijek

UDK 621.3.014:64  
STRUČNI RAD

U sklopu sagledavanja tokova jalovih snaga u elektroenergetskom sustavu »Elektroslavonije« Osijek obrađeno je i putem  $\cos \phi$  prikazano stanje jalove snage kod kategorije domaćinstva.

**Ključne riječi:** faktor snage, radna i jalova snaga i energija, domaćinstvo.

## UVOD

Sagledavanje stanja jalove snage i energije u elektro-distributivnom sustavu »Elektroslavonije« Osijek trebalo je utvrditi u kojoj mjeri i na kojoj je napon-skoj razini potrebno u prvom redu, a zatim i u ostalim slučajevima provoditi kompenzaciju jalove snage. Da bi se proveo potreban računski postupak, nužno je bilo dovoljno točno utvrditi faktor snage  $\cos \phi$  kod kategorije domaćinstva te kod ostalih kategorija potrošača.

$\cos \phi$  je određen na dva načina s namjerom uspoređivanja, a radi što stvarnije ocjene brojčane vrijednosti.

Samo spominjući nužnost prijenosa jalove snage pri prijenosu radne snage, zadržat ćemo se na tretiranju njihova odnosa u elektroprivredi, kroz faktor snage —  $\cos \phi$ .  $\cos \phi$  je omjer radne i prividne snage, a najčešće, u praksi, omjer radne i privredne energije u nekom sustavu. Njegova se teorijska vrijednost kreće između 0 i 1 za opterećenja induktivnog karaktera te 0 i (-1) za kapacitivna opterećenja. Optimalna granica prijenosa jalove snage postiže se kada  $\cos \phi$  iznosi  $0,97 \div 0,98$ , dakle induktivnog karaktera. Zakon o elektroprivredi treba propisati najniži dozvoljeni — granično  $\cos \phi$  od 0,95, što praktički znači da se na 1 kW ili 1 kWh dozvoljava ostvarenje 0,33 kVAr ili 0,33 kVArh i da se nalazi vrlo blizu optimalnoga. Granični faktor snage u sustavu nije moguće ostvariti bez ugradnje kondenzatora ili kompenzatora.

Za određivanje  $\cos \phi$  domaćinstva upotrebljene su dvije metode: računski i mjerna s tim da su brojčane vrijednosti  $\cos \phi$  utvrđene prema energiji —  $\cos \phi_w$  — i snazi —  $\cos \phi$ .

## 1. RADNA I JALOVA ENERGIJA

Godišnja radna i jalova energija elektro-distribucije na mjestu preuzimanja iznosi:

Preuzeto	Godina	GWh	GVArh	$\cos \phi_w$
	1988.	1 721	678	0,93

Godišnja radna energija domaćinstva je 751 GWh, a utvrđivanje potrebne jalove energije domaćinstva zahtijeva izračunavanje jalove energije:

- industrijskih potrošača 35 i 10 kV
- industrijskih potrošača 0,4 kV (1. i 2. tarifna grupa)
- javne rasvjete
- ZDV i KDV distribucije i transformatora 35/10 i 10/0,4 kV.

### Industrijski potrošači

Ukupna potrošnja industrijskih potrošača iznosi 264 GVArh, od čega je 81 GVArh na napon 35 kV, a 183 GVArh na naponu 10 kV.

### Tarifna grupa 1 i 2

Ukupne potrebe ugovornih potrošača na 0,4 kV iznose 78 GVArh, od čega je 26 GVArh Tarifna grupa 1, a 52 GVArh Tarifna grupa 2.

### Javna rasvjeta

Prema radnoj energiji i ocijenjenom  $\cos \phi$  od 0,9 izračunate su potrebe javne rasvjete za jalovom energijom koje iznose 12 GVArh.

### Mreža 10 kV

Doprinos mreže 10 kV sastoji se od doprinosa ZDV 10 kV sa 156 GVArh i KDV 10 kV s — 74 GVArh, što je ukupno 82 GVArh. Doprinos mreže 10 kV izračunat je na temelju ocjene: tipiziranog oblika mreže, vrste i tipa vodiča te opterećenja dionica.

Mreža ZDV 10 kV dana je preko reprezentanata: kontinuirano opterećenje voda Ač 35 mm<sup>2</sup> sa šest dionica na udaljenosti po 1 km. Opterećenje prve dionice je 70% nazivnog, a opterećenja ostalih dionica sukce-

sivno se smanjuju. Godišnji doprinos ukupne duljine ZDV 10 kV u jalovoj energiji izračunat je i iznosi oko 156 GVarh.

Mreža KDV 10 kV dana je preko reprezentanata: kabela PP41-A 120 mm<sup>2</sup> sa šest dionica na udaljenosti po 1 km. Opterećenje prve dionice je 80% nazivnog, a opterećenja ostalih dionica sukcesivno se smanjuju. Godišnji doprinos ukupne duljine KDV 10 kV u jalovoj energiji izračunat je i iznosi — 74 GVarh.

#### Mreža 35 kV

Doprinos mreže 35 kV sastoji se od vrlo malog doprinosa ZDV 35 kV i KDV 35 kV s — 97 GVarh, što je ukupno — 97 GVarh. Doprinos mreže 35 kV izračunat je na temelju fizičkih podataka o mreži, pogonskog stanja i oblika mreže te ocjeni opterećenja.

Tipizirani oblik zračne mreže 35 kV dan je preko reprezentanata: radijalnog voda duljine 13,3 km, Ač 120 mm<sup>2</sup> opterećenog na kraju s 4,2 MVA. U račun je uzeto, iz statistike, da se 25% ZDV 35 kV nalazi pod naponom, ali u praznom hodu, dok 75% ukupnih ZDV 35 kV prenosi energiju.

Prema formuli  $Q = Q_1 + Q_c = 3 I^2 \times X \times l - U^2 \times B \times l$  dobije se rezultanta iduktivna snaga potrebna za pogon ZDV 35 kV u iznosu od 35 kVar, što je godišnje oko 0,3 GVarh pa stoga i zanemarivo.

Tipizirani oblik kabela mreže 35 kV također je dan putem reprezentanata: radijalnog kabela duljine 6,1 km, IPZO 13, opterećenog na kraju sa 8,2 MVA. Uzeto je da se 25% KDV 35 kV nalazi pod naponom u praznom hodu, a kroz 75% KDV 25 kV se prenosi energija.

Rezultantna kapacitivna snaga iznosi — 11,1 MVar, odnosno godišnje oko — 97,3 GVarh.

#### Transformatori 35 kV

Potrebe Tr 35/10 kV iznose 102 GVarh, a sastavljene su od 52 GVarh radi praznog hoda i 50 GVarh radi prosječnog opterećenja koje je ocijenjeno 40% nazivnog.

#### Transformatori 10 kV

Potrebe Tr 10/0,4 kV iznose 134 GVarh, a sastavljene su od 84 GVarh radi praznog hoda i 50 GVarh radi prosječnog opterećenja koje iznosi 50% nazivnog. Budući da je u TS 10/0,4 kV ugrađeno oko 9 MVar kondenzatorskih baterija to su ukupne Tr 10/0,4 kV smanjene i iznose 55 GVarh.

Nakon nužnih procjena, podataka o ostvarenjima i fizičkim veličinama te iterativnog računskog postupka dobivene su sljedeće vrijednosti navedenih potreba u toku godine:

	GVarh
Mreža 10 kV	82
Mreža 35 kV	— 97
Tr 35 i 10 kV	157

što rezultira potrošnjom jalove energije domaćinstva od oko 180 GVarh godišnje, iz čega proizlazi faktor snage kod kategorije domaćinstvo izračunat prema energiji:

$$\cos f_{i_w} = 0,97$$

Da bi se što egzaktnije potvrdila ta vrijednost, s obzirom na to da je donesena na temelju procjena i ostvarene energije, te da se u tome trenutku činila vrlo visokom, obrađena su još dva pristupa:

- usporedba energija na mjestu preuzimanja
- mjerenje energije i snage u KTS 10/0,4 kV.

## 2. FAKTOR SNAGE ODREĐEN PREMA GODIŠNJOJ ENERGIJI

### 2.1. Usporedba energija na mjestu preuzimanja

Elektrodistribucija električnu energiju preuzima od Elektroprijenosa u TS 110/35 kV na cijelom području »Elektroslavonije« Osijek. Mjesto mjerenja je naponski nivo 35 kV u TP 110/35 kV izuzev TS 110/10 kV Osijek 3. Usporedba energija provedena je za 1988. godinu.

Kod radne energije približno polovica potrošnje industrijskog je karaktera, a polovica kategorije domaćinstva. Kod jalove energije 54% je industrijskog karaktera, 27% domaćinstva i 19% ostalo. Prema odnosima preuzete godišnje radne i jalove energije, prosječan faktor snage  $\cos f_{i_w}$  iznosi 0,93.

Ovaj faktor snage proizvode: industrijski potrošači na visokom i niskom naponu, kategorija domaćinstva i javna rasvjeta te gubici u transformatorima i mreži.

Faktor snage za industriju na visokom naponu iznosi 0,89. Da bismo ostvarili prosječnu vrijednost na nivou preuzimanja od 0,93, kategorija ostalo treba imati vrlo malu potrošnju jalove induktivne energije. Kako su procijenjeni i kritički ocijenjeni utjecaji gubitaka u vodovima i transformatorima, razliku predstavlja jalova energija potrebna za opskrbu domaćinstva. Prema radnoj energiji domaćinstva jalova je energija tolika da  $\cos f_i$  koji iz nje proizlazi mora biti vrlo visok. Metodom prosjeka, što nam dozvoljava jednakost radne energije industrije i domaćinstva, dolazimo do

$$\cos f_{i_w \text{ domać.}} = 2 \cdot \cos f_{i_w} - \cos f_{i_w \text{ ind}} = 0,97.$$

Usporedba faktora snage, dobivenog iz mjerne preuzete radne i jalove energije, s faktorom snage dobivenim mjerno — računarskom metodom energija, pokazuje vrlo visok korelacioni odnos čime se potvrđuje ispravnost ustanovljenih procjena.

### 2.2. Ocjena faktora snage na mjestu preuzimanja energije

Mjesto preuzimanja električne energije od prijenosa su TS 110/X kV na niženaponskoj strani. Raspoloživi podaci su satna energija (prema tome i prosječna satna snaga) očitana karakterističnom srijedom i nedjeljom.

**Dijagram radne energije** ima svoj karakterističan oblik. minimum potrošnje u radnom danu je između 3 i 4 sata u lipnju i kreće se od 110 do 120 MW, dok se nedjeljni minimum od 5 do 6 sati kreće se od 90 do 100 KW. Porast potrošnje u radnom danu počinje



oko 5 sati, dostiže prvi vrh oko 8 sati, ostaje na toj razini, a drugi vrh odnosno maksimum ostvaruje se oko 18 sati. Nedjeljom pak porast počinje u 7,00 sati, dostiže prvi vrh, ujedno i maksimum oko 12,00 sati, zatim pada do 19,00 sati i ponovno raste do drugog vrha oko 22,00 sata.

**Dijagram jalove energije** sličan je dijagramu radne energije u radnom danu. Minimum opterećenja je između 3 i 4 sata od 55 do 60 MVAR, dok je nedjeljom minimum oko 7, 12 i 16 sati i iznosi 50–55 MVAR. Porast potrošnje u radnom danu počinje oko 5 sati, dostiže prvi vrh oko 8 sati, ostaje na nešto nižoj razini i oko 20 sati počinje padati. Nedjeljni dijagram jalove snage ljeti i zimi oscilira oko 60 MVAR, uz napomenu da su veće oscilacije ljeti.

**Dijagram faktora snage**  $\cos \phi$  izveden je iz dijagrama radne i jalove energije (satne snage). Najniži  $\cos \phi$  u pravilu je kod visokih temperatura zraka odnosno ljeti oko tri sata ujutro. Vrijednost se kreće između 0,86 i 0,7. Taj se efekt objašnjava minimalnim potrebama domaćinstva za radnom energijom kako kod grijanja, tako i kod uobičajenih dnevnih potreba, te češćem uključivanju uređaja za ohlađivanje namirnica koji su veliki potrošači jalove energije.

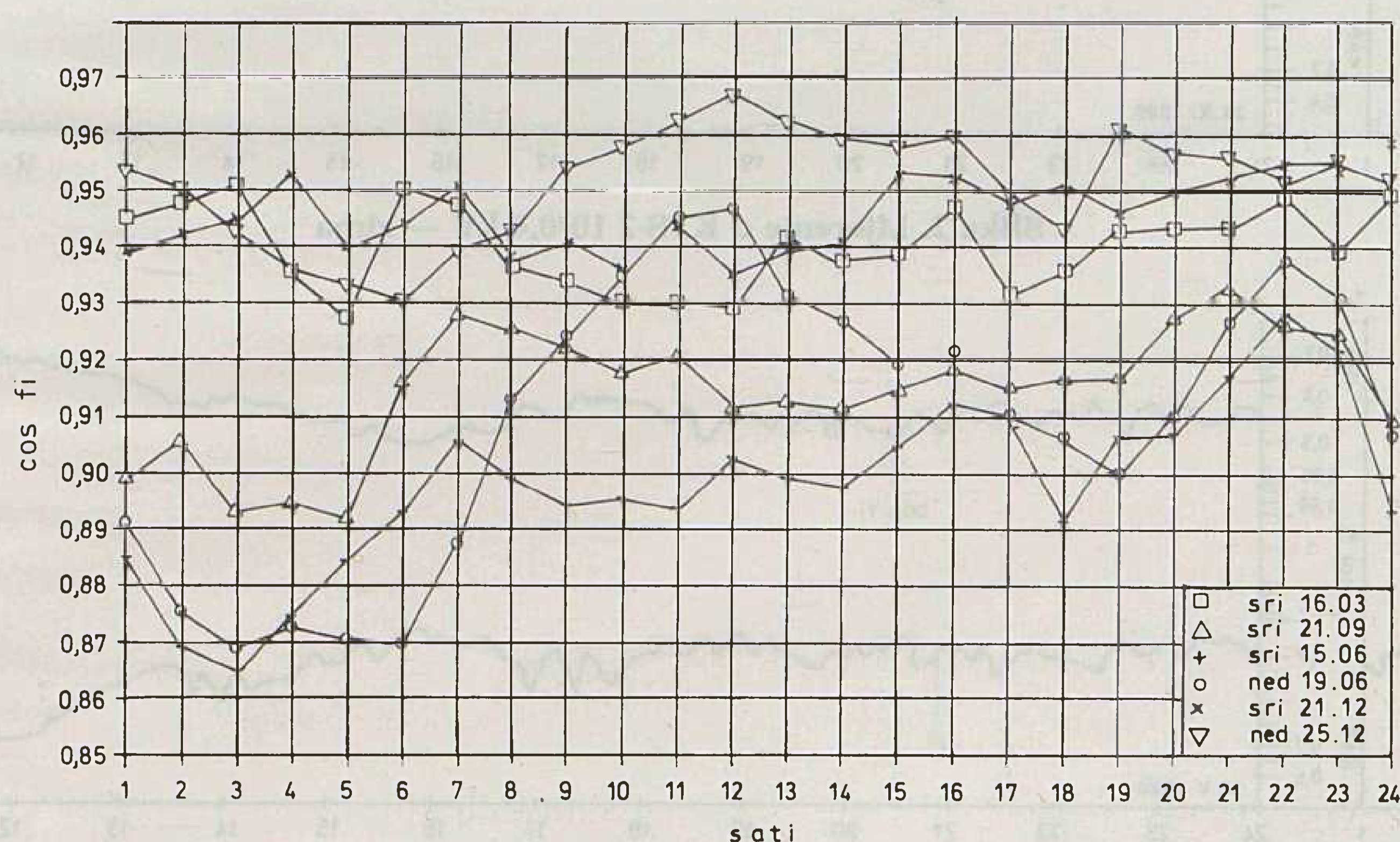
Osim toga, ovako nizak  $\cos \phi$  rezultat je nedovoljno i neodgovarajuće provedene kompenzacije kod industrijskih potrošača koji rade u četiri smjene. Najviša vrijednost  $\cos \phi$ , oko 0,97, ostvaruje se nedjeljom zimi. Na slici 1. prikazane su promjene  $\cos \phi$  u toku dana za pojedino godišnje doba. Nedjelja zimi, kada je izvan pogona najveći dio industrijskih potrošača, indikativan je i reprezentativan dan u kojem se vidi utjecaj domaćinstva na potrošnju radne i jalove energije pa prema tome i  $\cos \phi$ . Nedjeljom zimi potrebne radne energije za 25 do 30% veće su nego nedjeljom ljeti (4 500::3 220 GVARh). Istovremeno potrebe jalove energije podjednake su nedjeljom zimi i ljeti (1 450::1 430 MVARh). Rezultantni  $\cos \phi$  tako zimi postaje visok radi povećanja potrošnje radne energije domaćinstva — prvenstveno grijanjem prostorija. Prosječni  $\cos \phi$  nedjeljom zimi iznosi 0,951,

najniže satne vrijednosti 0,93 (6 sati ujutro) i najviše 0,967 (podne). U ljetnom razdoblju faktor snage očito je niži jer najniža vrijednost iznosi 0,865 u ranim jutarnjim satima, a najviša kratkotrajna vrijednost 0,945 nedjeljom (podne). Općenito se iz navedenih ovisnosti može konstatirati da porastom opterećenja u sustavu raste i  $\cos \phi$ , a najveći se  $\cos \phi$  ostvaruje 1 do 2 sata prije maksimuma sustava, a nešto rjeđe 1 do 2 sata poslije maksimuma sustava. U zaključku ovog poglavlja valja istaknuti da metoda određivanja  $\cos \phi$  pomoću godišnje energije rezultira prosjecima. Za prvi približan uvid stanja jalove energije ovaj način zadovoljava (npr.  $\cos \phi = 0,89$  kod industrijskih potrošača 10 kV govori da je kod ove strukture kompenzacije slabo provedena). Vidimo nadalje iz podataka da je opravdano uvesti pojmove: faktor snage zimi, faktor snage ljeti i faktor snage prijelaznog razdoblja kako za domaćinstva tako i za cijeli sustav.

### 3. MJERENJE ENERGIJE I SNAGE U KTS 10/0.4 kV

Mjerenje energije i snage provedeno je radi određivanja faktora snage prema istovrsnoj energiji i snazi. Mjerenja su provedena u dvije KTS 10/0.4 kV u sedmodnevnom ciklusu zimi i ljeti pri temperaturama  $-2$  do  $6^\circ\text{C}$  i  $13$  do  $32^\circ\text{C}$ . Područje koje napaja KTS-1 sastoji se od 336 domaćinstava, gdje je svakom omogućen priključak na plinsku mrežu, koji je većina domaćinstava i ostvarila. Osim kategorije domaćinstava, na ovom području ne postoje ostale kategorije potrošača niskog napona.

Područje koje napaja KTS-2 obuhvaća 380 domaćinstava i pet trgovina s vrlo malim udjelom u potrošnji. Grijanje prostorija i tople vode je mješovito: struja, plin i ostali energenti. Mjerenje radne i jalove energije u trafopolju 0,4 kV obavljeno je električnim brojilima klase 1, dok su faktor snage i radno opterećenje, kao trenutne veličine, mjereni regulatorom (traka) Iskra.



Slika 1. Karakteristične srijede i nedjelje u 1988.

Vrijednosti izmjerene energije u trajanju od sedam dana zimi su:

TS 10/0.4 kV	$W_p$ (kWh)	$W_q$ (kVArh)	$\cos \phi_w$
KTS-1	36 620	10 540	0,96
KTS-2	62 560	9 920	0,986

Istovremeno s mjerenjem energije mjerena je radna snaga i  $\cos \phi$  u istom trafopolju 0.4 kV. Na slici 2. prikazan je zimski dnevni dijagram snage i  $\cos \phi$  za dane 29/30. XI. 1989. (srijeda/četvrtak) u KTS-2. Iz dijagrama je uočljiva vrlo visoka prosječna vrijednost  $\cos \phi$ , oko 0,98, što je i razumljivo s obzirom na to da su u vrijeme mjerenja temperature bile ispod nule pa je i potrošnja radne energije za grijanje bila znatno povećana. Uvidom u cjelokupan sedmodnevni dijagram uočava se vrlo mala promjena jalovog opterećenja. Trenutna jalova snaga kreće se od 40 do 50 kVAr uz stalno priključenu kondenzatorsku bateriju snage 25 kVAr.

Mjerenje »ljeti« provedeno je od 24. V. do 4. VI. 1990. kada su temperature bile ljetne između 13 °C ujutro i 32 °C danju. Ovaj puta mjerenje je provedeno samo u KTS-2 i to P i  $\cos \phi$ , također uz stalno priključenu kondenzatorsku bateriju od 25 kVAr. Na slici 3. prikazan je »ljetni dnevni dijagram P i  $\cos \phi$ «

Iz dijagrama se uočavaju smanjene potrebe za radnom snagom čemu su uzrok visoke temperature zraka. Potrebe za jalovom snagom povećane su u odnosu na zimu, čemu su također uzrok visoke temperature. Uređaji za ohlađivanje namirnica, naime, vrlo

su često u pogonu i redovito s velikom potrošnjom jalove energije. Kod ovakvih odnosa radne i jalove snage dobiju se vrlo široke granice vrijednosti faktora snage koji se kreće od 0,55 do 0,97, uz najčešće iznose oko 0,85.

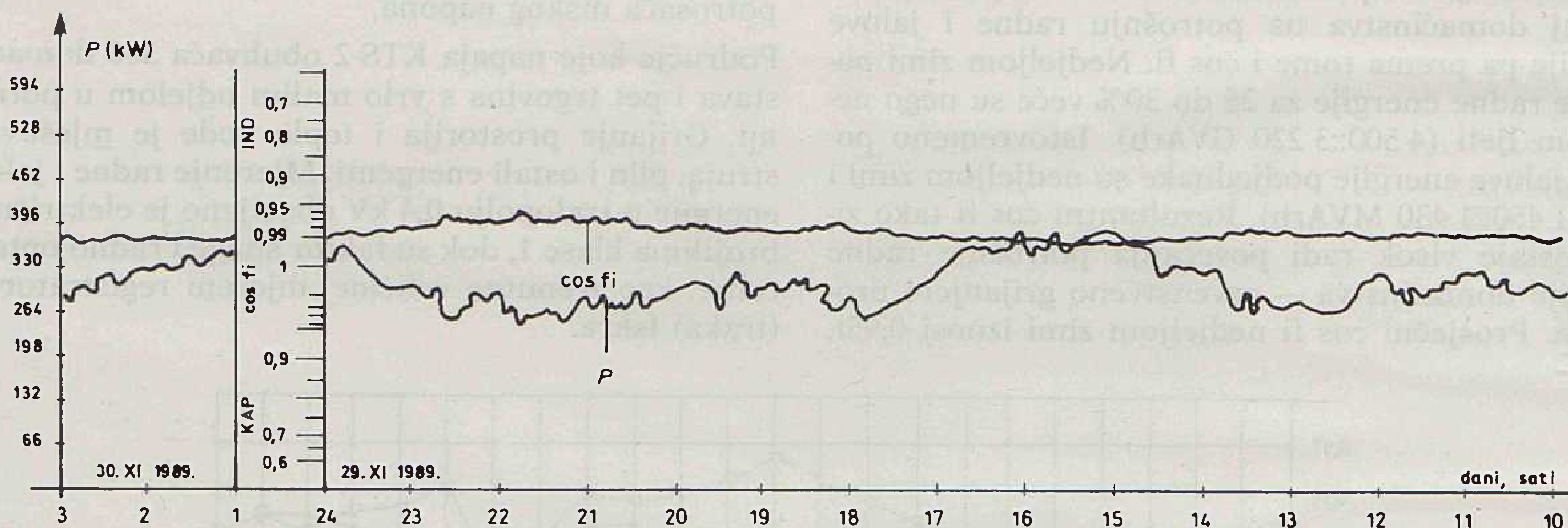
Treba napomenuti da se radi o uzorku od samo dvije TS 10/0.4 kV, pa bez obzira na to što su izabrane na temelju gotovo isključivih kriterija treba s malom kritičnošću usvojiti izloženu kvantifikaciju.

**Faktor snage zimi** — kod promatrane grupe domaćinstava vrlo je visok i malih oscilacija ( $\max/\min=1,03$ ) jer uz nisku i stalnu vrijednost jalove snage ostvaruje se visoka donja vrijednost radne snage u toku cijelog dana. Oscilacije radne snage su  $\max/\min=2,2$ . Gledajući ovu grupu domaćinstava u zimskom razdoblju, zaključujemo da ne postoji potreba za kompenzacijom jalove snage.

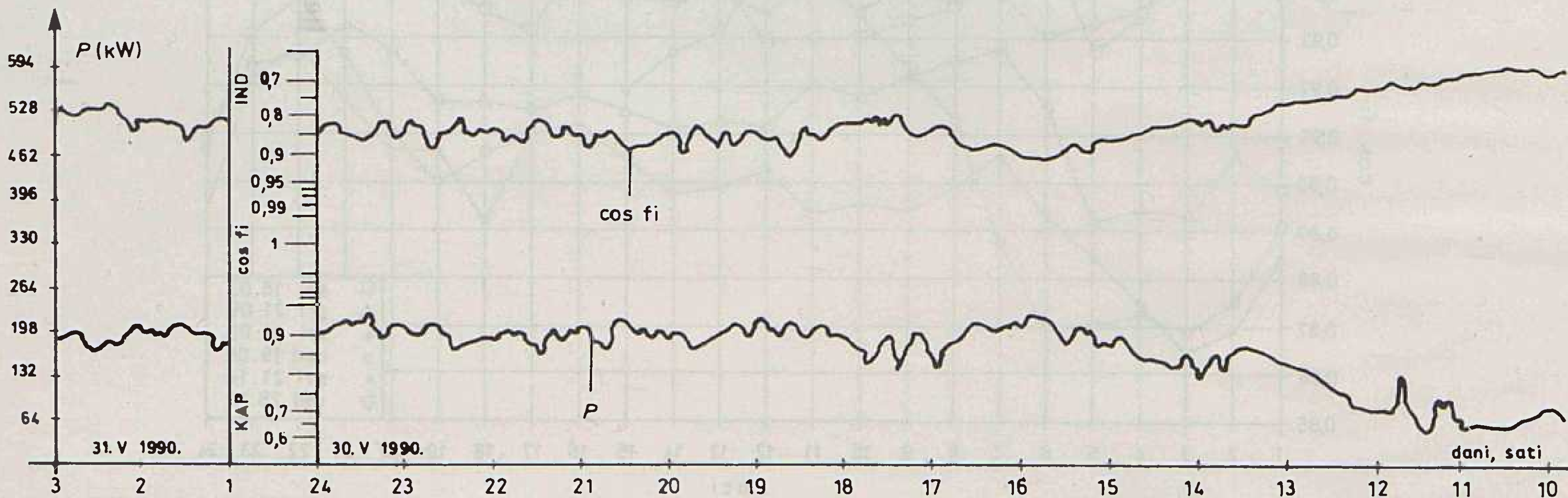
**Faktor snage ljeti** znatno je niži od zimskog s vrlo velikim oscilacijama ( $\max/\min=1,8$ ). Velike su oscilacije i kod radne snage ( $\max/\min=3,5$ ) koja ljeti ima znatno nižu donju vrijednost.

Gledajući istu grupu domaćinstava u ljetnom razdoblju, zaključak je suprotan — postoji potreba za kompenzacijom.

**Faktor snage prijelaznog razdoblja** — podrazumijeva u grubo proljeće i jesen. Budući da mjerenjem nisu obuhvaćene klimatske prilike ovoga razdoblja može se kvalitativno ustvrditi da će faktor snage oscilirati između ljetnoga i zimskoga. Precizniji podaci ostvarit će se daljim mjerenjima u ovome razdoblju.



Slika 2. Mjerenje u KTS-2 10/0,4 kV — zima



Slika 3. Mjerenje u KTS-2 10/0,4 kV — ljeto

#### 4. ZAKLJUČAK

Kod kategorije domaćinstvo treba razlikovati dva faktora snage. To su faktor snage zimi i ljeti. Faktor snage zimi vrlo je visok i s malim oscilacijama pogotovo kod potrošača koji za grijanje prostorija i vode upotrebljavaju električnu energiju i kreće se između 0,97 i 0,99. Kod potrošača čije je grijanje prostorija i vode mješovito  $\cos \phi$  kreće se od 0,95 do 0,97.

Tako visoke vrijednosti  $\cos \phi$  uzrokovane su ponajprije povećanom potrebom radne snage i u određenoj mjeri smanjenoj potrebi jalove snage u odnosu na ljetno razdoblje.

Faktor snage ljeti znatno oscilira čak od 0,55 do 0,97 u najčešćem području 0,85 do 0,9. Razlozi ovako povećanim promjenama  $\cos \phi$  jesu u smanjenju potreba radne snage te povećanoj potrebi jalove, sve u odnosu na zimsko razdoblje. Smanjenje radne snage uzrokovano je povećanjem vanjske temperature, što je istovremeno uzrok učestalijeg rada uređaja za hlađenje namirnica. Kako su ovi uređaji sa svojim elektromotorima značajni induktivni potrošači s obzirom na to da nisu kompenzirani, to se i jalovo opterećenje povećava.

Godišnja potrebna jalova energija za domaćinstvo, na području Elektroslavonije Osijek, kreće se oko 180 GVarh; približno jedna četvrtina radne energije. Ovakva ostvarenja upućuju na rješenje po kojemu ne treba mijenjati dosadašnje stavove oko mjerenja jalove energije u domaćinstvu. Osim toga nije potrebno provoditi pojedinačnu kompenzaciju (stalnu i reguliranu) jalove snage u domaćinstvima, što je sretna okolnost s obzirom na tehničke i provedbene poteškoće.

Najznačajniji potrošač jalove energije u domaćinstvu je uređaj za hlađenje hrane. Njega je potrebno pojedinačno kompenzirati ugradnjom odgovarajućeg kondenzatora, i to već u procesu proizvodnje. U tome smislu uputno je na poticaj Komisije za kompenzaciju pokrenuti stručne razgovore s proizvođačima svih vrsta električnih uređaja kod kojih je moguće provesti kompenzaciju. Najniža razina kompenziranja jalove snage domaćinstva treba biti TS 10/0.4 kV, gdje se ugradnja kondenzatora izvodi na nižena-ponskoj strani. Snaga kondenzatora ovisna je o jalovoj induktivnoj snazi potrošača, a prema tipizaciji, na temelju provedenih mjerenja funkcijski je poveza-

na sa snagom uredenog energetskog transformatora. Dozvoljena snaga niskonaponskog kondenzatora, stalne vrijednosti, kreće se 8 do 10% nazivne snage transformatora (npr. 50 kVar na 630 kVA).

#### LITERATURA

- [1] Grupa autora: »Kompenzacija jalove snage harmonici, nesimetrije, gubici — kvaliteta električne energije u EES«, ED Zagreb, Zagreb, 1989.
- [2] PEČVARAC, D., »Jalova snaga i energija u elektrodistributivnom sustavu 'Elektroslavonije' Osijek« — studija ESO Osijek, 1990.

#### DETERMINATION OF POWER FACTOR FOR HOUSEHOLD CONSUMERS IN »ELEKTROSLAVONIJA« OSIJEK

In the article is presented the condition of power factor for the household category of consumers, based on reactive power flows in the electric power system of »Elektroslavonija« Osijek.

#### BESTIMMUNG DES KRAFTFAKTORS DER KATEGORIE HAUSHALT IN »ELEKTROSLAVONIJA« OSIJEK

Im Rahmen der Untersuchung der ungenützten Kräfte im elektroenergetischen System von »Elektroslavonija« Osijek wurde mittels  $\cos \phi$  der Stand dieser Kräfte in Haushalten bearbeitet und geschildert.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ КАТЕГОРИИ ДОМАШНЕЕ ХОЗЯЙСТВО В »ЭЛЕКТРОСЛАВОНИИ« г. ОСИЕК

В границах рассматривания течения реактивных мощностей в электроэнергетической системе »Электрославония« г. Осиек, проработано путем сопср и представлено состояние реактивной мощности по категории домашнего хозяйства.

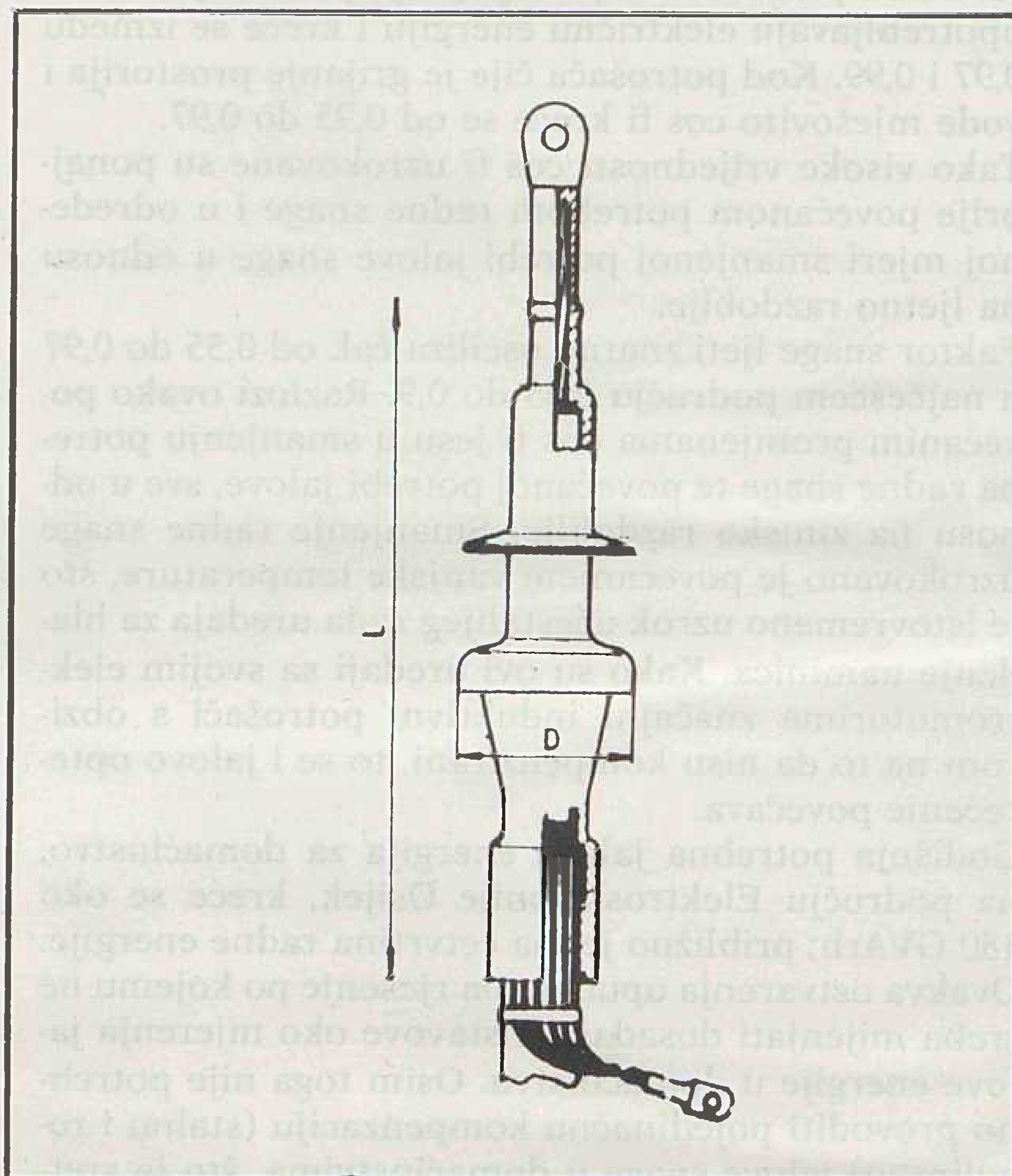
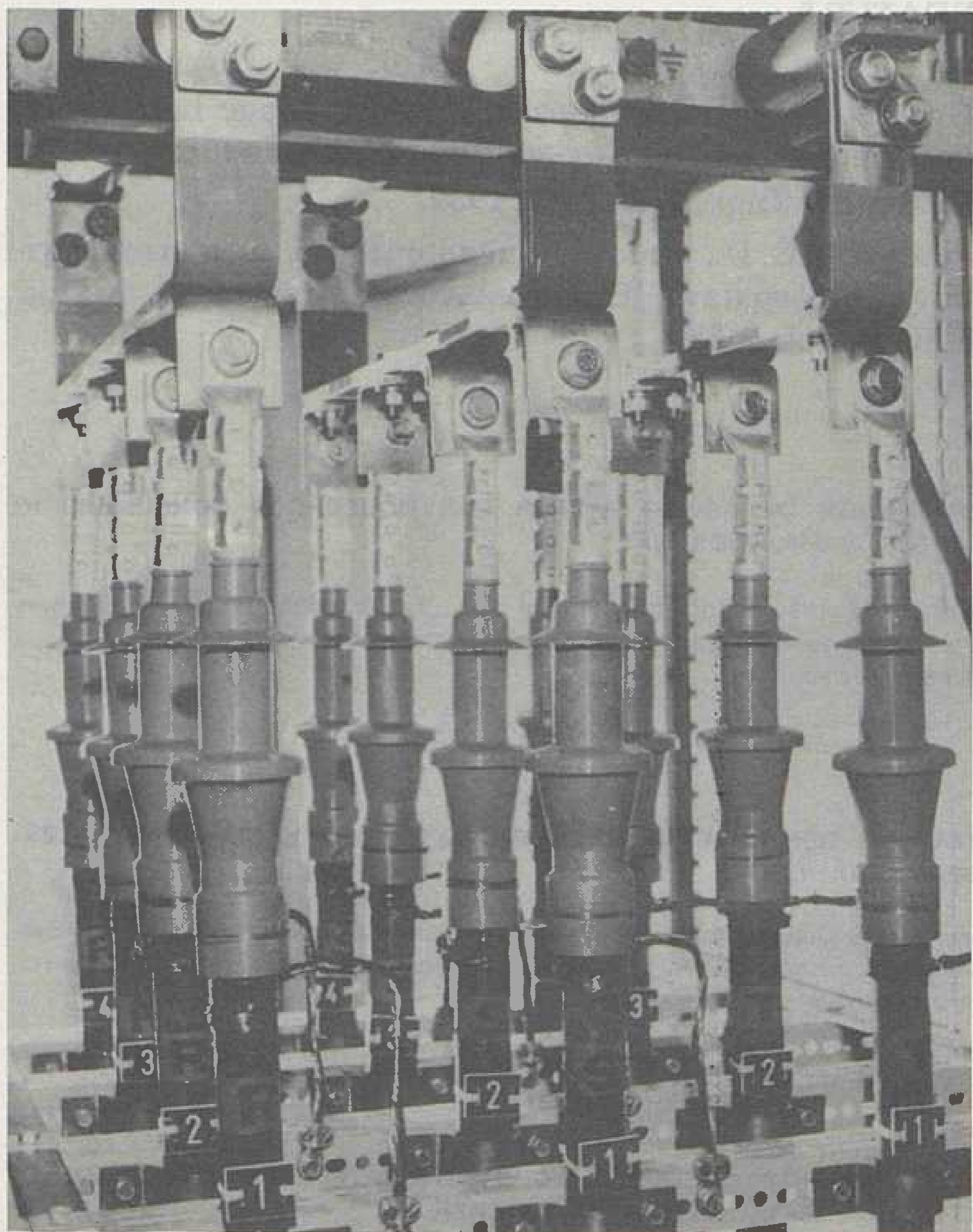
Naslov pisca:

**Damir Pečvarac, dipl. inž.**  
**Hrvatska elektroprivreda**  
**Proizvodnja, prijenos i**  
**distribucija**  
**54000 Osijek,**  
**Šet. V. Vlahovića 1 a,**  
**Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1990 – 06 – 21.

# KABELSKE GLAVE IZ SILIKONA ZA UNUTARNJU MONTAŽU U TEHNICI NAVLAČENJA KGI 10, KGI 20, KGI 35

**40**  
**TEP**  
1949-1989



POSTROJENJE 110/20 kV TS — VOLOVČICA  
opremljeno s TEP-ovim silikonskim glavama

## Namjena

Kabelske glave KGI 10, KGI 20 i KGI 35 koriste se za završavanje jednožilnih kabela s izolacijom od PE-a, UPE-a i EPDM-a za unutarnju montažu. Primjenjive su za kabel s bakrenim i aluminijskim vodičima, te za kabele s grafitnim i ekstrudiranim slabovodljivim slojem.

## Izvedba

Kabelska glava je izrađena iz silikona dobrih električnih i mehaničkih osobina te velike otpornosti na puzne struje. U izolator je ugrađen dio za oblikovanje polja, a polje se oblikuje geometrijskim načinom.

## Montaža

Montaža kabelske glave je brza i jednostavna, a vrši se prema tvorničkoj uputi.

## Podaci za narudžbu

Kabelske glave isporučuju se kao slog od tri silikonska izolatora s priborom za montažu. U narudžbi navesti tipnu oznaku kabelske glave ili tip kabela, materijal i presjek vodiča.

NAZIVNI NAPON kV	TIP	MAKSIMALNI PRESJEK (mm <sup>2</sup> )	D (mm)	L (mm)	PROMJER PREKO IZOLACIJE (mm)
10	KGI 10/1	35-50	55	205	16-17,5
	KGI 10/2	70-95	55		19-20,5
	KGI 10/3	120-150	62		22-24
	KGI 10/4	185-240	62		25,5-28,5
	KGI 10/5	300	62		29,5-32
20	KGI 20/0	20-50	64,5	240	19-21,5
	KGI 20/1	70-95	70,5		23-24,5
	KGI 20/2	129-150	70,5		26-28
	KGI 20/3	185-240	78		29-32,5
	KGI 20/4	300	78		34-36,5
35	KGI 35/1	50-95	83	318	27,5-32
	KGI 35/2	120-185	83		32-38
	KGI 35/3	240-300	89,5		38-42

## ISPITIVANJE I ATESTIRANJE

Sav kabelski pribor ispitan je i atestiran u Institutu za elektroprivredu u Zagrebu, prema propisima VDE i IEC.

**tvornice elektrotehničkih proizvoda • zagreb**

41090 ZAGREB, Medarska 69 — Telefon: 041/156-522, Telex: 21361, Telefax: 041/156-539

**TEP**

# ASPEKTI RAZVOJA DISTANTNE ZAŠTITE

Prof. dr. Zijo Pašić — Fatim Imamović — mr. Jasna Pašić, Sarajevo

UDK 621.316.925.45

PREGLEDNI RAD

Razmatraju se kriteriji koje treba uzeti u obzir pri opredjeljivanju za razvoj distantne zaštite vodova. Definirani su i obrazloženi kriteriji izbora načina obrade signala, izbora oblika prorađne karakteristike, izbora tehnologije i principa poređenja, kao i izbora strukture sistema. Ukazano je na literaturu koja detaljno razmatra pojedine kriterije.

**Ključne riječi:** distantna zaštita, statička zaštita, digitalna zaštita.

## UVOD

Zahvaljujući razvoju elektroenergetskog sistema uopće, a takođe i razvoju poluvodičke komponentne baze, distantne zaštite su ušle u široku primjenu praktično na svim naponskim nivoima prenosa.

Zbog svoje brojnosti, kao i zbog činjenice da predstavljaju najsloženije zaštite u elektroenergetskom sistemu (EES), za proizvođače sekundarne opreme EES, ulazak u razvoj distantnih zaštita predstavlja ne samo znak profesionalne zrelosti nego i nužno upotpunjavanje asortimana i dohodovno opravdanu investiciju.

Ulazak u razvoj ujedno pretpostavlja i rješavanje niza pitanja, kao što su izbor načina obrade signala, definiranje prorađne karakteristike i definiranje tehnologije i principa poređenja, kao i izbor strukture sistema. Stoga će ovdje biti izneseni rezimei razmatranja provedenih u svakom od navedenih pitanja.

## IZBOR NAČINA OBRADNE SIGNALA

Način obrade signala neposredno definira vrstu strukture sistema. Ukoliko se promatranje i mjerenje ulaznih veličina vrši kontinuirano, za njihovu obradu se koriste elementi analogne elektronike, obrada signala je analogna i rezultirajuća struktura pripada tzv. »statičkim« zaštitama. Ukoliko se mjerenje ulaznih veličina vrši uzimanjem uzoraka u određenim trenucima vremena, za obradu ovih veličina koriste se elementi digitalne elektronike i rezultirajuća struktura pripada tzv. »digitalnim« zaštitama.

Pretežan dio zaštita, posebno distantnih zaštita, koje se danas nalaze u upotrebi, kao i najveći dio proizvodnog asortimana proizvođača zaštita, predstavljaju statičke zaštite.

Digitalne zaštite, sa svoje strane, predstavljaju posljednju generaciju u razvoju zaštita. Iako su digitalni algoritmi obrade signala dugo poznati, a neki al-

goritmi zaštita i ispitivani na strukturama velikih računara, intenzivan razvoj u ovoj oblasti datira od komercijalne pojave digitalnih poluvodičkih struktura vrlo visokog stepena integracija (VLSI), dakle od pojave mikroprocesora.

S obzirom na složenost (pa i cijenu) minimalne mikroprocesorski bazirane konfiguracije potrebne za realizaciju neke od funkcija zaštite, prirodno je da su proizvođači zaštite ocijenili kao opravdan pokušaj da se u ovoj tehnici prvenstveno realizira najsloženiji algoritam zaštite — distantna zaštita.

Rezultat ovih napora je više od hiljadu digitalnih distantnih zaštita do sada ugrađenih u pojedine objekte elektroenergetskog sistema u svijetu (procjena prema [1]).

U tome smislu, stiče se utisak da je pri ulasku u razvoj distantne zaštite jedino opravdano ulaziti u razvoj digitalne distantne zaštite.

S druge strane, uvidom u algoritme i u dobijene rezultate kod postojećih digitalnih distantnih zaštita, može se konstatovati da one sa stanovišta prorađne karakteristike i brzine djelovanja nisu ništa povoljnije od postojećih statičkih distantnih zaštita [2].

Istovremeno, hardver neophodan za realizaciju digitalne distantne zaštite može da prihvati i neke druge funkcije (npr. funkciju lokacije kvara ili funkcije i nekih drugih zaštita), što ozbiljno ugrožava konkurentnost rješenja koje sadrži samo digitalnu distantnu zaštitu.

Stoga se može zaključiti da je orijentacija na razvoj digitalne distantne zaštite tehnički i ekonomski opravdana prvenstveno u slučajevima kada se u isti hardver zalažu i neke druge, informaciono ili objektno srodne funkcije.

Pri tome ne treba zaboraviti da digitalni princip obrade signala pruža jedinstvenu mogućnost trajnog samoispitivanja (tkz: selfchecking) i trenutnog otkri-

vanja kvara unutar strukture zaštite, što znatno podiže raspoloživost\* (engl: availability) zaštite.

Ova osobina nije prirodna ni elektromehaničkim ni statičkim sistemima zaštite.

Statičke zaštite, međutim, pokazuju neke druge prednosti. Uz sopstveno vrijeme jednako sopstvenom vremenu digitalnih zaštita, ovdje je potrebna količina, hardvera proporcionalna količini založenih funkcija. Koristeći poluvodičke analogne i digitalne komponente srednjeg (MSI) i visokog stepena integracije (LSI), rezultirajuće statičke distantne zaštite su stoga konkurentne na tržištu, te je ulazak u njihov razvoj tehnički i ekonomski opravdan.

Najzad, zahtjev da se na visokonaponskoj prenosnoj mreži (450 kV, u SFRJ) koriste po dvije distantne zaštite u redundantnom\*\* spoju, pri čemu se radi povećanja pouzdanosti zahtijeva da zaštite budu od raznih proizvođača, zasnovane na različitim principima i po mogućnosti izvedene u različitim tehnologijama, opravdava angažovanje proizvođača na razvoju one distantne zaštite koja mu u proizvodnom programu nedostaje (ili statičke ili digitalne ili — obje!).

## IZBOR PRORADNE KARAKTERISTIKE

Oblik proradne karakteristike distantne zaštite određen je prvenstveno sistemotehničkim zahtjevima i za datu mrežu uzrokovan je mogućim položajima vektora impedance voda u kvaru u kompleksnoj ravni.

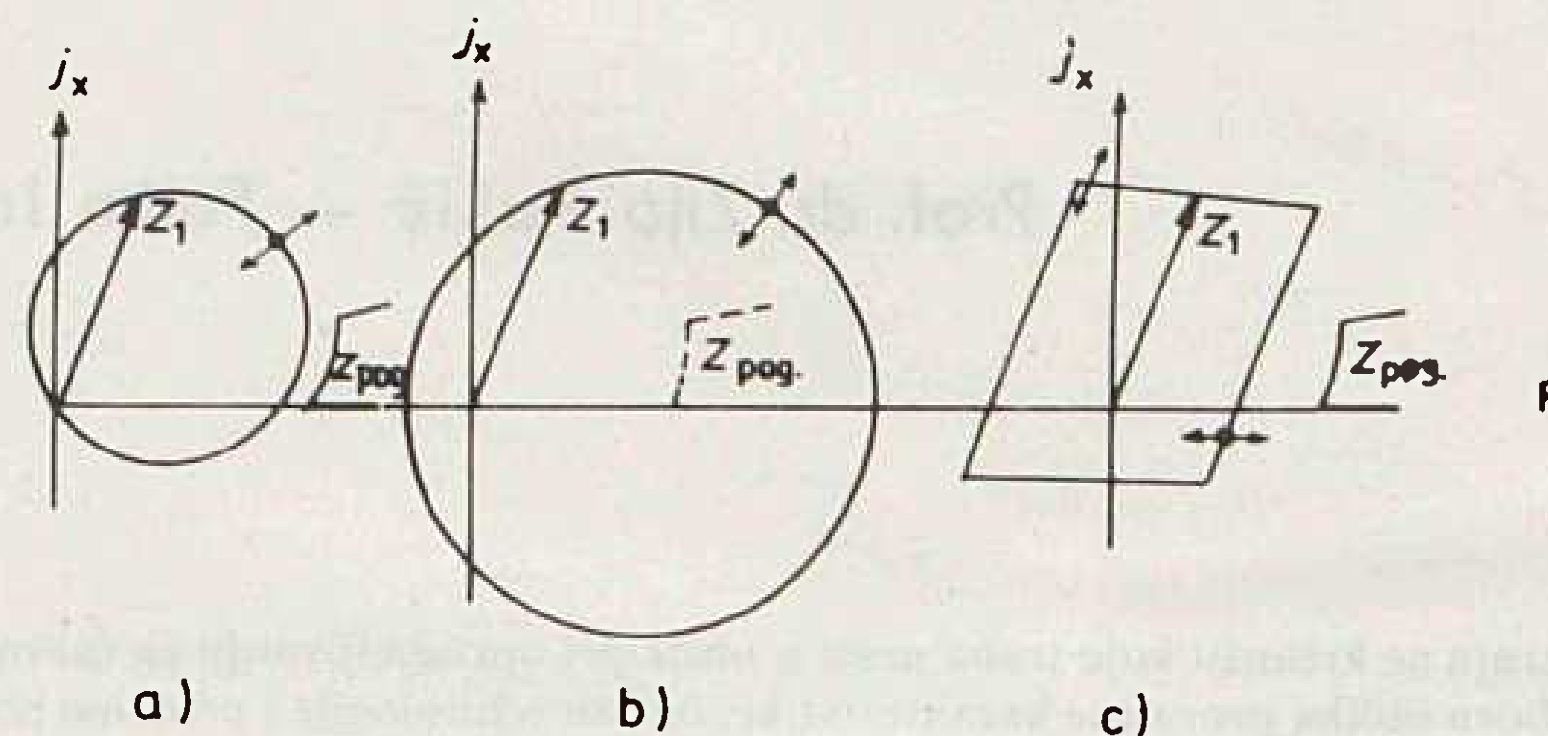
Proradna karakteristika pri tome mora da zadovolji sljedeće zahtjeve:

- da obuhvati vektor impedance šticeog voda, u slučaju kvara
- da ne obuhvati vektor impedance šticeog voda kada je kvar van štice zone
- da ne obuhvati pogonsku impedancu voda
- da se u slučaju pojave nihanja prividna impedanca što kraće vremena nalazi unutar proradne zone
- da zadovoljava zahtjeve na dužinu voda.

Različiti tipovi proradnih karakteristika u različitoj mjeri zadovoljavaju postavljene zahtjeve. Ovo je ilustrirano slikama 1 do 4, na kojima su predstavljeni najčešći oblici proradnih karakteristika i lokacije impedance kvara ( $Z_{mj}$ ) i pogonske impedance ( $Z_{pog.}$ ), prividne impedance u slučaju njihanja u sistemu, te impedance kvara u slučaju dugih vodova [3].

Ako pretpostavimo da ne postoji prelazni otpor na mjestu kvara, te da impedanca kvara ima iznos i fazni položaj predstavljen slikom 1, vidi se da je modifi-

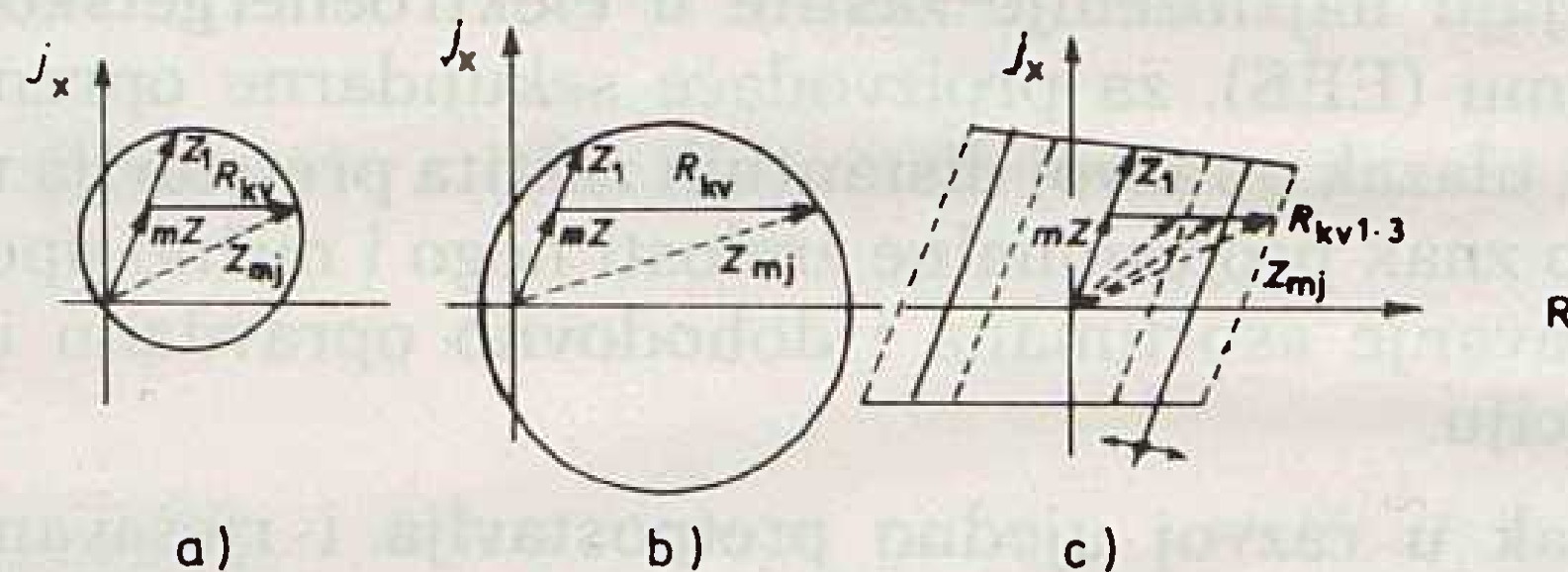
cirano impedantna proradna karakteristika (označena sa »b«, na slikama 1 do 4) neprihvatljiva, jer obuhvata i područja pogonske impedance. Admitantna karakteristika (označena sa »a« na slikama 1. do 4) obezbjeđuje zadovoljavajuće šticeenje jer su područja impedance u slučaju kvara i u slučaju normalnog pogona jasno razgraničena i odvojena.



Slika 1.

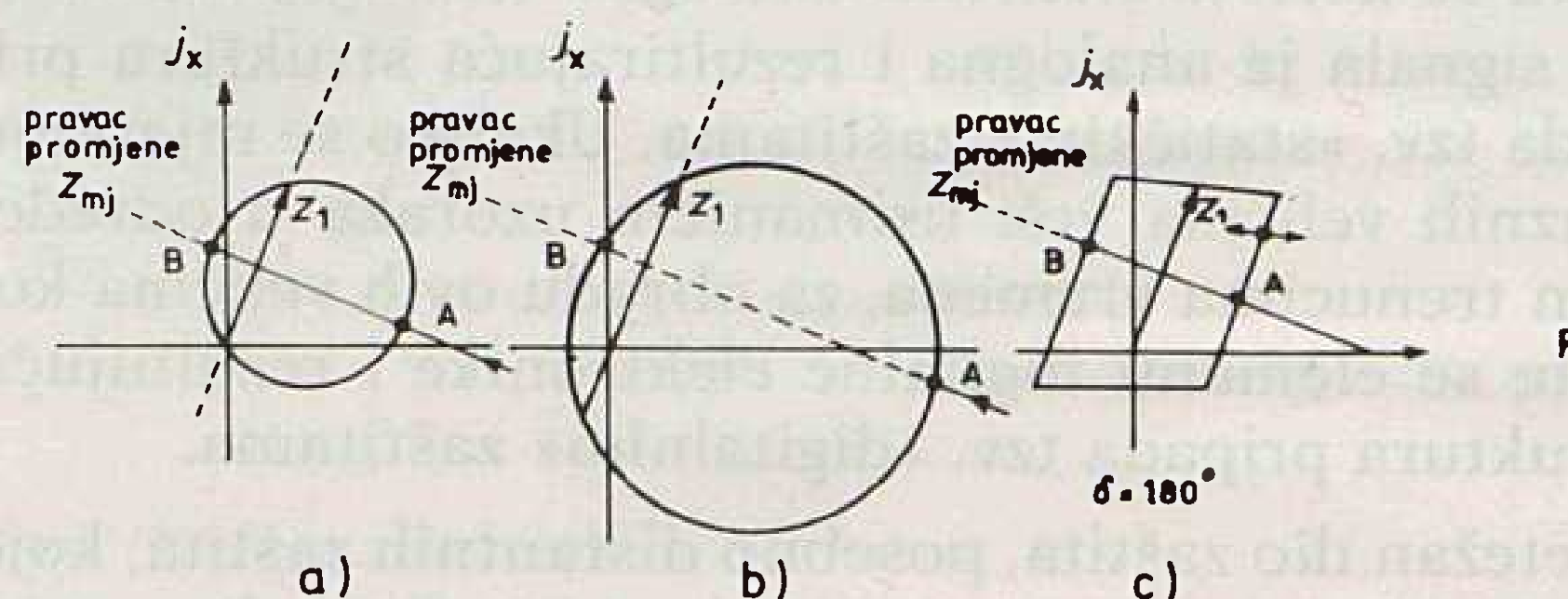
Poligonalna proradna karakteristika (označena sa »c« na slikama 1 do 4) još je povoljnija jer je područje impedance u normalnom pogonu još udaljenije od područja prorade.

Ako postoji ulazni otpor na mjestu kvara (sl. 2), onda je admitantna proradna karakteristika sasvim neprihvatljiva, modificirana impedantna karakteristika zadovoljava ukoliko u višim stupnjevima ne dođe do izražaja uticaj opterećenja voda, dok je najpovoljnija — poligonalna proradna karakteristika.



Slika 2.

Vrijeme tokom koga se u slučaju njihanja prividna impedanca može naći unutar zone proradne ilustrirano je slikom 3 (za slučaj sistema sa dva izvora čiji su naponi jednaki po iznosu, a različiti po faznom uglu). Ako su sve tri proradne karakteristike formirane tako da obuhvataju isto područje impedance u slučaju kvara, očito je da je poligonalna proradna karakteristika »najuža« i stopa najpodesnija, jer je vrijeme tokom, koga se prividna impedanca može nalaziti unutar nje najkraće.



Slika 3.

Najzad, od sve tri karakteristike predstavljene slikom 4, za zaštitu dugih vodova opet je najpodesnija poligonalna proradna karakteristika, iako u nekim slučajevima, zadovoljavajući rezultati mogu biti po-

\* Raspoloživost  $R$  (u anglosaksonskoj literaturi označavana sa  $A$ ) definirana je kao odnos

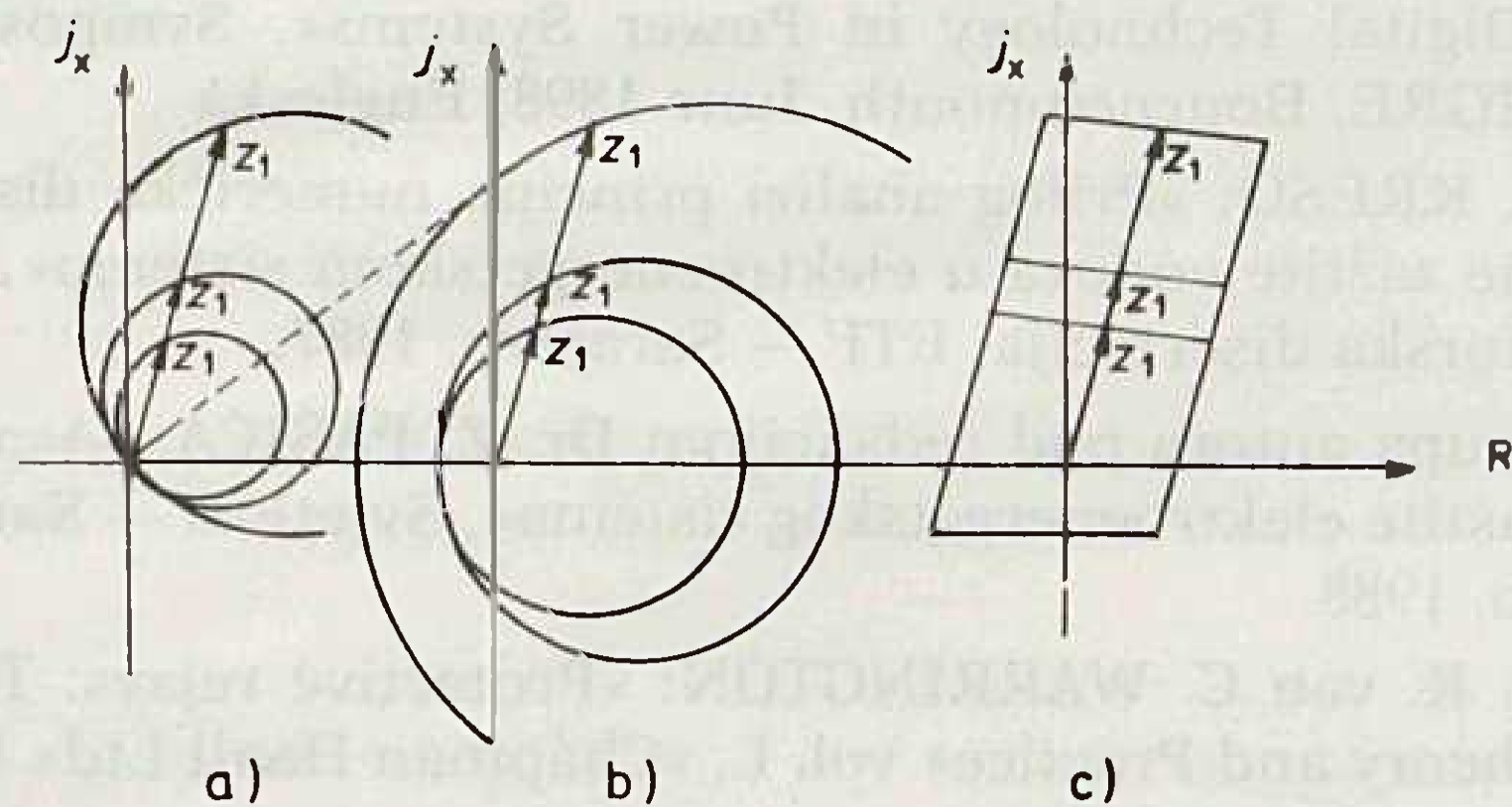
$$R = \frac{T_i}{T_i + T_k} \text{ gdje je}$$

$T_i$  — vrijeme tokom koga je oprema u pogonu u ispravnom stanju

$T_k$  — vrijeme tokom koga je zbog kvara, rutinskog ili korektivnog održavanja oprema van pogona.

\*\* Pod redundantnim spojem zaštita razumijeva se da su obje zaštite »glavne«, da su jednako podešene, a u slučaju kvara isključenje pripadnog prekidača izvršiti će ona zaštita koja proradi brže. Svaka od zaštita uzima informacije sa »svojih« sekundara mjernih transformatora, svaka djeluje na »svoj« svitak za isključenje prekidača i svaka se napaja s posebne AKU-baterije.

stignuti i korištenjem admitantne proradne karakteristike.



Slika 4.

Iz razmotrenih primjera proizlazi da jedino poligonalna proradna karakteristika u cijelosti zadovoljava sve postavljene zahtjeve. To je ujedno i jedini oblik proradne karakteristike koji omogućava da se doseg po  $x$  osi podešava potpuno neovisno o dosegu po  $R$  osi, što omogućava veoma dobro prilagođavanje proradne karakteristike šticećenom objektu.

Otuda se pri izboru proradne karakteristike distantne zaštite nesumnjivo treba opredijeliti za poligonalnu proradnu karakteristiku.

#### IZBOR TEHNOLOGIJE I PRINCIPA POREĐENJA

Pored generacijske i tehnološki prevladanih realizacija na bazi elektromehaničke tehnologije, već i samo opredjeljenje za razvoj distantne zaštite, sa poligonalnom proradnom karakteristikom eliminira mogućnost njene realizacije u ovoj tehnologiji.

Naime, elektromehaničke komponente relativno jednostavno realiziraju kružne (i na bazi kružnice formirane) proradne karakteristike [4].

Drugi oblici proradnih karakteristika manje su podnesni za ovakvu realizaciju. Stoga je očito da je distantnu zaštitu s poligonalnom proradnom karakteristikom opravdano realizirati na bazi elektroničkih poluvodičkih komponenata, dakle bilo u formi distantne zaštite sa digitalnom obradom signala (tzv: digitalne distantne zaštite), bilo u formi distantne zaštite sa analognom obradom signala, (tzv: statičke distantne zaštite).

U slučaju opredjeljenja za razvoj digitalne distantne zaštite, identifikaciju mjesta kvara zaštita vrši računanjem impedance voda pogođenog kvarom i poređenjem njene imaginarne i realne vrijednosti sa zadanim granicama.

Preko dvadeset pet, poznatih algoritama za računanje impedance voda u kvaru, općenito se mogu svrstati u dvije grupe. Jedna grupa metoda na osnovu uzetih uzoraka napona i struje računa otpor  $R$  i induktivitet  $L$  oštećene dionice, dok druga grupa metoda, na osnovu uzetih uzoraka napona i struja proračunava  $U$ ,  $I$  i fazni kut, te na osnovu toga računa impedancu oštećene dionice.

Iako se po kriterijima vrednovanja algoritama (potreban broj uzoraka, oscilatornost rezultata, osjetljivost na promjene parametara...) ne može izdvojiti jedan algoritam kao optimalan (to prije što ni uslovi

njihovog vrednovanja nisu nigdje standardno definirani), više algoritama pokazuje prihvatljive rezultate, te se mogu upotrijebiti kao algoritmi digitalne distantne zaštite [2].

S obzirom na način zadavanja u digitalnoj strukturi, realizacija bilo koga oblika proradnih karakteristika (pa ni poligonalne!) ne predstavlja poseban problem. U slučaju opredjeljenja za razvoj statičke distantne zaštite, o položaju impedance oštećene dionice u odnosu na proradnu karakteristiku sudi se na osnovu poređenja dvaju izvedenih veličina  $S_1$  i  $S_2$ :

$$S_1 = k_1 U + k_3 I$$

$$S_2 = k_2 U + k_4 I,$$

gdje su  $U$  i  $I$  napon i struja oštećene dionice, a  $k_1$  do  $k_4$  dimenzione konstante. Budući da su  $S_1$  i  $S_2$  kompleksne veličine, njihovo poređenje je moguće vršiti po amplitudi ili po fazi. Razmatranja pokazuju da je amplitudnom komparacijom (i korištenjem samo jednog komparatora) moguće realizirati proradnu karakteristiku samo u obliku pravca ili u obliku kružnice, dok fazna komparacija (korištenjem samo jednog komparatora), pored ovih omogućava i dobijanje lomljene proradne karakteristike [5].

Fazna komparacija, dakle, pruža mogućnost jednostavnijeg realiziranja dosega po  $x$  osi i po  $R$  osi, poligonalne proradne karakteristike, te ju je potrebno koristiti pri realizaciji statičke distantne zaštite. (»Donja« granica poligonalne proradne karakteristike pri tome je definirana podešenjem brzog smjernog člana).

#### ASPEKTI STRUKTURE SISTEMA

U dosadašnjim strukturama distantnih zaštita broj korištenih mjernih sistema određivao je strukturu same zaštite. Otuda su u skladu sa zahtjevima konkretnog šticećenog objekta korištene jednosistemske ili višesistemske distantne zaštite.

U ovisnosti od korištenog principa obrade signala, aspekti opredjeljenja za razvoj jednosistemske ili višesistemske distantne zaštite unekoliko se razlikuju. Da bi mogle izvršiti korektna mjerenja, digitalne distantne zaštite uzimaju uzorke o ulaznim veličinama (strujama i naponima) u istim trenucima vremena, memoriraju ih unutar svoje strukture (na sample and hold kolima) i na osnovu tih vrijednosti mogu da formiraju i ostale veličine potrebne za računanja impedanci određenih petlji (npr. od faznih struja formiraju i linijske struje itd.).

Nakon toga, a u intervalu između uzimanja dvaju uzastopnih uzoraka, jedan te isti mjerni organ može da se uzastopno priključuje sa jednog para ulaznih veličina na drugi (npr. sa napona faze  $R$  i struje faze  $R$ , na napon faze  $S$  i struju faze  $S$  itd.) i računa impedancu svake od promatranih petlji. Time je moguće uvijek promatrati svih šest mogućih petlji kvara. Ako se za realizaciju strukture odaberu dovoljno brze poluvodičke integrirane, komponente (mikroprocesor i ostale), rezultujuća struktura će se ponašati kao višesistemska distantna zaštita (kratko vrijeme prorade

za sve vrste kvarova i nepostojanje pobudnog organa) iako ima samo jedan »mjerni« sistem.

Otuda je pri razvoju digitalne distantne zaštite uputno koristiti ovaj pristup.

Kod statičkih distantnih zaštita složenost strukture direktno zavisi od upotrijebljenog broja mjernih sistema.

Pošto je cijena zaštite proporcionalna složenosti njezine strukture, ekonomski razlozi uvjetuju široku upotrebu jednosistemskih zaštita gdje god to uslovi (vrijeme djelovanja) u elektroenergetskom sistemu dozvoljavaju.

Otuda je sa komercijalnog stanovišta razvoj jednosistemskih zaštita potpuno opravdan.

S tehničkog aspekta, u strukturi jednosistemске distantne zaštite se javljaju praktički sve funkcije koje postoje kod višesistemskih zaštita (osim npr. blokade prorade zdravih faza), ali i neke funkcije koje kod višesistemskih zaštita ne postoje (pobudni organ, selektor mjernih veličina ...).

Zato razvoj jednosistemске statičke distantne zaštite rezultuje ne samo u tehnički i ekonomski opravdanom proizvodu nego generira i široki spektar funkcija podesnih i za formiranje različitih tipova višesistemskih distantnih zaštita.

## ZAKLJUČAK

Provedena razmatranja pokazala su opravdanost razvoja kako statičkih, tako i digitalnih distantnih zaštita omogućuje obuhvatanja i nekih drugih funkcija, što značajno utiče na cijenu ukupnog rješenja. Isti oblik prorađne karakteristike, veoma približna sopstvena vremena i praktički ista pouzdanost (budući da obje vrste zaštita koriste tehnološki istovrsne komponente (analogne i digitalne MSI, LSI i VLSI krugove), u potpunosti opravdaju upotrebu i statičkih i digitalnih distantnih zaštita u elektroenergetskom sistemu.

Digitalne zaštite pri tome pružaju mogućnost permanentnog samoispitivanja i podesniju komunikaciju unutar hijerarhijski organiziranog digitalnog sistema zaštite i upravljanja, dok statičke zaštite pokazuju tehničko-ekonomsku prednost ako se radi samo o zadovoljavanju funkcija distantne zaštite.

## LITERATURA

- [1] »Digital Technology in Power Systems«, Symposium CIGRE, Bourneumouth, June 1898, Engleska
- [2] S. KRESO: »Prilog analizi principa numeričke distantne zaštite vodova u elektroenergetskom sistemu«, Doktorska disertacija, ETF — Sarajevo, 1987.
- [3] Grupa autora pod redakcijom Dr. Z. PAŠIĆA: »Aspekti zaštite elektroenergetskog sistema«, Svjetlost — Sarajevo, 1988.
- [4] A. R. van C. WARRINGTON: »Protective relays: Their Theory and Practice« vol. I., »Chapman Haall Ltd« London, 1974.
- [5] M. AHIĆ-ĐOKIĆ: »Pristup sintezi strukture distantnog mjernog člana«, Magistarski rad, ETF — Sarajevo, 1985.

### DISTANCE PROTECTION DEVELOPMENT ASPECTS

The paper discusses criteria which have to be considered when deciding about the development of the line distance protection. The criteria enabling the choice of signal processing principle, form of the operating characteristics, of the technology and of the principle of comparison, as well as of the system structure are defined and presented. The literature offering deeper insight is referenced.

### ASPEKTE DER ENTWICKLUNG DES DISTANTEN SCHUTZES

In der Arbeit behandelt man Kriterien die man bei der Entscheidung für den distanten Leitungsschutz beachten muß. Die Kriterien der Auswahl der Signalbearbeitung wurden definiert und begründet, sowie die Auswahl der Arbeitscharakteristiken, die Auswahl der Technologie und das Prinzip des Vergleiches, sowie die Auswahl der Systemstrukturen. Es wird auch auf die Literatur welche ins Detail die einzelnen Charakteristiken behandelt aufmerksam gemacht.

### АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

В работе рассматриваются критерии, необходимые учитывать при определении развития дистанционной защиты проводов. Определены и обоснованы критерии выбора способа обработки сигналов, выбора видов характеристики действия, выбора технологии и принципов сравнения, а также и выбора структуры системы. Указана литература, подробно рассматривающая взятые в отдельности критерии.

Naslov pisaca:

**Prof. dr. Zijo Pašić, dipl. inž.**  
**Fatim Imamović, dipl. inž.**  
**Tvornica sekundarne opreme —**  
**Energoinvest**  
**Mr. Jasna Pašić, dipl. inž.**  
**Elektrotehnički fakultet**  
**Sarajevo,**  
**71000 Sarajevo, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:  
 1990-06-06



# SKLOPNE POJAVE

Rusmir Mahmutćehajić, Osijek — Silvio Hajdin, Belišće

UDK 621.3.064

STRUČNI RAD

Članak se bavi razmatranjem sklopnih pojava pri nekim karakterističnim pogonskim slučajevima u električnim mrežama visokog napona. Na osnovi različitog utjecaja pojedinih komponenti mreža razmotreno je sklapanje kratkih spojeva s aspekta mrežne te prirodne frekvencije, sklapanje pri različitim uvjetima opterećenja i sklapanje reaktivnih struja.

**Ključne riječi:** sklapanje, prekidači, kratki spoj, mrežna frekvencija, prirodna frekvencija, prijelazni povratni napon.

## 1. UVOD

Polazeći od zahtjeva koje treba ispuniti prekidač pri sklapanju u električnim mrežama, kao jedan od preduvjeta uspješne primjene prekidača nameće se utvrđivanje uzajamnosti parametra prekidača i mreže u kojoj se vrši sklapanje. Ta će uzajamnost u toku prijelaznog razdoblja bitno utjecati na oblik i veličinu napona na kontaktima prekidača te, u određenoj mjeri, struje koja protječe krugom do okončanja prijelaznog perioda.

Nadovezujući se na razmatranja procesa u električnom luku [1], ovaj rad ima namjeru dati pregled sklopnih pojava pri karakterističnim pogonskim slučajevima, s posebnim naglaskom na naponske prilike u toku razdoblja sklapanja u uvjetima mrežne i prirodne frekvencije.

## 2. SKLAPANJE KRATKIH SPOJEVA S ASPEKTA MREŽNE FREKVENCije

### 2.1. Sklapanje trolejnog kratkog spoja

Budući da pri trolejnom kratkom spoju struje u svakoj od tri faze prolaze kroz nultu vrijednost u različitim trenucima, odvajanje od mjesta kvara bit će provedeno određenim redoslijedom.

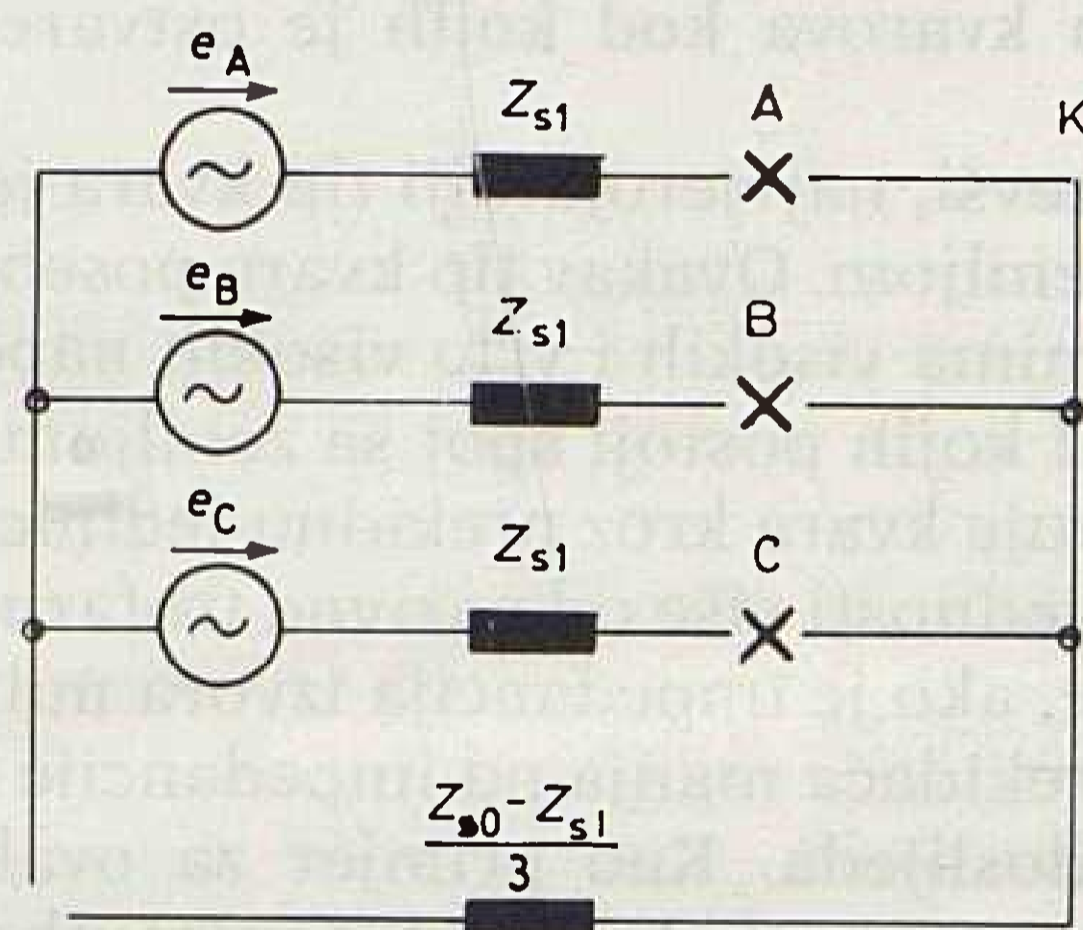
Osnovom primjene teorije simetričnih komponenata i upotrebom redosljednih impedancija, analiza ovakvog pogonskog slučaja može se provesti na zadovoljavajući način. Slika 1. pokazuje ekvivalentni krug izvora koji napaja trolejni kratki spoj kroz prekidač.

Pretpostavlja se da je impedancija izvora negativnog redoslijeda jednaka impedanciji izvora pozitivnog redoslijeda, što vrijedi za energetski sistem koji se sastoji uglavnom od statičkih postrojenja, a približno vrijedi za rotaciona postrojenja kroz kratko vrijeme za koje prekidač isključuje kvar.

Napon na polu koji se prvi otvara, pretpostavimo A, bit će  $\langle 2 \rangle$ :

$$E_a \left[ \frac{3Z_{s0}}{2Z_{s0} + Z_{s1}} \right] \quad (1)$$

Pri trolejnom kratkom spoju u kruto uzemljenom sistemu, kada je  $Z_{s0} = Z_{s1}$ , povratni napon jednak je vrijednost  $E_a$ . Za sistem sa izoliranom nul-točkom, tj. kod  $Z_{s0} \gg Z_{s1}$ , ili kada je trolejni kratki spoj bez spoja sa zemljom, povratni napon poprima vrijednost  $1,5 E_a$ .



Slika 1. Ekvivalentni krug za određivanje povratnog napona mrežne frekvencije\*

Napon na polu koji se otvara drugi, pretpostavimo B, bit će (2):

$$\sqrt{3} E_a \frac{\sqrt{Z_{s1}^2 + Z_{s0} Z_{s1} + Z_{s0}^2}}{2Z_{s1} + Z_{s0}} \quad (2)$$

Pri trolejnom kratkom spoju u kruto uzemljenom sistemu, kada je  $Z_{s0} = Z_{s1}$  povratni napon jednak je vrijednosti  $E_a$ . Za sistem sa izoliranom nul-točkom

\* POVRATNI NAPON (engl. recovery voltage, franc. tension de retablissement, rus. vosstanavlivajuščeesja naprižajenie, njem. wiederkehrende Spannung): napon koji se pojavljuje između priključnica pola sklopnog aparata poslije prekidanja struje. (JUS N. AO. 441, termin 2, točka 7.25)  
POVRATNI NAPON MREŽNE FREKVENCije (eng. power frequency recovery voltage, franc. tension de retablissement a frequence industrielle, rus. vozvraščajuščeesja naprižajenie promišljenoj častoti, njem. betriebsfrequente wiederkehrende Spannung) povratni napon poslije nestanka prijelazne pojave. (JUS N. AO. 441, termin 2, točka 7.27)

ili kada je tropolni kratki spoj bez spoja sa zemljom, povratni napon poprima vrijednost  $\sqrt{3} / Ea$ .

U ovom slučaju pol C mora prekinuti istovremeno sa polom B jer kroz njih protječe ista struja. Za ovaj slučaj bit će dakle povratni napon po polu vrijednosti  $\sqrt{3} / 2Ea$ .

Za kvar koji uključuje i zemlju, napon na polu C, ako se ovaj ne otvori istovremeno sa polom B, poprima vrijednost  $Ea$ , jer je u tom trenutku to jedini aktivni napon kruga.

## 2.2. Sklapanje nesimetričnog kratkog spoja

Primjena teorije simetričnih komponenti znatno olakšava proračun povratnog napona mrežne frekvencije pri nesimetričnom kratkom spoju jer se faze impedancije i naponi mreže, promatrani iz mjesta kvara, mogu raščlaniti na simetrične veličine. Budući da je ovaj uvjet gotovo sasvim točan, na toj osnovi može se odrediti povratni napon mrežne frekvencije na prekidaču.

Kod svih naesimetričnih kvarova u sistemima s kruto uzemljenom nul-točkom, kod kojih je ostvaren i spoj sa zemljom, povratni napon mrežne frekvencije u fazi sa kvarom jednak je maksimalnom faznom naponu  $E$ . Kod međufaznog kratkog spoja povratni napon mrežne frekvencije na svakoj od dvije faze s kvarom poprima vrijednost  $\sqrt{3}/2 E$ , jer postoji visoka vjerojatnost istovremenog otvaranja kako kod međufaznih kvarova bez spoja sa zemljom, tako i kod međufaznih kvarova kod kojih je ostvaren spoj sa zemljom.

Općenito uzevši, najvjerojatniji tip kvara je spoj jedne faze sa zemljom. Ovakav tip kvara posebno je izražen u sistemima visokih i vrlo visokih napona.

Kvarovi kod kojih postoji spoj sa zemljom mogu uzrokovati struje kvara kroz prekidnu jedinicu koje poprimaju vrijednosti više od nazivne trofazne kratkospojne struje, ako je impedancija izvora nultog redoslijeda iza prekidača manja od impedancije izvora pozitivnog redoslijeda. Kao primjer za ovakav slučaj može se navesti prekidač na generatorsko-transformatorskoj jedinici, gdje je transformator spojen u trokut na generatorskoj strani i uz zvijezdu na visokonaponskoj strani. U ovakvom se krugu ukupna impedancija izvora pozitivnog redoslijeda sastoji od impedancije generatora i impedancije transformatora, dok impedanciju izvora nultog redoslijeda čini samo impedancija namota transformatora spojenog u zvijezdu. To rezultira prekidnom strujom kod bliskih dozemnih spojeva oko 20–30% većom od one za jednako lociran tropolni kratki spoj.

## 2.3. Utjecaj uzemljenja nul-točke

Izbor metode uzemljenja energetskog sistema ovisi o tipu i naponu sistema te načinu na koji se želi kontrolirati struja kratkog spoja. Na osnovi toga, kao najčešći tipovi uzemljenja pojavljuju se kruto uzemljenje, reaktivno uzemljenje, uzemljenje preko otpornika i uzemljenje preko Petersonove prigušnice.

Primjerice, priključak impedancije u nul-točke transformatora u znatnoj mjeri određuje tok struje pri

asimetričnom kratkom spoju kod kojeg je ostvarena i veza sa zemljom. Odabir načina uzemljenja neutralne točke ne samo da određuje struju kratkog spoja već utječe i na faktor snage pri struji kratkog spoja.

## 3. SKLAPANJE KRATKIH SPOJEVA S ASPEKTA PRIRODNE FREKVENCije

Analiza sklapanja kratkih spojeva s aspekta prirodne frekvencije kruga u kome se vrši sklapanje, za razliku od one navedene u poglavlju 2, uzima u obzir i prijelazni povratni napon\*, njegovu brzinu porasta i amplitudu. Utjecaj tih parametara među najznačajnijima je pri razmatranju složenosti zahtjeva koje mora ispuniti prekidač u operacijama sklapanja.

### 3.1. Prijelazni povratni napon

Osnovni parametri u razmatranju prijelaznog povratnog napona jesu (2):

- frekvencija povratnog napona tokom prijelaznog razdoblja,
- amplituda povratnog napona tokom prijelaznog razdoblja,
- konstanta prigušenja kruga.

#### 3.1.1. Frekvencija povratnog napona tokom prijelaznog razdoblja

Određivanje frekvencije prijelaznog povratnog napona otežano je činjenicom što je u većini praktičnih slučajeva, ukupni prijelazni povratni napon ustvari suma dvaju prijelaznih povratnih napona pridružena svakoj strani prekidača. Svaki od ta dva napona općenito ima drugačiju frekvenciju određenu parametrima strane kruga kojoj pripada. U tom smislu, prvo će, radi jednostavnosti, biti razmotrene jednofrekventne prijelazne pojave povratnog napona a zatim i dvofrekventne.

Jednofrekventne prijelazne pojave povratnog napona

Neka kao primjer posluži električni krug pokazan na sl. 2.

Napon izvora bit će  $<2>$

$$e = E \cos \omega_s t, \quad (3)$$

gdje je

$e$  — trenutna vrijednost napona

$E$  — vršna vrijednost generiranog napona mrežne frekvencije

\* PRIJELAZNI POVRATNI NAPON (skraćeno PPN) (engl. transient recovery voltage <abbrev. TRV>, franc. tension transitoire de retablissement <en abbreviation: TTR>, rus. perehodnoe vosstanovlivajuščeesja naprijaženie <PVN>, njem. Einschwingspannung): Povratni napon u vremenskom intervalu u kojem ima vidljiv prijelazni karakter.

Napomene:

- Prijelazni napon može biti oscilatoran i neoscilatoran ili kombinacija jednog i drugog ovisno o karakteristikama kruga i sklopnog aparata. On obuhvaća i pomak neutralne točke u višefaznom strujnom krugu.
- Ako se drugačije ne odredi u standardima za sklopne aparate prijelazni povratni napon trofaznog strujnog kruga je napon između priključnica pola koji prvi prekida, jer je taj napon obično viši od napona koji se javlja između priključnica ostalih dvaju polova.  
(JUS N. A0.441, termin 2, točka 7.26)

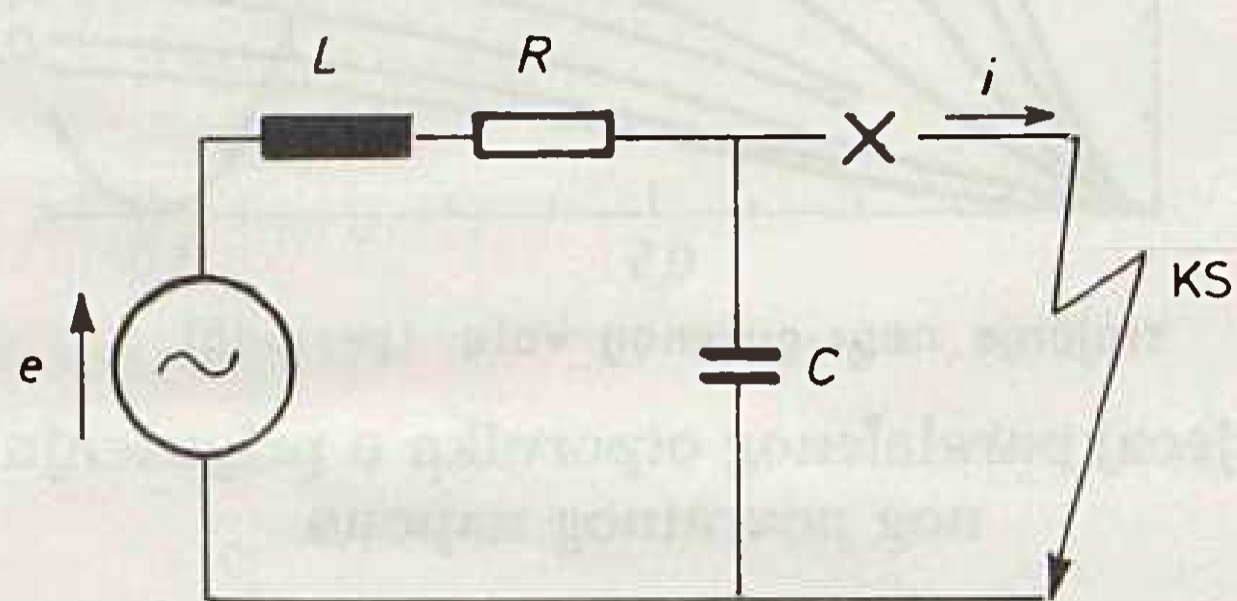
$\omega_s$  — kutna brzina mrežne frekvencije sistema  
 $t$  — vrijeme.

Uz pretpostavku da je  $\omega_s \gg R$ , dok je prekidač uklonjen bit će

$$i = \frac{E}{\omega_s L} \sin \omega_s t, \quad (4)$$

što predstavlja početne uvjete u krugu. Neposredno nakon otvaranja kontakata prekidača naponske prilike u krugu bit će

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt = E \cos \omega_s t. \quad (5)$$



Slika 2. Ekvivalentni krug za razmatranje jednofrekventne prijelazne pojave

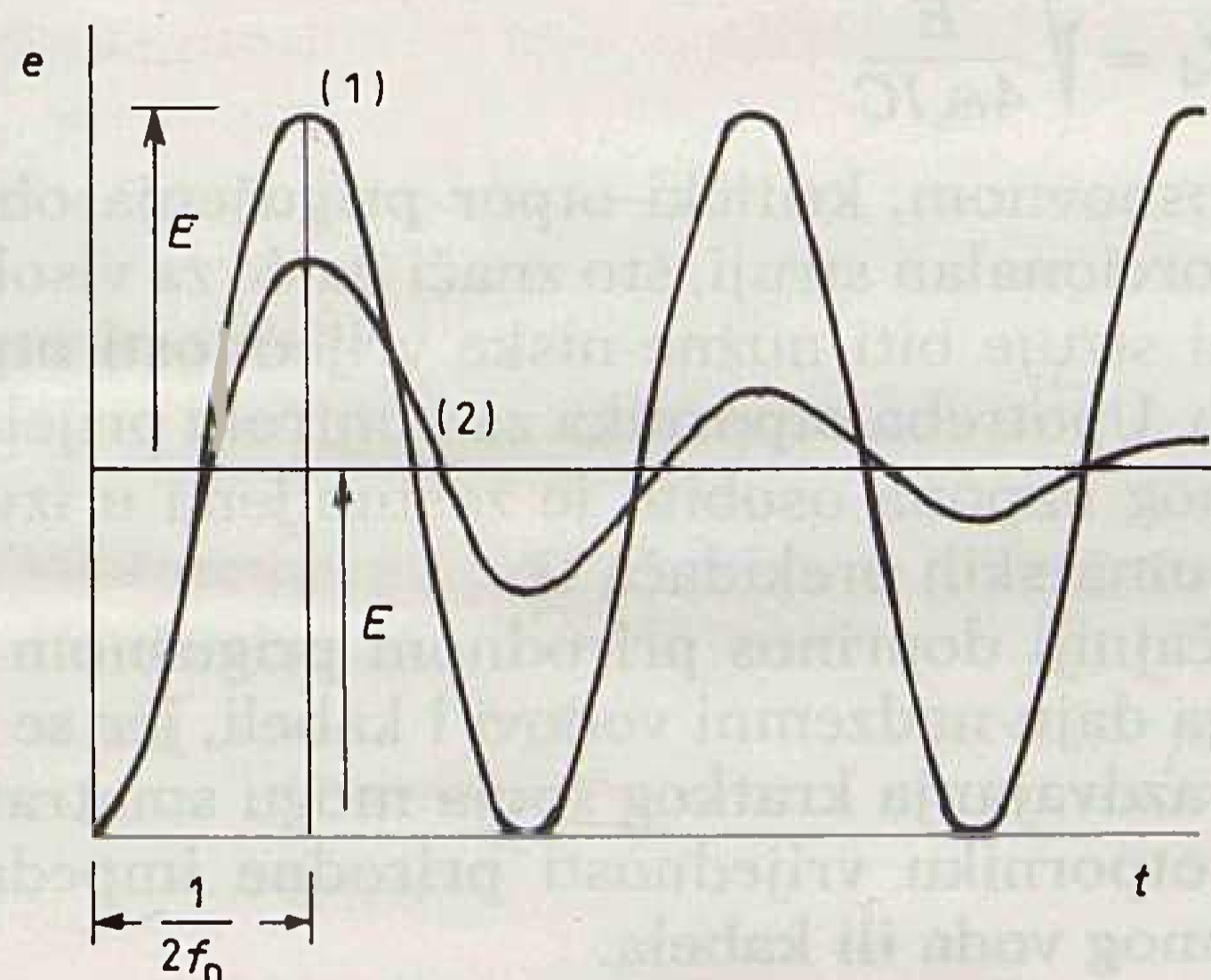
Rješavanjem jednadžbe 5 može se doći do izraza za povratni napon na prekidaču:

$$e' = E \left[ \cos \omega_s t - \exp\left(\frac{-Rt}{2L}\right) \cos \omega_s t \right], \quad (6)$$

gdje je

$$\omega_n = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \text{ kutna brzina prirodne frekvencije.}$$

Ako se pretpostavi  $R = 0$ , tj. krug bez prigušenja, na osnovi jednadžbe (6) dobit će se krivulja jednostavne jednofrekventne prijelazne pojave povratnog napona (slika 3, krivulja 1).



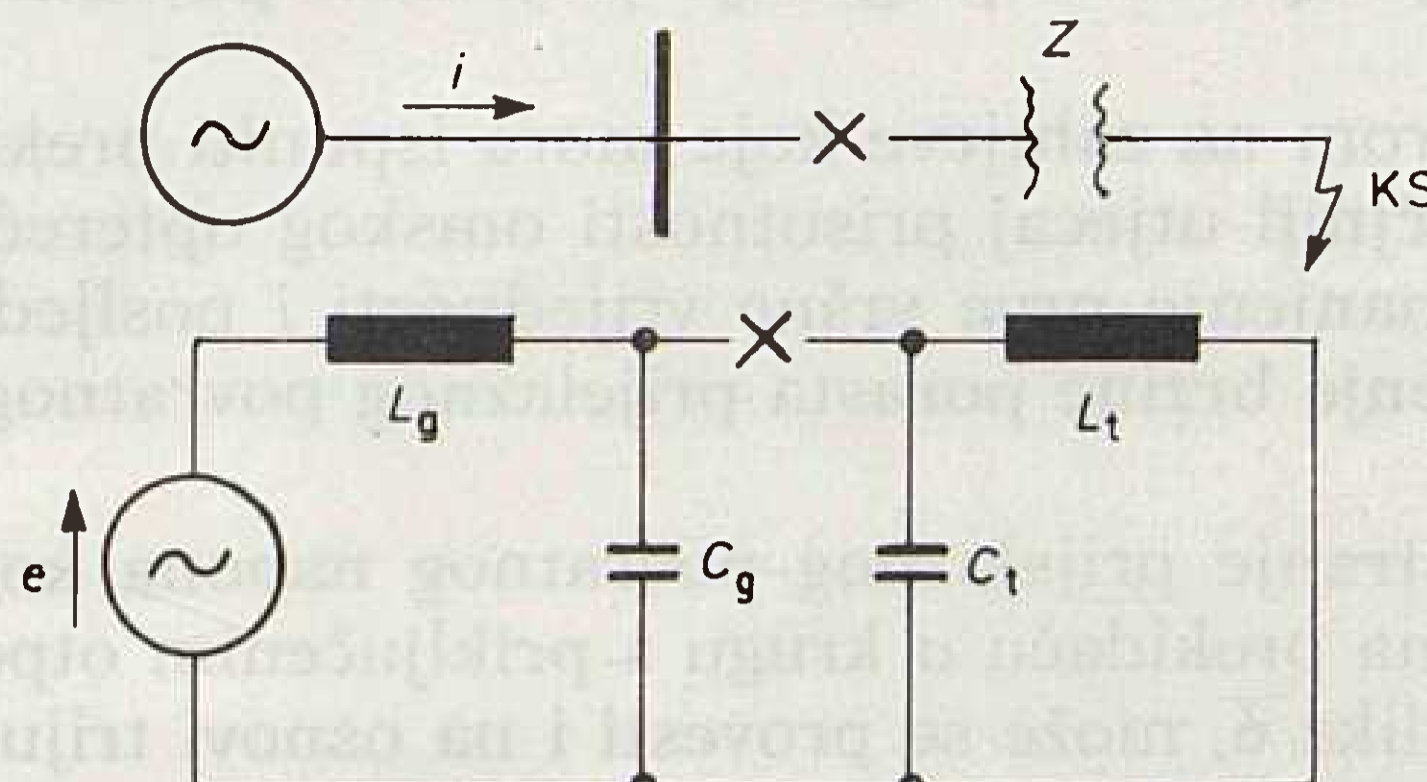
Slika 3. Jednofrekventne prijelazne pojave povratnog napona

Ovdje se može uočiti tzv. efekt podvostručenja napona jer je vršna vrijednost povratnog napona jednaka  $2E$  za niske vrijednosti  $R$ . Porastom vrijednosti  $R$  doći će do prigušenja prijelaznog povratnog napona uz eksponencijalno smanjivanje, kako pokazuje krivulja 2 na slici 3. Treba napomenuti da je, jednostavnosti radi, zanemareno određivanje točne vrijednosti povratnog napona mrežne frekvencije u trofaznom krugu te vrijednosti za  $L$  i  $C$ , uz prije navedenu napome-

nu o dvokomponentnosti prijelaznog povratnog napona.

Dvofrekventne prijelazne pojave povratnog napona

Neka kao primjer poslužiti električni krug pokazan na slici 4, sa po jednim jednofrekventnim izvorom povratnog napona sa svake strane prekidača.



Slika 4. Ekvivalentni krug za razmatranje dvofrekventne prijelazne pojave

Napon mrežne frekvencije od strane generatora povećat će se u trenutku razdvajanja kontakata od vrijednosti  $iZ$ , gdje je  $i$  struja kratkog spoja, a  $Z$  impedancija transformatora, na vrijednost napona izvora  $e$ . Napon od strane transformatora past će od vrijednosti  $iZ$  na nulu.

Na mjestu razdvajanja frekvencija promjene napona od strane generatora bit će

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{L_s C_s}} \quad (8)$$

gdje je

$f_n$  — prirodna frekvencija  
 $L_s$  — induktivitet izvora  
 $C_s$  — kapacitet izvora,

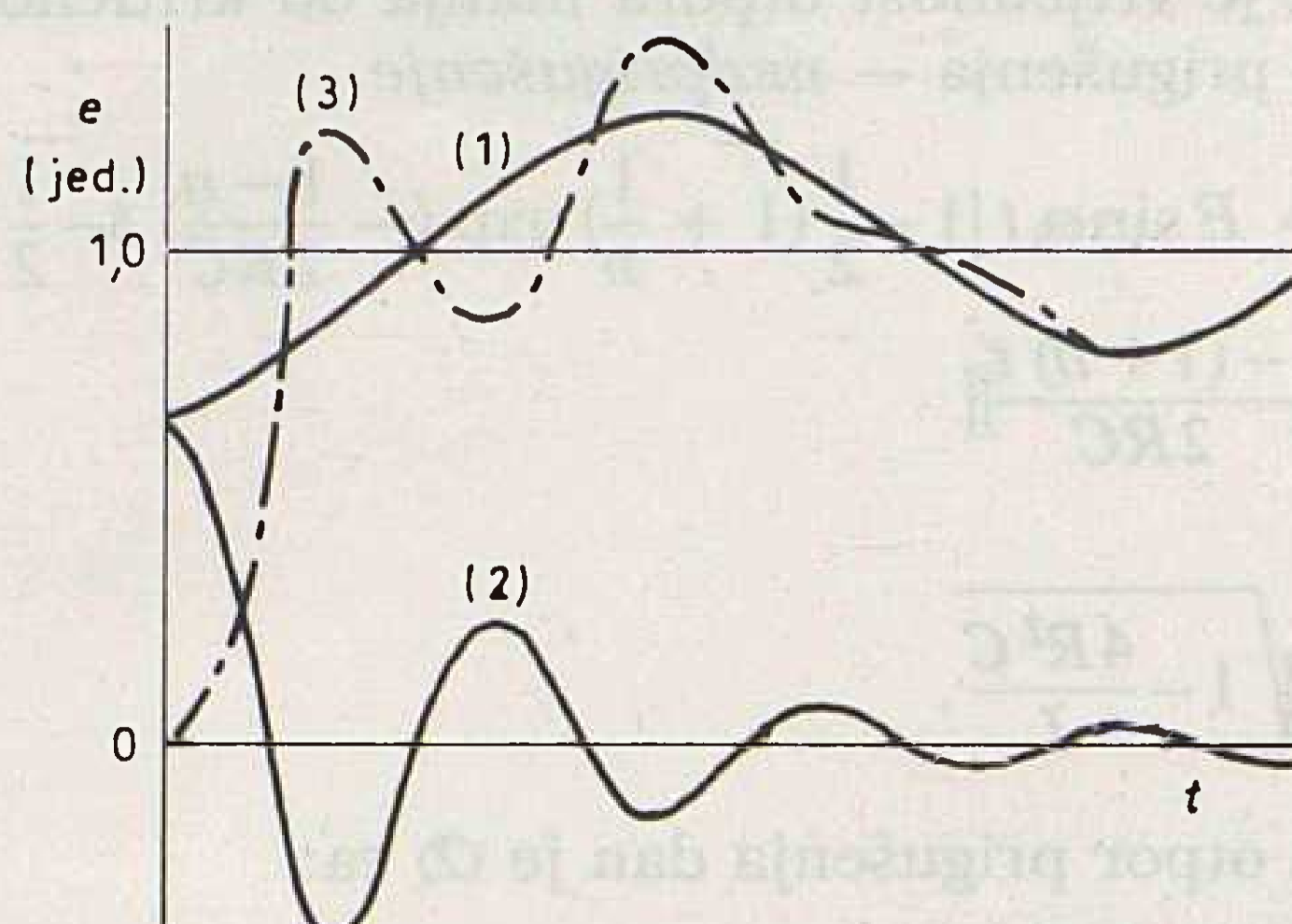
a frekvencija promjene napona od strane transformatora bit će

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{L_t C_t} \quad (8)$$

gdje je

$L_t$  — induktivitet transformatora  
 $C_t$  — kapacitet transformatora.

Na slici 5. prikazane su krivulje 1 i 2 koje predočavaju napone tih frekvencija, respektivno.



Slika 5. Dvofrekventna prijelazna pojava povratnog napona

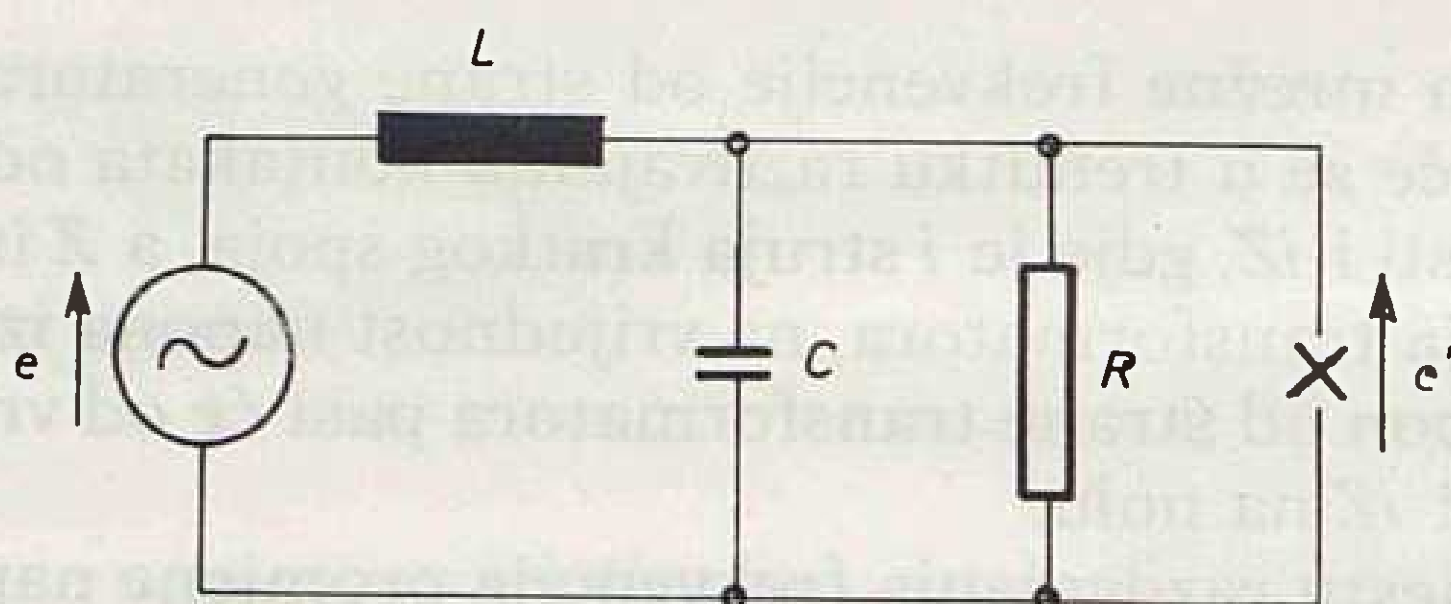
Prijelazni povratni napon, kao vektorska razlika napona od generatorske i transformatorske strane prekidača, prikazan je krivuljom 3, slika 5.

### 3.1.2. Prigušenje

Kako je prije spomenuto, prisutnost opterećenja omskog karaktera u krugu ili prisutnost prekidaču narednog otpornika prigušuje prijelazni povratni napon.

S obzirom na zahtjeve koje mora ispuniti prekidač, najznačajniji utjecaj prisutnosti omskog opterećenja jest smanjenje prve vršne vrijednosti i posljedično smanjenje brzine porasta prijelaznog povratnog napona.

Razmatranje prijelaznog povratnog napona koji se javlja na prekidaču u krugu s priključenim otpornikom, slika 6, može se provesti i na osnovi triju jednadžba za karakteristične slučajeve u ovisnosti o tome je li vrijednost otpora veća, jednaka ili manja od one koja određuje kritično prigušenje.



Slika 6. Osnovni ekvivalentni krug s prigušenjem

Jednadžbe koje opisuju ove slučajeve su (2):

- a) kada je vrijednost otpora veća od kritičnog otpora prigušenja — *podprigušenje*

$$e' = E \sin \omega_s t \left( 1 - \exp \frac{-t}{2RC} \left[ \cos mt + \frac{1}{2Rm} \sin mt \right] \right) \quad (9)$$

gdje je

$$m = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{4R^2 C^2}}$$

- b) kada je vrijednost otpora jednaka kritičnom otporu prigušenja

$$e' = E \sin \omega_s t \left( 1 - \exp \left( \frac{-t}{2RC} \right) \left( 1 + \frac{t}{2RC} \right) \right) \quad (10)$$

- c) kada je vrijednost otpora manja od kritičnog otpora prigušenja — *nadprigušenje*

$$e' = E \sin \omega_s t \left[ 1 - \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{1}{n} \right) \exp \left( -\frac{1-n}{2RC} t \right) - \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{1}{n} \right) \exp \left[ \frac{-(1+n)t}{2RC} \right] \right] \quad (11)$$

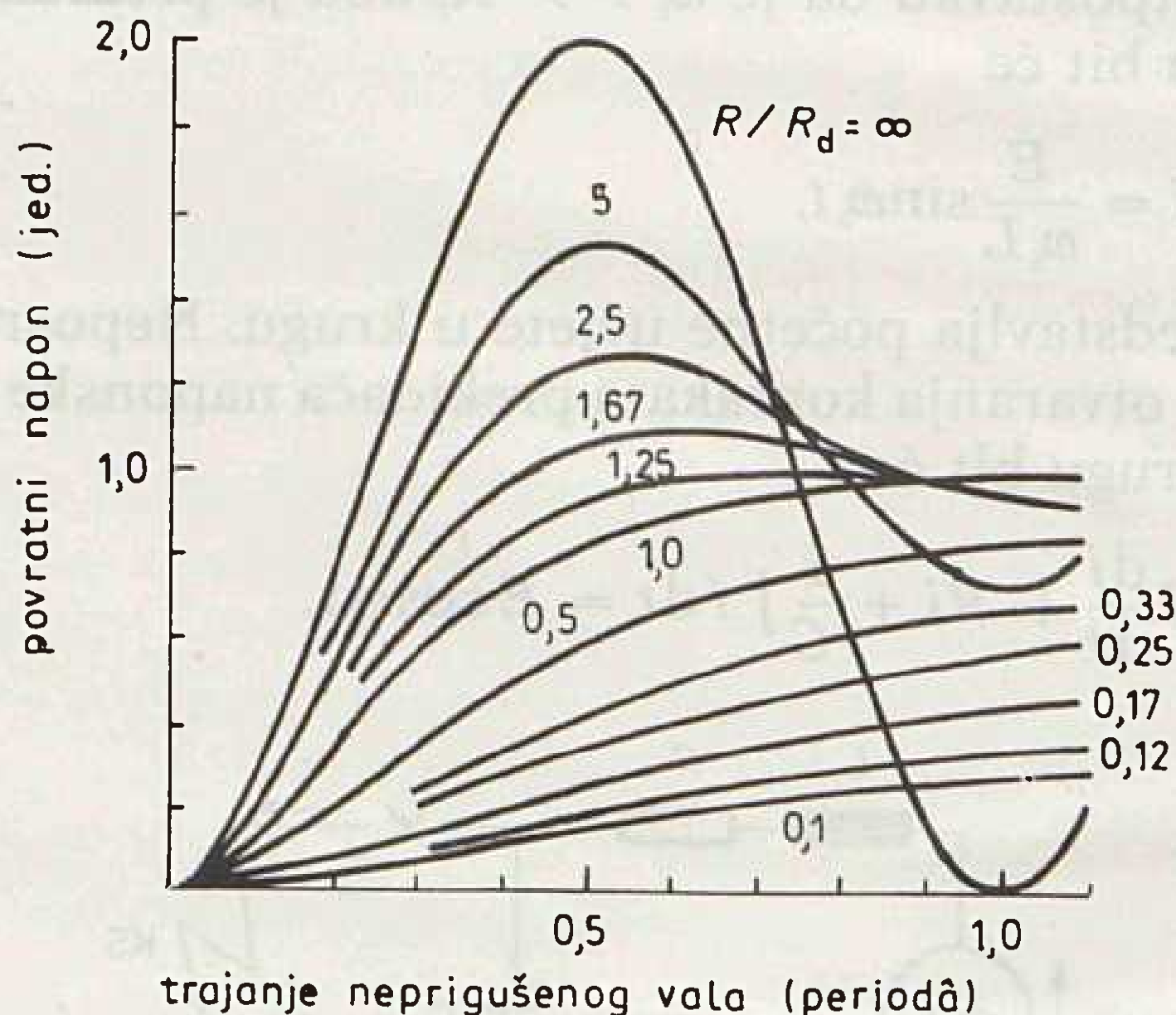
gdje je

$$n = \sqrt{1 - \frac{4R^2 C}{L}}$$

Kritični otpor prigušenja dan je (2) sa:

$$R_d = \sqrt{\frac{L}{4C}} \quad (12)$$

Rezultati dobiveni pomoću jednadžbi (9) — (11) nacrtani su na slici 7.



Slika 7. Utjecaj paralelnog otpornika u prigušenju prijelaznog povratnog napona

Slika jasno pokazuje značenje uzimanja u obzir prigušenja kruga kada se procjenjuje brzina porasta povratnog napona. Te se krivulje sasvim jednostavno mogu primijeniti u praksi, mjerenjem redukcije brzine porasta povratnog napona u odnosu na onu kod neprigušene prijelazne pojave i crtanjem u ovisnosti o omjeru  $R/R_d$ .

Otpor prigušenja može se postići spajanjem posebno izvedenih otpornika paralelno prekidnoj jedinici. Vrijednost otpornika može se odrediti uvrštavanjem strujne ovisnosti u opći izraz (12). Budući da je

$$I = \frac{E}{\omega_s L} \text{ ili } L = \frac{E}{\omega_s I} \quad (13)$$

bit će

$$R_d = \sqrt{\frac{E}{4\omega_s I C}} \quad (14)$$

Ovom osnovnom, kritički otpor prigušenja obrnuto je proporcionalan struji, što znači da će za visoke vrijednosti struje biti nužne niske vrijednosti otpora i obratno. Upotreba otpornika za kontrolu prijelaznog povratnog napona osobito je zastupljena u izvedbama pneumatskih prekidača (3).

Najznačajniji doprinos prirodnom prigušnom otporu kruga daju nadzemni vodovi i kabeli, jer se u trenutku razdvajanja kratkog spoja mogu smatrati jednakim otporniku vrijednosti prirodne impedancije nadzemnog voda ili kabela.

### 3.2. Bliski kratki spojevi

Maksimalna struja koju bi prekidač trebao prekinuti javlja se pri kratkom spoju na priključnicama prekidača (engl. breaker terminal fault, BTS). U pogledu strujnih zahtjeva pri prekidanju ovo je svakako najteži slučaj. Ovo, međutim, ne mora vrijediti i za zahtjeve prekidanja koje nameće prijelazni povratni napon.

Jedan od najčešćih slučajeva kvarova u elektroenergetskim sistemima jest udaljeni kratki spoj na nadzemnom vodu. Pri takvom kvaru na prekidaču će se

nakon otvaranja pojaviti dvofrekventna prijelazna pojava povratnog napona koju će prekidač najčešće moći podnijeti bez ponovnog preskoka\* ili ponovnog paljenja\* luka.

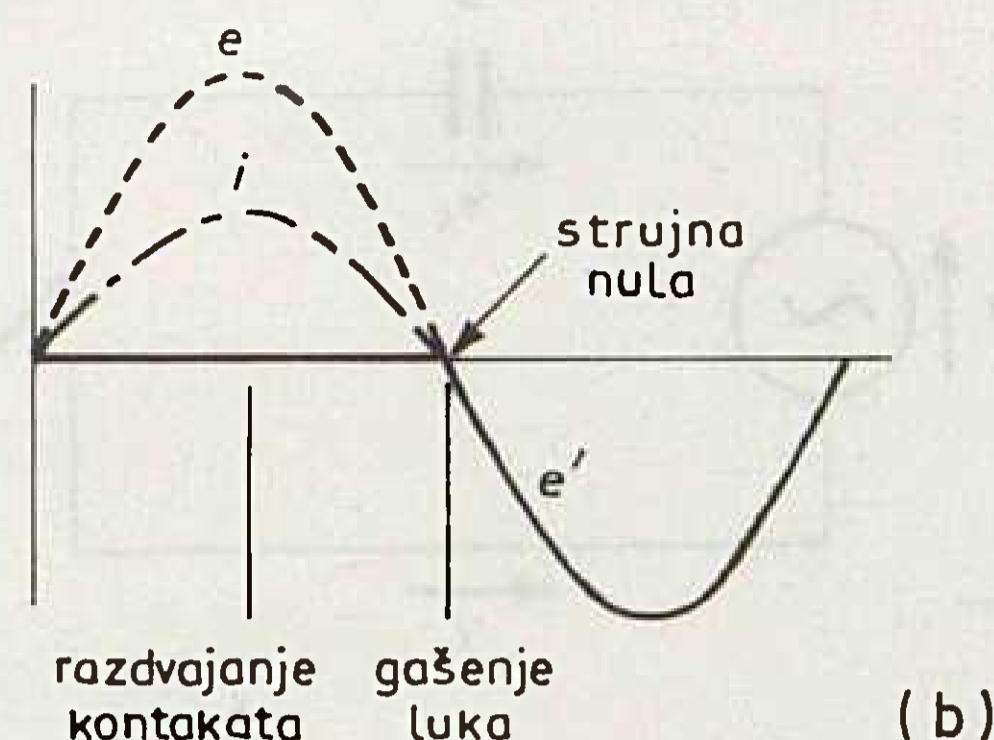
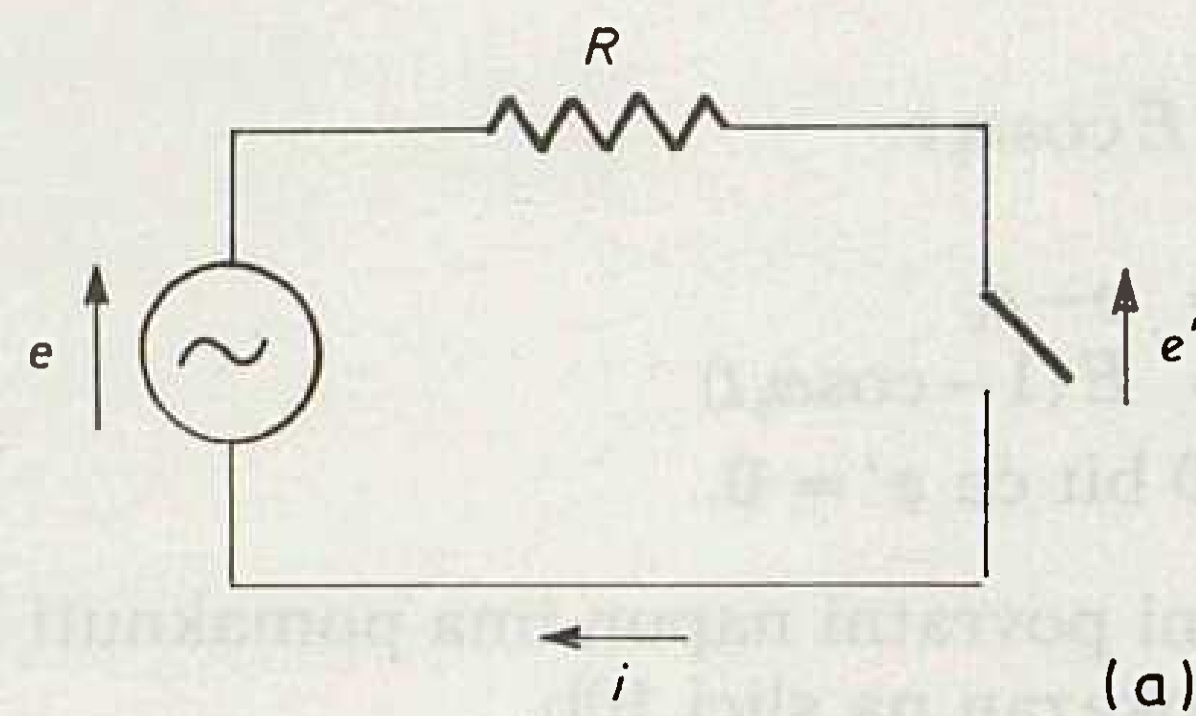
U posebnim slučajevima, kada se kratki spoj javi na nekoliko kilometara od prekidača, nastaju s aspekta prijelaznog povratnog napona vrlo teški uvjeti prekidanja. Ovaj tip kvara poznat je pod nazivom bliski kratki spoj (engl. short-line fault, SLF) ili kilometrički kvar (4). Pri strujnoj nuli, napon na priključnici prekidača od strane voda jednak je padu napona na dijelu voda pod kvarom. Pri prekidanju struje vod ostaje na tom potencijalu i zatim dolazi do rasipanja pohranjene energije pomoću naponskog vala. Ovaj val prelazi dulinu voda, rezultirajući visokofrekventnim prijelaznim naponom pilastog oblika, narinutim na prekidač. Uz doprinos ukupnom prijelaznom povratnom naponu i od strane izvora može se utvrditi da je brzina porasta prijelaznog povratnog napona za SLF uvjete znatno veća nego za BTF-uvjete, što može izuzetno otežati djelovanje prekidača. Budući da izvedbe prekidača koje zadovoljavaju i BTF i SLF uvjete nisu ekonomične (5), kontrola prijelaznog povratnog napona pri SLF vrši se priključivanjem kondenzatora na prekidač, čime se obično postižu zadovoljavajući rezultati.

#### 4. OPTEREĆENJE I SKLOPNE OPERACIJE U SISTEMU

##### 4.1. Utjecaj faktora snage

Već je naglašeno da je povratni napon jedan od osnovnih faktora koji određuje sposobnost prekidača za uspješno prekidanje određenog strujnog kruga. Faktor snage strujnog kruga u kome se poduzima sklopna operacija važan je faktor u određivanju prijelazne komponente povratnog napona. U većini primjera razmotrenih ovim člankom faktora snage malokad prelazi vrijednost 0,1, iako je u sklapanju normalnih opterećenja vjerojatniji faktor snage bliži vrijednosti 1. Utjecaj faktora snage na prijelazni povratni napon može se ilustrirati razmatranjem triju jednostavnih idealiziranih krugova.

Slika 8a prikazuje krug s čisto omskim opterećenjem gdje su napon i struja u fazi. U prvoj strujnoj nuli nakon otvaranja kontakata prekidača napon je također jednak nuli, luk je ugašen i dolazi do porasta povrat-



Slika 8. Povratni napon u omskom krugu

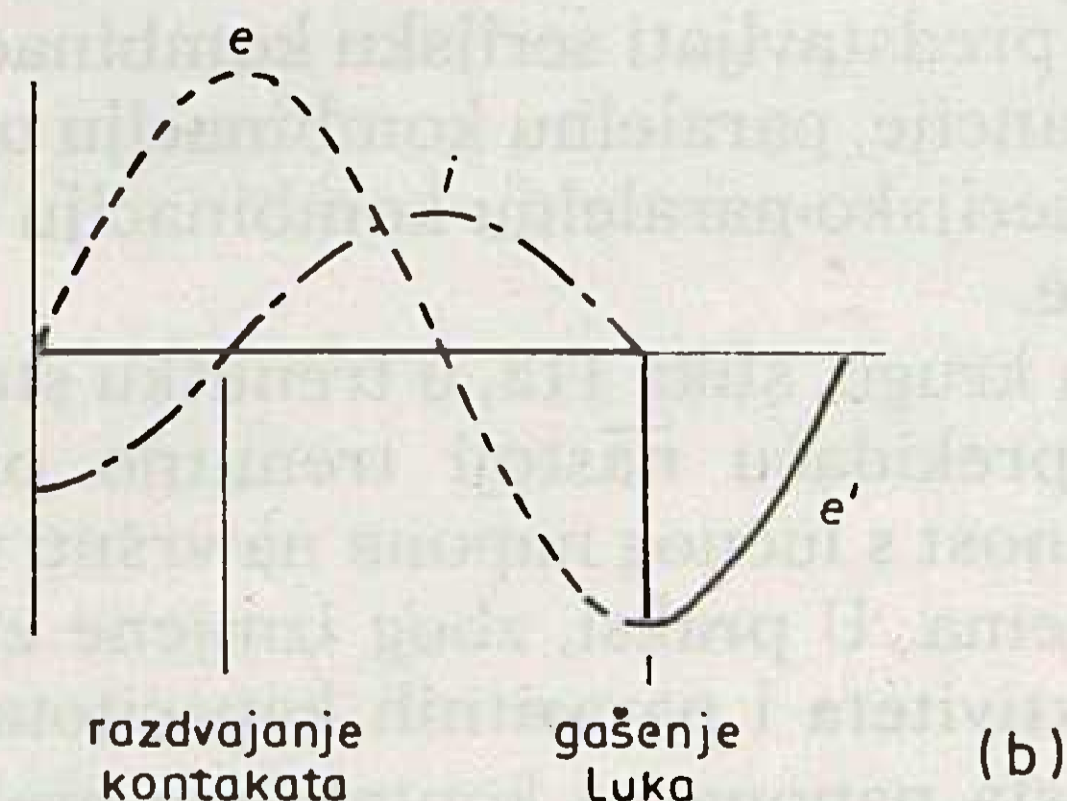
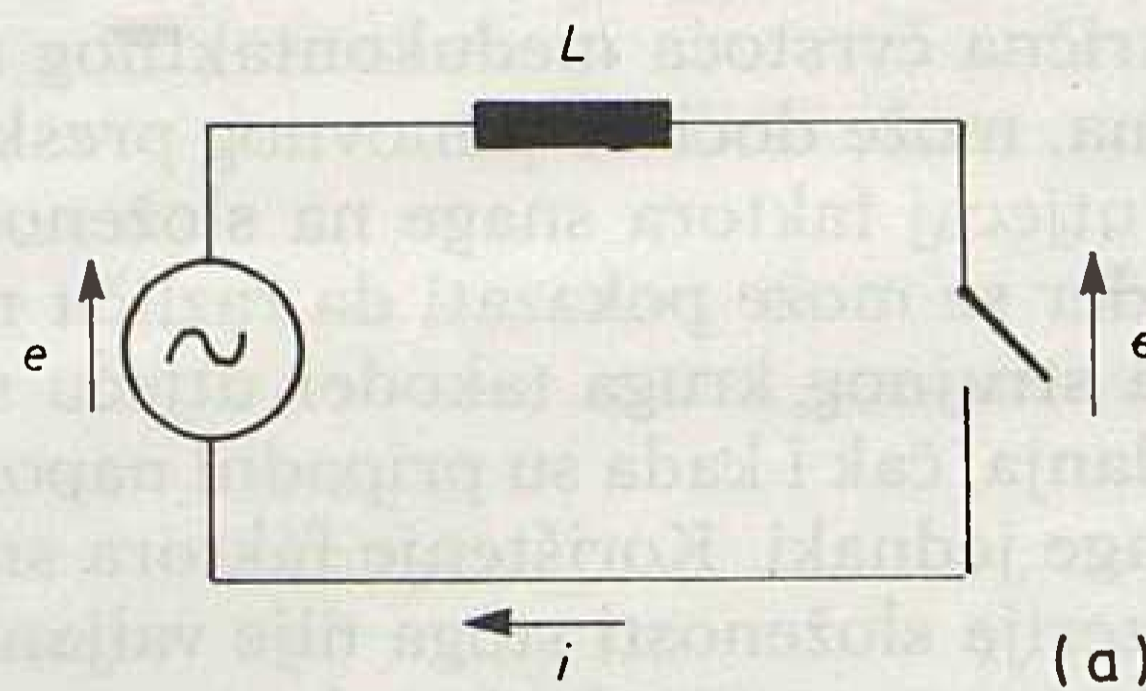
nog napona  $e'$  na prekidaču u skladu sa mrežnom frekvencijom, kako je pokazano na slici 8b.

U čisto induktivnom krugu pokazanom na slici 9a vrijede pak sljedeći uvjeti:

$$e = E \sin \omega_s t \quad (15)$$

$$i = \frac{-E}{\omega_s L} \cos \omega_s t \quad (16)$$

U trenutku gašenja luka, tj. za  $t = 3\pi/2$ , povratni napon na prekidaču iznosi je  $-E$ . Slika 9b pokazuje da se napon nastoji trenutno uspostaviti na maksimalnu vrijednost, ostvarujući time izuzetno strm udarni val povratnog napona na prekidaču.



Slika 9. Povratni napon u induktivnom krugu

Čisto kapacitivni krug, slika 10a, u kome je faktor snage kao i u prethodnom primjeru jednak nuli, može se razmotriti na sljedeći način. U trenutku gašenja luka, tj. za  $t = 3\pi/2$  bit će

$$e_c = -E$$

\* PONOVI PRESKOK (MEHANIČKOG SKLOPNOG APARATA) [engl. restriking (of an a. c. mechanical switching device), franc. rearmorage (d'un appareil mecanique de connexion a courant alternatif), rus. povtornij proboi (kontaktnog kommutacionnog aparata peremennogo toka), njem. Rueckzuendung (eines Wechselstromschalters)] njem. Rueckzuendung (eines Wechselstromschalters)]: Ponovno uspostavljanje struje između kontakata mehaničkog sklopnog aparata u toku operacije prekidanja, poslije vremenskog aparata u toku operacije prekidanja, poslije vremenskog intervala bez struje dužeg od četvrtine periode mrežne frekvencije. (JUS N. A0.441, termin 2, točka 7.46) PONOVI PALJENJE (MEHANIČKOG SKLOPNOG APARATA IZMJENIČNE STRUJE) [engl. re-ignition (of an a. c. mechanical switching device), franc. reallumage (d'un appareil mecanique de connexion a courant alternatif), rus. povtornoje zažiganie (kontaktnog kommutacionnog aparata peremennogo toka), njem. Wiederzuendung (eines Wechselstromschalters)]: Ponovno uspostavljanje struje između kontakata mehaničkoga sklopnog aparata tokom operacije prekidanja, poslije vremenskog intervala bez struje kraćeg od četvrtine periode mrežne frekvencije. (JUS N. A0.441, termin 2, točka 7.45)

i

$$e = E \cos \omega_s t$$

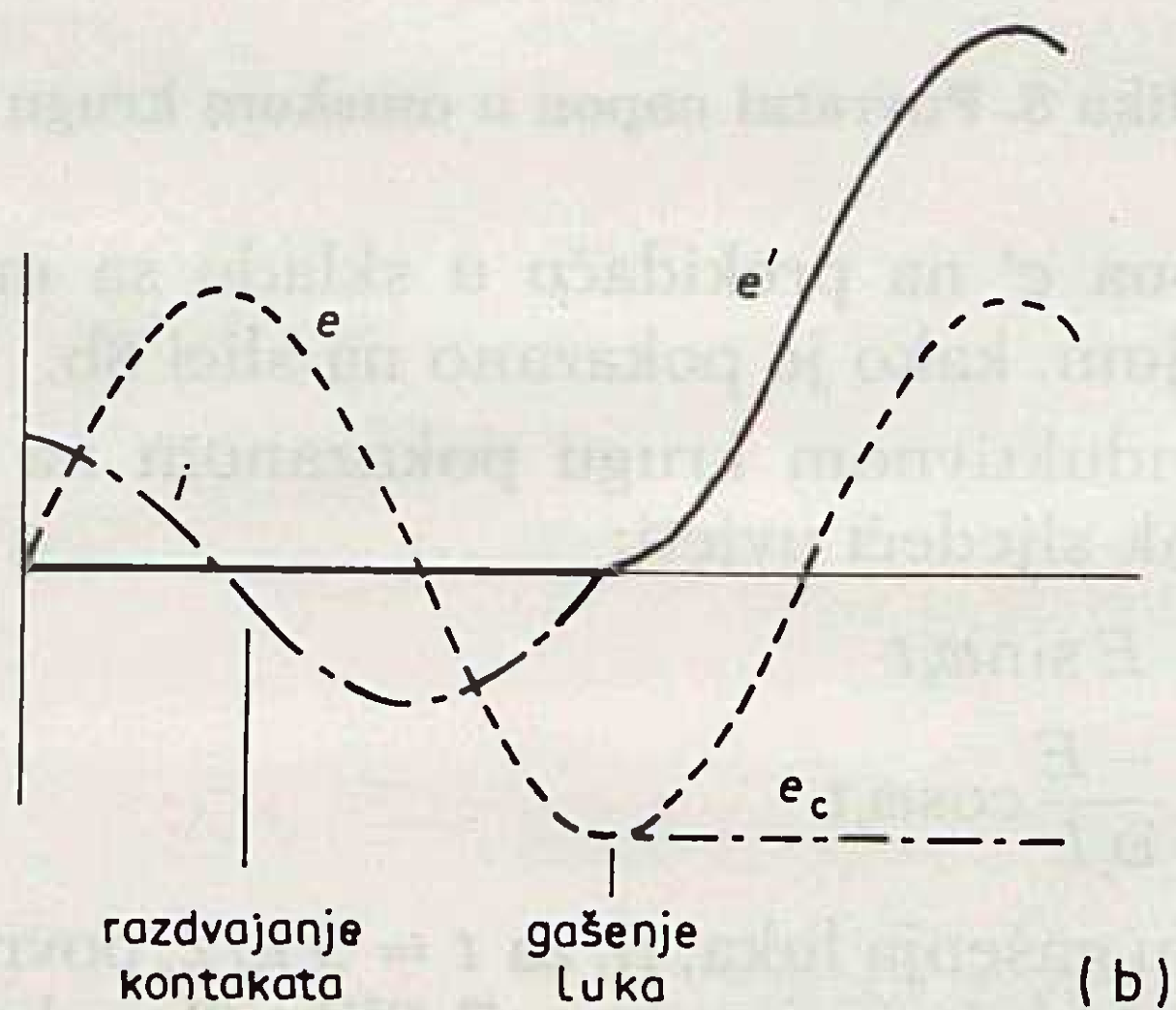
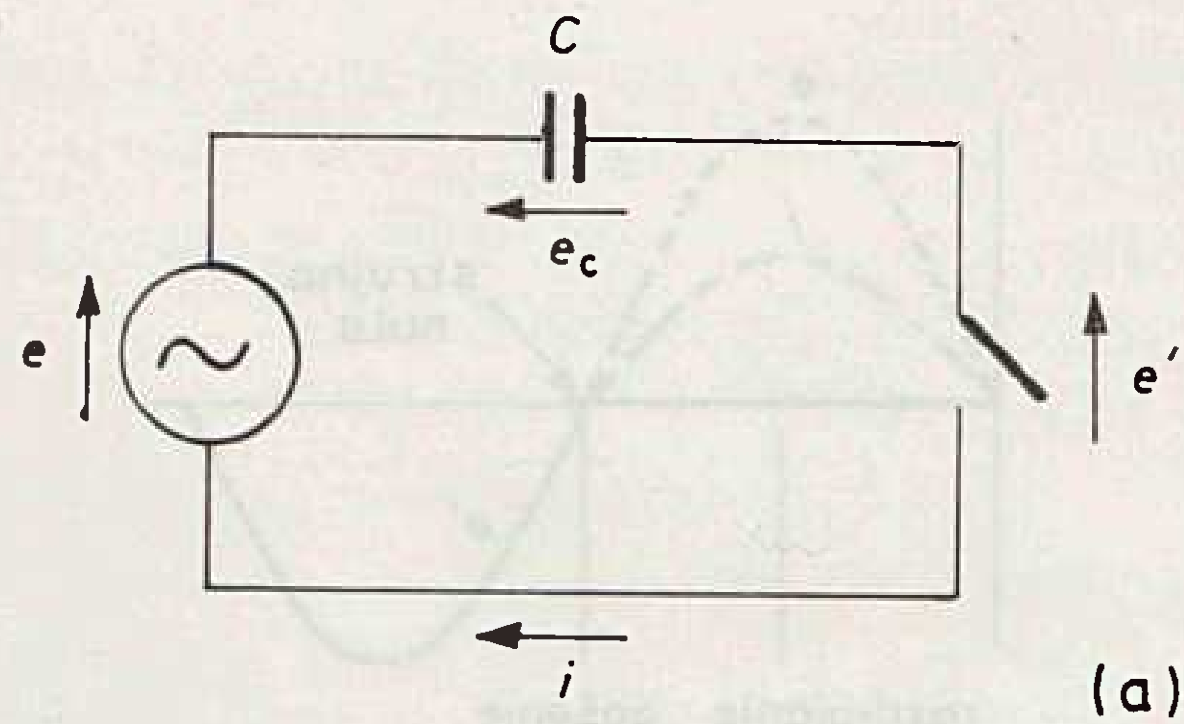
te odatle

$$e' = e - e_c = E(1 - \cos \omega_s t)$$

(17)

tj. za  $t = 0$  bit će  $e' = 0$ .

Rezultantni povratni napon ima pomaknuti kosinusni oblik pokazan na slici 10b.



Slika 10. Povratni napon u kapacitivnom krugu

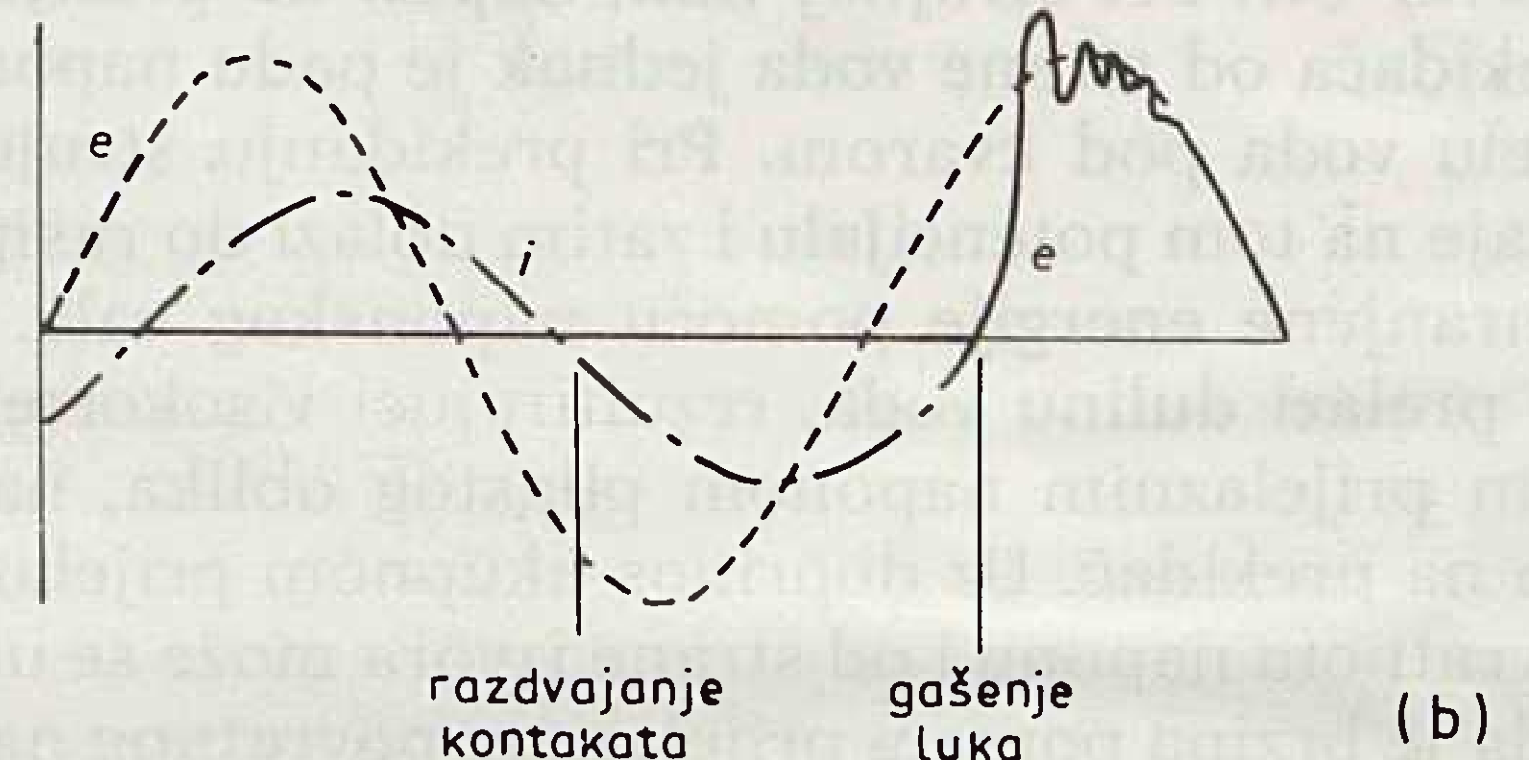
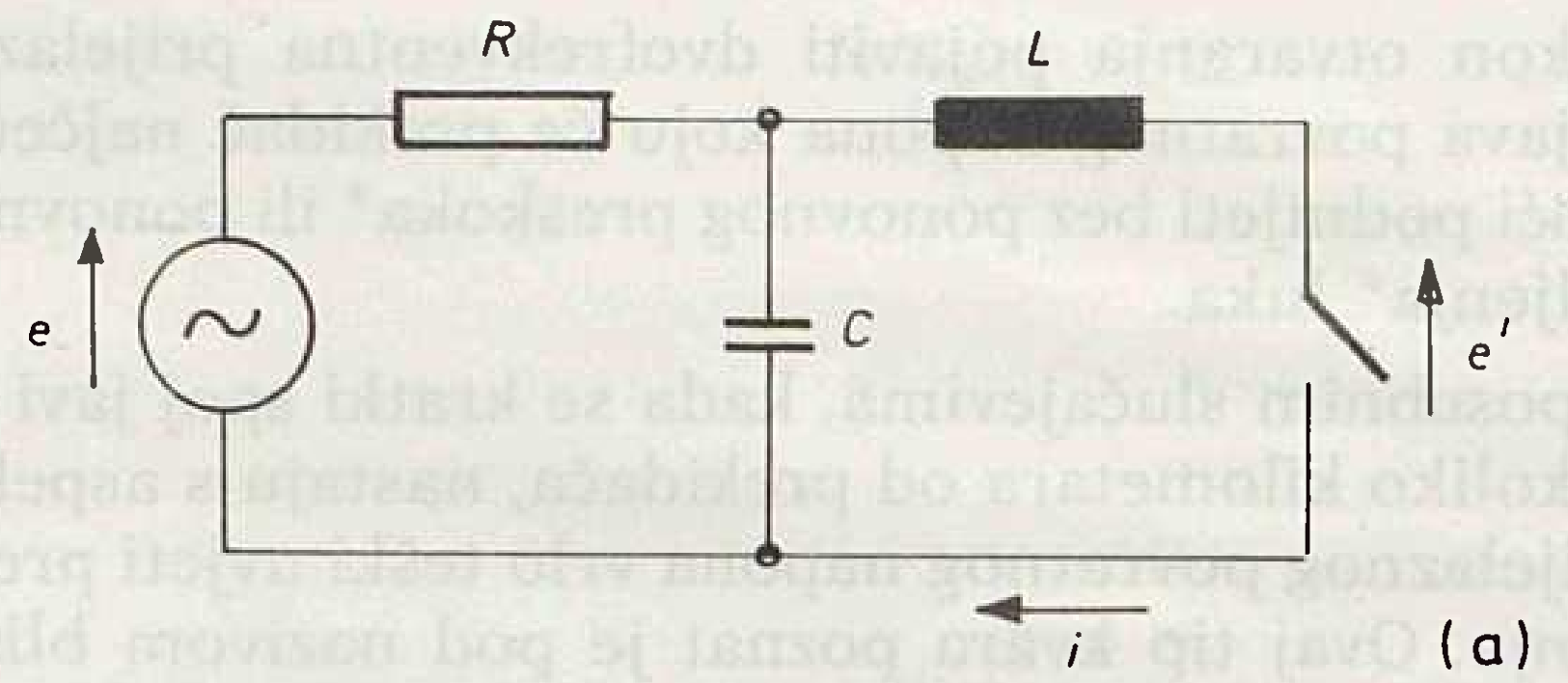
U trenutku strujne nule, napon na prekidaču također je jednak nuli. Poslije jedne poluperiode napon među kontaktima povećava se do maksimuma od  $2E$ , ako dielektrična čvrstoća međukontaktne razmaka nije dovoljna, može doći do ponovnog preskoka.

Uz snažan utjecaj faktora snage na složenost prekidanja također se može pokazati da različiti raspored parametara strujnog kruga također utječu na složenost prekidanja, čak i kada su pripadni napon, struja i faktor snage jednaki. Korištenje faktora snage kao jedinog kriterija složenosti stoga nije valjano.

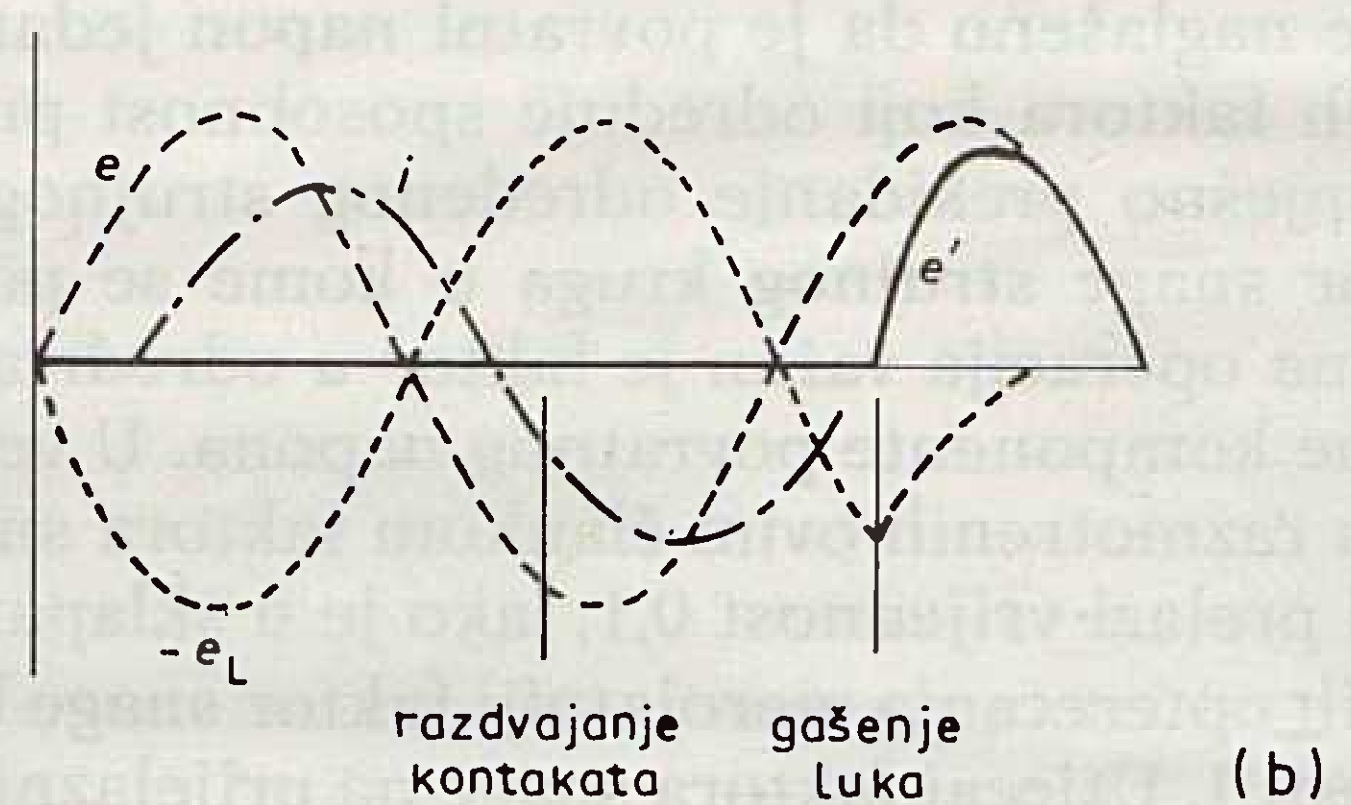
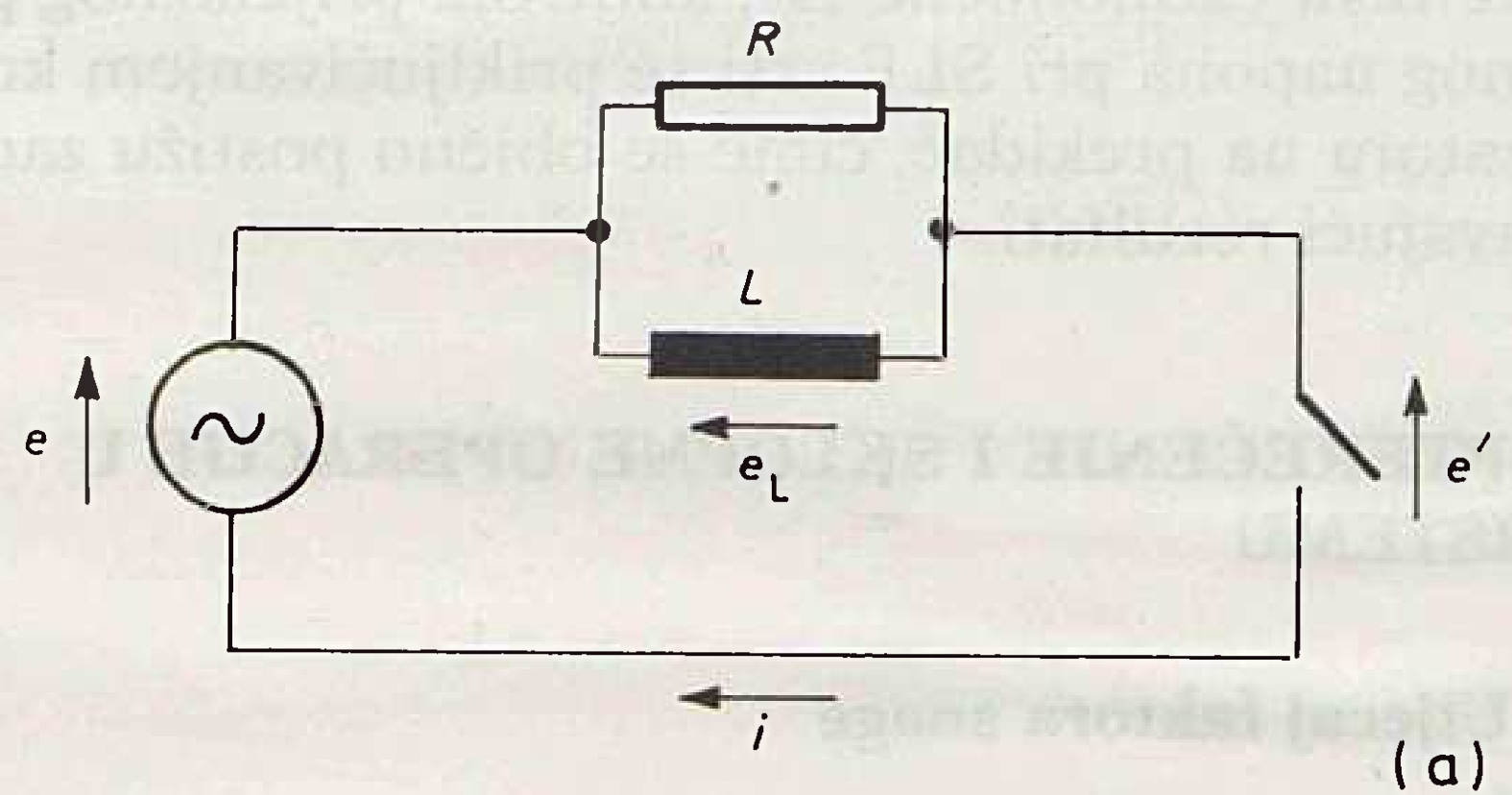
Impedancija kruga opterećenja u kome se vrši sklanjanje može predstavljati serijsku kombinaciju otpornika i reaktancije, paralelnu kombinaciju otpornika i reaktancije ili serijsko-paralelnu kombinaciju otpornika i reaktancije.

U serijskom krugu, slika 11a, u trenutku strujne nule napon na prekidaču nastoji trenutno promijeniti svoju vrijednost s lučnog napona na vršnu vrijednost napona sistema. U praksi, zbog izmjene energije između induktiviteta i parazitnih kapaciteta kruga  $C$ , brzina porasta napona na kontaktima prekidača bit će smanjena, ali će doći do oscilacija više frekvencije oko vrijednosti napona sistema. Ti uvjeti su pokazani na slici 11b.

U paralelnom će krugu, slika 12a, vladati drugačiji uvjeti čak i uz iste vrijednosti ukupne struje i faktora snage. U trenutku nulte vrijednosti ukupne struje postojat će tok struje između grana s otporom i induk-



Slika 11. Povratni napon u RLC krugu



Slika 12. Povratni napon u paralelnom RL-krugu

tivitetom, pri čemu će napon  $e_L$  na paralelnoj kombinaciji biti jednak naponu izvora  $e$ . Stoga će, u strujnoj nuli, i napon na kontaktima prekidača biti jednak nuli. Rezultantni će povratni napon u tom slučaju rasti od nule na napon sistema, slika 12b, sa znatno nižom brzinom porasta nego u serijskom krugu.

Najvjerojatniji krug opterećenja u praksi bit će, ipak, onaj koji sadrži i serijske i paralelne komponente. Povratni napon  $i$ , na toj osnovi, složenost zahtjeva pri prekidanju za određeni faktor snage ovisit će u ovom slučaju od udjela serijskih i paralelnih elemenata. Ako je komponenta serijske impedancije veća od paralelne komponente, udarni val povratnog napona bit će strmiji i prekidanje će biti teže. Nasuprot tome, ako je udio paralelne impedancije veći, povratni napon bit će približan onom pokazanom na slici 12b i isklapanje će se izvršiti znatno lakše. Pokazano

je [2] da kombinirani serijsko-paralelni krug predstavlja ekvivalent velikoj većini praktičnih krugova opterećenja.

Razlike u povratnom naponu za serijski i paralelni krug uz dani faktor snage mogu se dalje ilustrirati razmatranjem osnovne jednadžbe za napon na prekidaču. Ona sadrži komponente mrežne i prirodne (prijelazne) frekvencije. Za primjer, u serijskom krugu sa slike 11a povratni napon bit će [2]:

$$e' = E \sin(\omega_s t + \varphi) + E \sin \varphi (1 - \cos \omega_n t) \quad (18)$$

gdje je

$\varphi$  — početni faktor snage

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\omega_s L}{R}.$$

Brzina porasta povratnog napona u bilo kojem trenutku dobiva se deriviranjem jednadžbe (18), tj.

$$\frac{de'}{dt} = \omega_s E \cos(\omega_s t + \varphi) + \omega_n E \sin \varphi \sin \omega_n t. \quad (19)$$

Na slici 12 b grafički prikaz povratnog napona u paralelnom krugu predstavlja sumu napona mrežne frekvencije i napona na induktivitetu, pa je (2):

$$e' = E \sin(\omega_s t + \varphi) - E \sin \varphi \exp\left(-\frac{Rt}{L}\right) \quad (20)$$

gdje je

$$L = \frac{X}{\omega_n};$$

odatle

$$\frac{de'}{dt} = \omega_s E \cos(\omega_s t + \varphi) + \frac{\omega_n R}{X} E \sin \varphi \exp\left(-\frac{\omega_n R t}{X}\right), \quad (21)$$

Radi usporedbe, povratni napon u kapacitivnom krugu ima sinusoidalni valni oblik, pa će diferencijalna jednadžba (17) po vremenu imati oblik

$$\frac{de'}{dt} = \omega_s E \sin \omega_s t. \quad (22)$$

Brzina porasta povratnog napona može se utvrditi za tri tipa strujnog kruga putem jednadžbi 19, 21 i 22, respektivno, koristeći istu relativnu vrijednost za  $\omega_s$  i faktor snage 0,7 za proizvoljno odabrano vrijeme od 200 mikrosekundi nakon prekidanja struje [2]. Brzina porasta povratnog napona u serijskom krugu dovodi na vrijednost od 14,5  $E$ , u paralelnom krugu 1,2  $E$ , a u kapacitivnom krugu 0,11  $E$  [2]. Korištenje brzine porasta povratnog napona kao kriterija pokazuje da je, u ovom primjeru, sklapanje u serijskom krugu oko 12 puta složenije nego u paralelnom krugu uz istu struju, napon i faktor snage.

#### 4.2. Zatvaranje i ponovno zatvaranje na dugim prijenosnim vodovima

Slično generiranju prenapona koji se javljaju pri ponovnim preskocima kod odvajanja vodova od izvora može doći do javljanja složenih prenapona prilikom stavljanja prijenosne linije pod napon. Još oštriji prenaponi mogu se pojaviti kao posljedica ponovnog uklopa voda nakon kratkotrajnog prekidanja. To je

izuzetno značajan aspekt za izvođenje sistema visokih i vrlo visokih napona s obzirom na osnovni stupanj izolacije opreme u sistemu.

Općenito usvojena metoda za sniženje prenapona pri stavljanju voda pod napon jest korištenje otpornika u seriji s glavnim prekidačem, koji se nakon određenog vremena kratko spaja otporničkim prekidačem.

### 5. SKLAPANJE REAKTIVNIH STRUJA

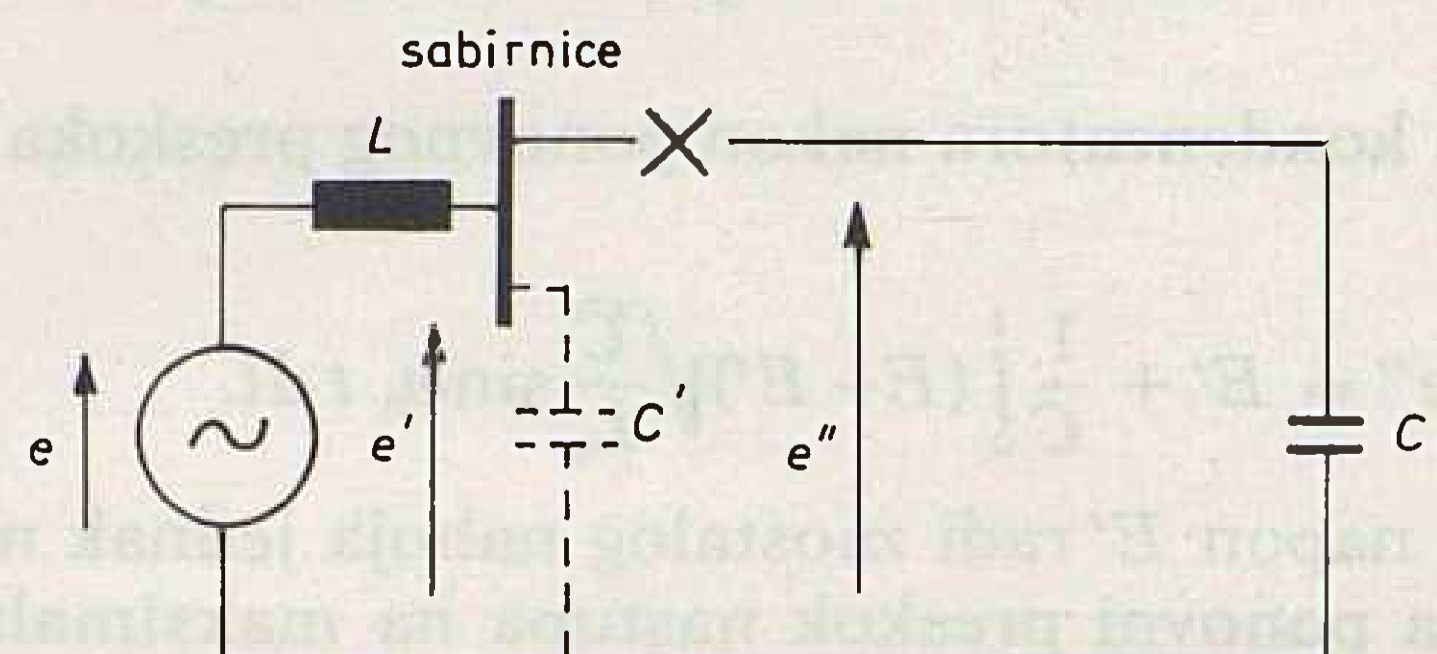
#### 5.1. Rezanje struje pri prekidanju malih induktivnih struja

Razmatranja u prijašnjim poglavljima osnivala su se na pretpostavci da se električni luk gasi u prirodnoj nul-točki struje. S obzirom na činjenicu da je električni luk u prekidnoj komori općenito podvrgnut intenzivnom procesu gašenja, u određenim slučajevima može biti ugašen prije prirodne nultočke. Ovaj je fenomen poznat pod nazivom »rezanje struje« i može uzrokovati vrlo složene prijelazne povratne napone. Na ovu pojavu autori su se osvrnuli u radovima [1] i [3], a s aspekta sklopnih pojava može se navesti da korištenje otpornika prikladnih za kontrolu prijelaznog povratnog napona ne izaziva značajnije sniženje prenapona uzrokovanih rezanjem struje, ako se radi o isklapanju transformatorskih jedinica. Pri isklapanju paralelnih prigušnica moguće je postići znatno sniženje prenapona uzrokovanih rezanjem struje, uz više vrijednosti struje i upotrebu maloujnih prekidača. Kod primjene pneumatskih prekidača ni u ovom se slučaju ne javlja značajno sniženje prenapona.

#### 5.2. Sklapanje kapacitivnih struja

Pri razmatranju sklapanja u kapacitivnim krugovima nužno je definirati pojmove »ponovno paljenje« i »ponovni preskok«. Općenito uzevši, dielektrični probij međukontaktnog prostora u prekidnoj komori može se pojaviti u bilo kojem trenutku nakon prvog gašenja luka ako su uvjeti nepovoljni. Pri sklapanju kapacitivnih struja, ovakav probij se naziva »ponovno paljenje« ako se javi unutar 1/4 periode nakon početnog gašenja luka. U bilo kom trenutku nakon ovog perioda pojava se naziva »ponovni preskok«.

Neka za razmatranje ponovnog preskoka u prekidaču pri prekidanju kapacitivnih struja posluži jednofazni krug prikazan na slici 13, na kojoj je koncentrirani kapacitet  $C$  povezan na visokonaponske sabirnice kroz prekidač.



Slika 13. Prekidanje u kapacitivnom krugu

Mali paralelni kapacitet  $C'$  predstavlja kapacitet sabirnica zajedno s onim od cjelokupne direktno priključene opreme. Serijska induktivna reakcija  $L_s$  između generiranog napona i sabirnica iako često mala u usporedbi s kapacitivnom reaktancijom, jest faktor koji može izazvati ponovno paljenje (nasuprot ponovnom preskoku).

Najveći dio prekidača nije u stanju prekinuti struju odmah u prvoj strujnoj nuli zbog neodgovarajuće dielektrične čvrstoće u tom trenutku. Pri sklapanju kapaciteta radi se često o malim vrijednostima struje te je povratni napon relativno nizak zbog zaostalog naboja u kondenzatoru. Postoji, stoga, visoka vjerojatnost da će prekidač biti sposoban prekinuti kapacitivnu struju u prvoj strujnoj nuli. Ako se pak ovo dogodi ubrzo nakon razdvajanja kontakata, može se pojaviti povratni napon iznosa  $2E$  na relativno malom razmaku kontakata. Tom osnovom postoji znatna vjerojatnost da će doći do ponovnog preskoka.

Dogodi li se ponovni preskok točno kada napon dosegne vršnu vrijednost, strujni krug se vlada kao da je prekidač iznenada zatvoren u tom trenutku. Pri tom dolazi do osciliranja u  $LC$  krugu na njegovoj prirodnoj frekvenciji  $f_n$ , danoj sa

$$f_n = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C}}, \text{ ukoliko je } C' \ll C. \quad (23)$$

Ta je oscilacija naznačena sa  $S$  na slici 14a.

Naponi u krugu nakon ponovnog preskoka, pokazani na slici 14a, dani su sa

$$e - e'' = L_s \frac{di}{dt} \quad (24)$$

$$e'' = E' + \frac{1}{C} \int i dt, \quad (25)$$

gdje je  $E'$  napon na kondenzatoru  $C$  u trenutku ponovnog preskoka.

Uz pretpostavku da se ponovni preskok javlja na maksimalnoj vrijednosti, tj. u točki  $P$  na slici 14a, rješenje jednadžbi (24) i (25) daje izraz za struju koja teče kroz prekidač nakon preskoka:

$$i = (E - E') \sqrt{\frac{C}{L_s}} \sin \omega_n t. \quad (26)$$

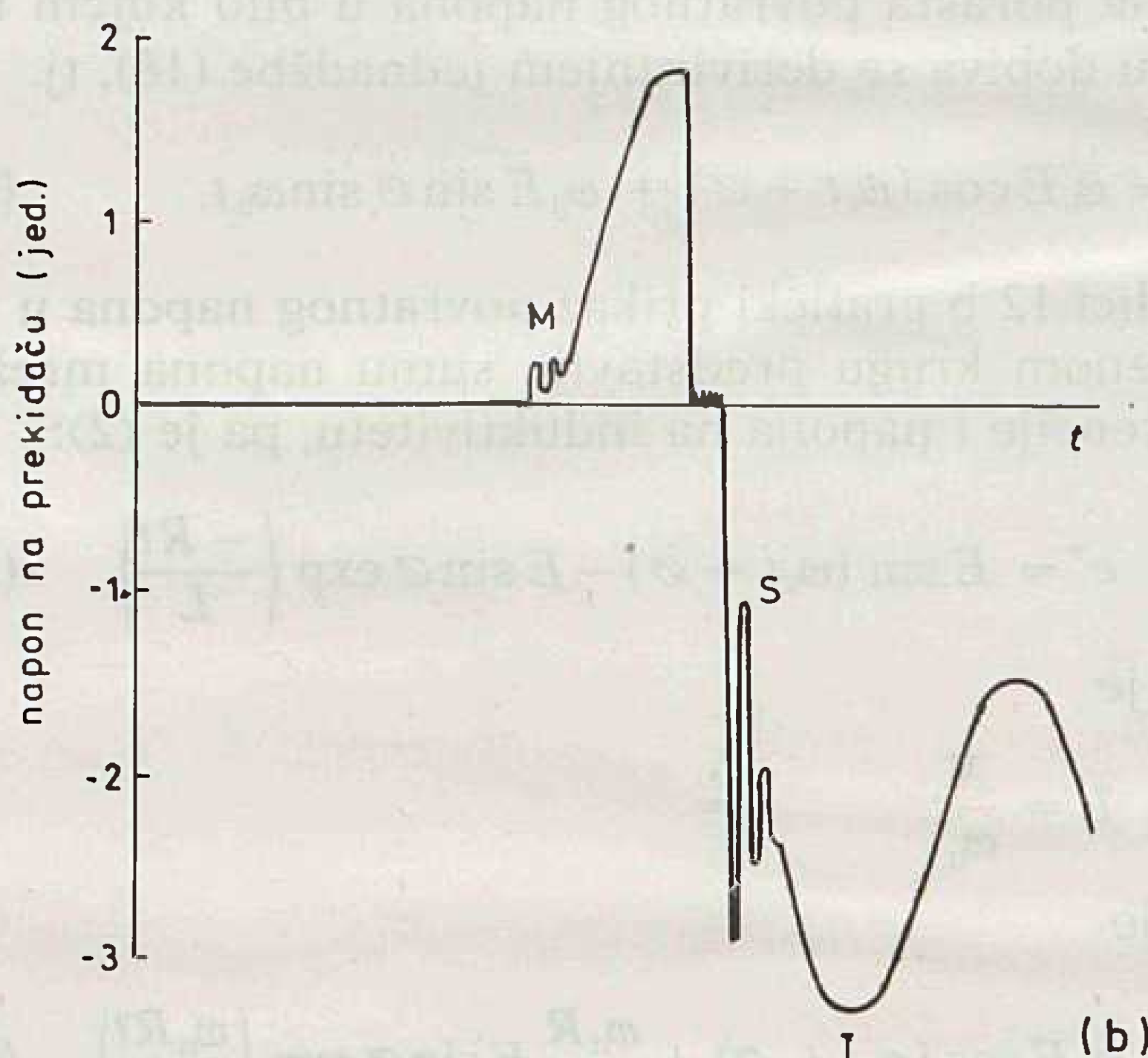
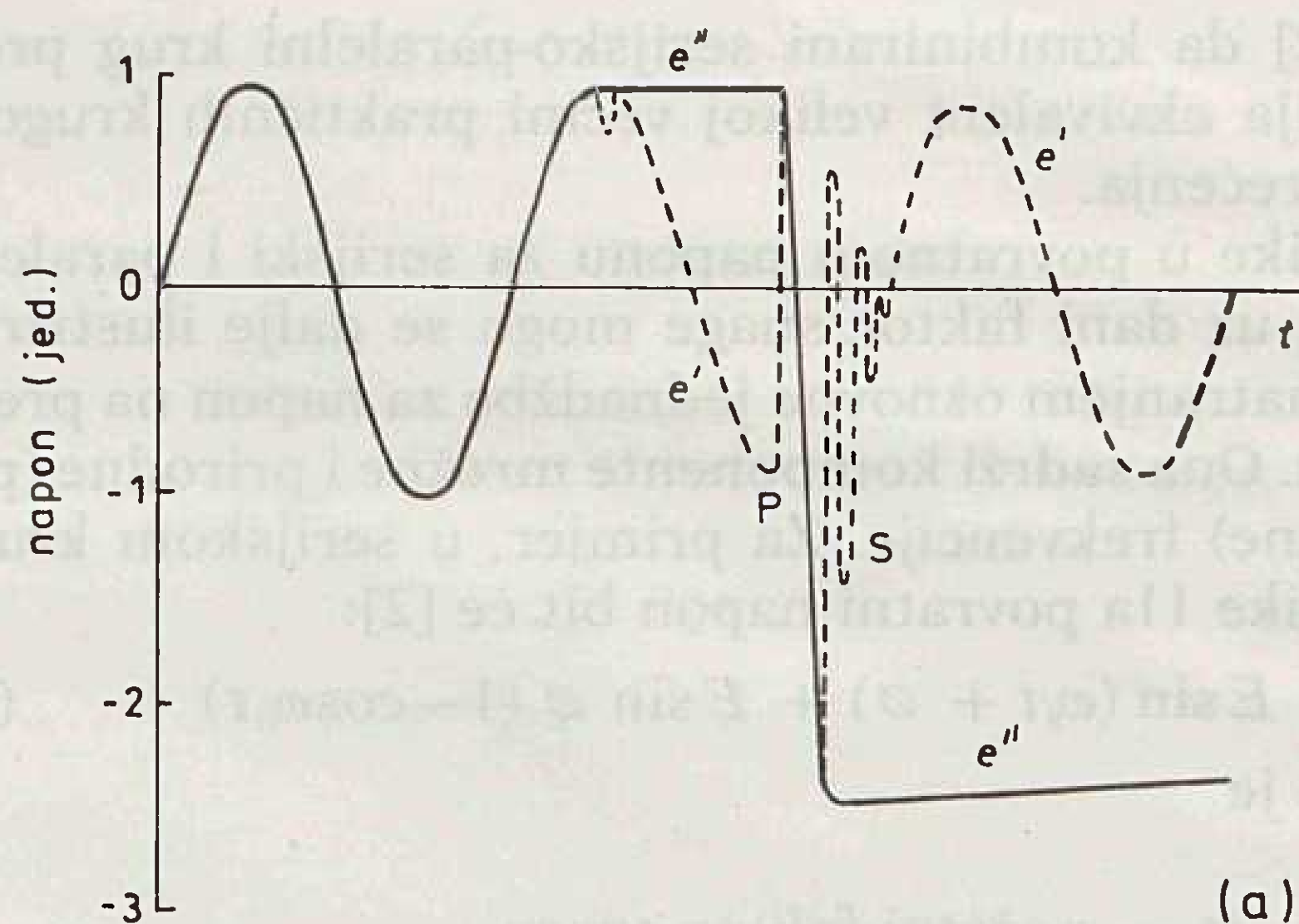
Iznos  $E - E'$  predstavlja napon na prekidaču u trenutku preskoka.

Amplituda ove struje može biti vrlo velika te potencijalno razorna za prekidač ako je impedancija izvora  $L_s$  male vrijednosti. Frekvencija ove struje prijelaznog perioda jednaka je prirodnoj frekvenciji kruga. U realnim krugovima ova će strujna oscilacija biti prigušena na isti način kao i naponska oscilacija sa slike 14a.

Napon kondenzatora nakon ponovnog preskoka dan je sa

$$e'' = E' + \frac{1}{C} \int_0^t (E - E') \sqrt{\frac{C}{L_s}} \sin \omega_n t dt. \quad (27)$$

Ako je napon  $E'$  radi zaostalog naboja jednak naponu  $E$ , a ponovni preskok nastupa na maksimalnom negativnom naponu sistema  $-E$ , kako je to pokazano na slici 14a, jednadžba (27) može se napisati kao



Slika 14. Naponski valni oblici pri prekidanju kondenzatorskih baterija

$$\begin{aligned} e'' &= -E + \frac{2E}{\sqrt{L_s C}} \int_0^t \sin \omega_n t dt \\ &= E(1 - 2 \cos \omega_n t) \end{aligned} \quad (28)$$

Maksimalna vrijednost napona na kondenzatoru bit će, prema tome,  $3E$ . Pretpostavljeno je da su karakteristike prekidača takve da struja pri ponovnom preskoku biva prekinuta nakon samo jedne poluperiode oscilacije na prirodnoj frekvenciji kruga. Rezultat ponovnog preskoka i naponske oscilacije jest da je kondenzator nabijen na napon između dvije ili tri vršne vrijednosti faznog napona sistema.

Slika 14b pokazuje naponske prilike na prekidaču u funkciji vremena. Na polovini periode iza strujne nule razlika potencijala na kontaktima prekidača dostiže približno dvostruku vršnu vrijednost napona zbog zaostalog naboja na kondenzatoru  $C$ . Uz pretpostavku nedovoljne dielektrične čvrstoće međukontaktog prostora i pojave ponovnog preskoka, odmah nakon gašenja luka napon na sabirnicama vraća se na nivo generatorskog napona putem visokofrekventne oscilacije  $S$ , određene induktivitetom izvora  $L_s$  i kapaciteta  $C$ . Slijedeći ovu prijelaznu pojavu, napon na prekidaču raste do normalne vršne vrijednosti  $T$  kako generatorski napon mijenja polaritet u skladu s mrežnom frekvencijom. Dođe li do pojave drugog



ponovnog preskoka u sljedećoj vršnoj vrijednosti generatorskog napona, napon na kondenzatoru  $C$  može doseći vršnu vrijednost između 4 i 5 puta veću od napona sistema. Mala prijelazna pojava  $M$  na slici 14b uzrokovana je iznenadnom promjenom napona na induktivitetu  $L_s$  kako iščezava kapacitivna struja pri prvom prekidanju. Ta prijelazna pojava često se može zanemariti, no kada prevladava visoka vrijednost impedancije izvora, amplituda prijelazne pojave može znatno pospješiti trenutno paljenje luka, što u konačnici rezultira produženjem vremena trajanja lučnog perioda.

U jednostavnom kapacitivnom krugu prikazanom na slici 13. teorijski ne bi postojale granice do kojih bi napon mogao narasti zbog uzastopnih ponovnih preskoka u izuzetno nepovoljnim uvjetima sklapanja. Ako se u obzir uzmu utjecaji koji prigušuju visokofrekventne prijelazne pojave prilikom ponovnih preskoka, bit će dosegnut granični napon koji predstavlja maksimalnu vrijednost bez obzira na broj ponovnih preskoka. Ta krajnja vrijednost, izražena kao višekratnik vršne vrijednosti napona sistema, ovisi o prigušenju struje pri ponovnom preskoku i o amplitudi pada lučnog napona u prekidaču.

Ovako nepovoljni uvjeti mogu se ublažiti primjenom otpornika, tako da stvarno opterećenje u krugu postane serijska  $RC$ -kombinacija. Zbog toga napon sistema neće poprimati vršnu vrijednost u strujnoj nulli, što će sniziti vrijednost napona na kapacitetu tokom prekidanja.

## 6. ZAKLJUČAK

Sklopne pojave u elektroenergetskim sistemima predstavljaju predmet stalnog znanstvenog interesa s obzirom na širok raspon tipova prijelaznih pojava i njihov utjecaj na stabilnost i pouzdanost rada sistema.

Posebno je značajno poznavanje prilika u toku prijelaznog perioda pri sklapanju kratkih spojeva jer postoji snažna interakcija između parametara kruga i parametra prekidača, koja se između ostalog manifestira i frekvencijom i amplitudom prijelaznog povratnog napona. Utjecaj parametara od strane izvora i od strane voda uzrokovat će na kontaktima prekidača prijelazni povratni napon prirodne frekvencije kruga u kome se vrši sklapanje. Način kontrole ovog napona značajnije će utjecati na uspješnost prekidanja, te su osnovom teorijskih razmatranja i empirijskih pokazatelja utvrđene zakonitosti koje omogućuju daljnji razvoj prekidnih sistema za primjenu u području visokog napona.

## LITERATURA

- [1] R. MAHMUTĆEHAJIĆ, S. HAJDIN, »Fizika električnog luka u prekidačima«, Energija, 4, 1990.
- [2] M. W. KENNEDY, »Network switching conditions«, članak u knjizi C. H. Flurscheim, »Power circuit breaker-theory and design«, Peter Peregrinus Ltd., str. 66 — 118, London, 1985.
- [3] R. MAHMUTĆEHAJIĆ, S. HAJDIN, »Osvrt na povijest razvoja i primjenu visokonaponskih pneumatskih prekidača«, Energija, vol. 37, No. 2, s. 127 — 133, 1988.
- [4] B. BELIN, »Uvod u teoriju električnih sklopova aparata«, Školska knjiga, Zagreb, 1978.
- [5] R. MAHMUTĆEHAJIĆ, S. HAJDIN, »Osvrt na razvoj i primjenu SF6 prekidača«, Energija, vol. 38, No. 4, s. 313 — 321, 1989.

### BREAKING APPARATUS PHENOMENAS

In the article are described breaking apparatus phenomenas in characteristic HV net operation conditions. On the base of different impacts of net components it is discussed breaking of short circuits from the aspect of the net natural frequencies, breaking in different load conditions and breaking of reactive currents.

### SCHALTUNGSERSCHEINUNGEN

Der Artikel befaßt sich mit der Betrachtung der Schaltungsercheinungen bei einigen charakteristischen Betriebsfällen in Hochspannungsnetzen. Auf Grund verschiedener Einflüsse einzelner Netzkomponenten wurde das Schalten der Kurzschlüsse vom Aspekt der Netz und natürlichen Frequenz betrachtet, sowie das Schalten unter verschiedenen Belastungen wie auch das Entstehen der reaktiven Ströme.

### ЯВЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ

В статье рассматриваются явления соединений при некоторых характерных случаях эксплуатации высоковольтных сетей. Придерживаясь различных воздействий отдельно взятых составляющих сети рассмотрено соединение коротких замыканий с аспекта сетевой и природной частот, соединения при различных условиях нагрузки и соединения реактивных токов.

Naslov pisaca:

**Doc. dr. Rusmir Mahmutćehajić,**  
**dipl. inž.**

**Studij elektrotehnike**

**Istarska bb**

**54000 Osijek, Jugoslavija**

**Silvio Hajdin, inž.**

**DP »Kombinat Belišće«**

**Energetika**

**Titov trg 1**

**54551 Belišće, Jugoslavija**

Uredništvo primilo rukopis:

1990-02-01

# Elektromaterijal Rijeka



35. godina

**TRGOVINA I USLUGE, DRUŠTVENO PODUZEĆE SA P.O.**  
**TRGOVINA NA VELIKO**  
**RIJEKA — Dimitrija Tucovića 13**  
**Žiro račun 33800-601-12386**

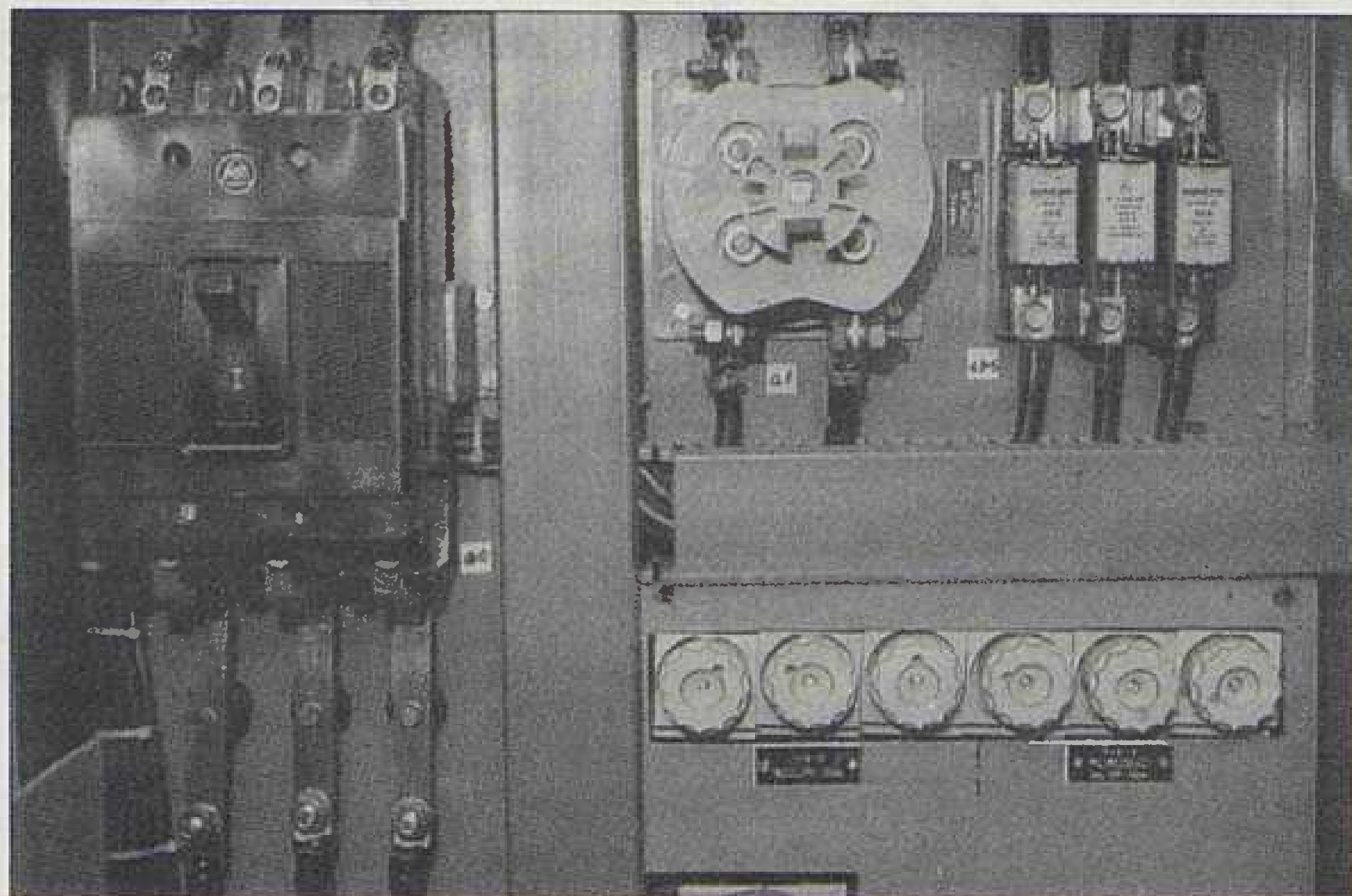
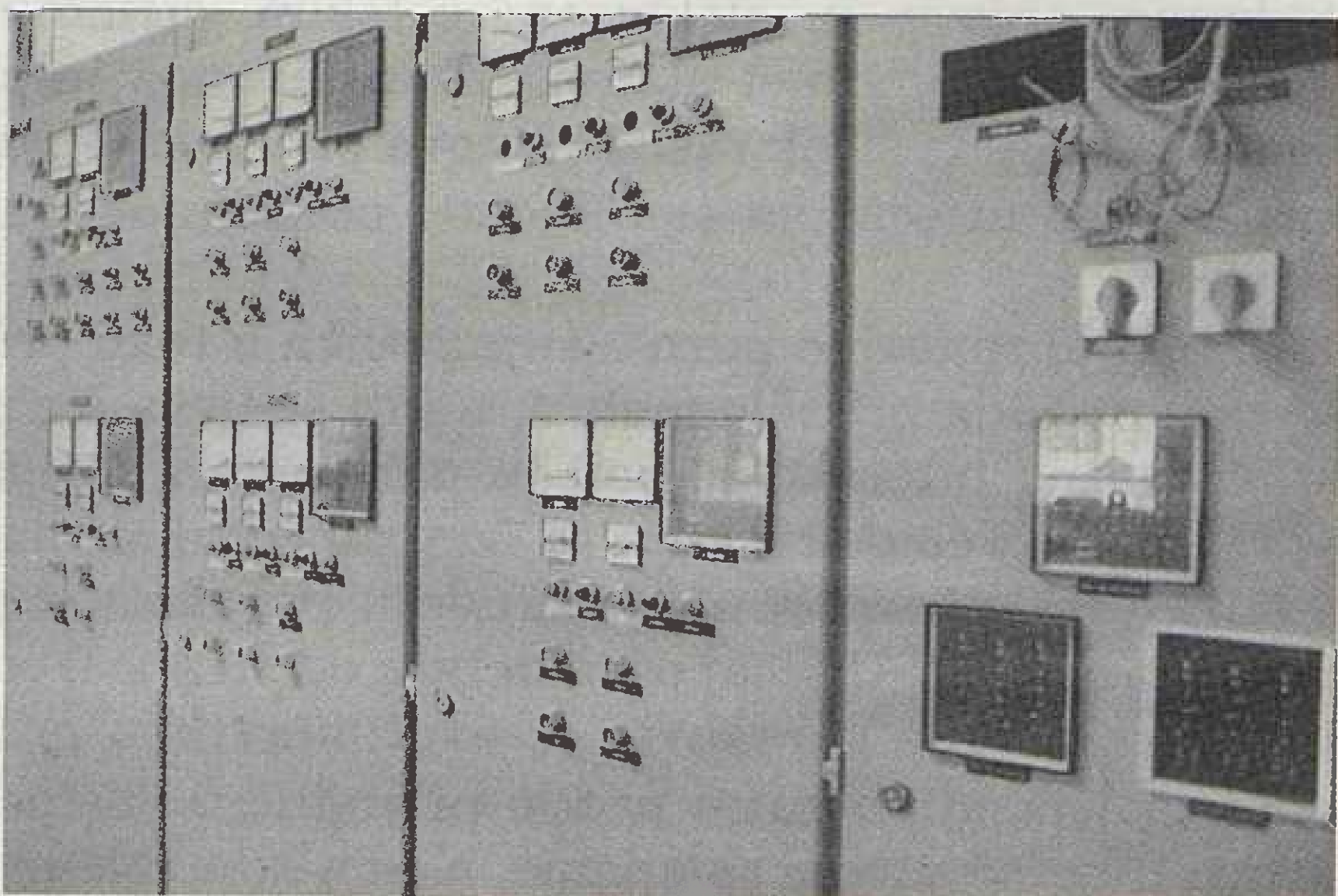
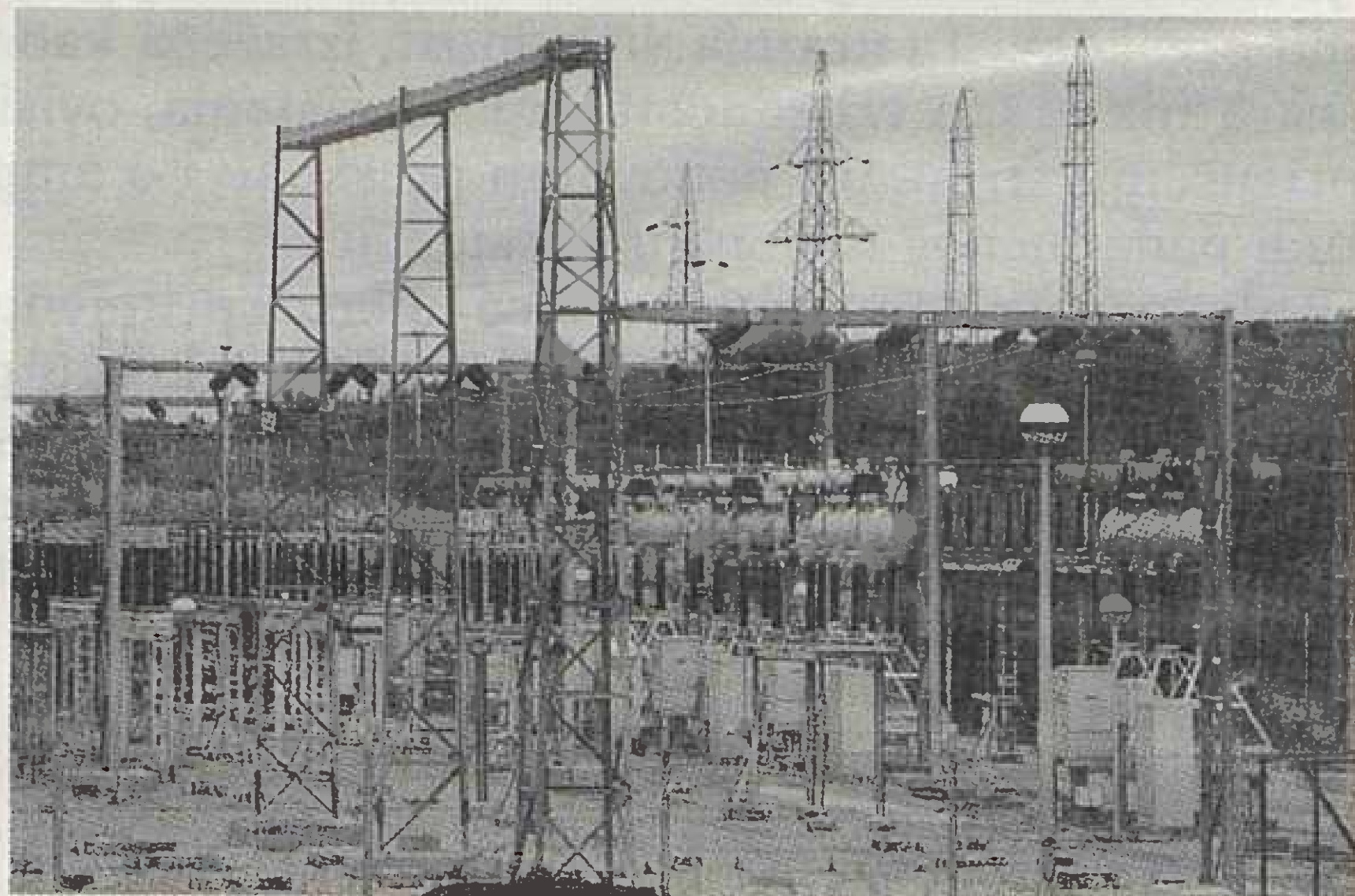
Telefon: centrala  
051/37-777

Telex: 24339  
24671

Telefax: 051/213-670

Obavljajući djelatnost prometa roba i usluga u trgovini 117-tom granom »Elektromaterijal« opskrbljuje sljedeće najznačajnije potrošače: Elektroprivredu, brodograđevnu i ostalu industriju, građevinske, montažerske, PTT i ostale radne organizacije i korisnike, kao i trgovinu na malo.

Koristimo suvremeno izgrađeni informacijski sistem. U moderno uređenim skladištima postignuta je efikasnost poslovanja, kako kroz sredstva unutarnjeg transporta, tako i uz praćenje snažnog vlastitog voznog parka. Sve to omogućuje da se roba u najkraćem vremenu otpremi upravo do Vas koji nam ukazujete povjerenje.



## **RADNE JEDINICE:**

### **RADNA JEDINICA ZAGREB**

Tel: 041/528-872  
041/520-484  
041/520-878

### **RADNA JEDINICA PODRAVSKA SLATINA**

Tel: 054/751-010  
054/751-263  
054/751-481  
28-030

### **RADNA JEDINICA ZADAR**

Tel: 057/24-440  
057/24-844  
27-236

**OUR VELEPRODAJA, ELEKTROPRIVREDA I  
MONTAŽA**

# VIJESTI IZ ELEKTROPRIVREDE

## ELEKTRIFIKACIJA ŽELJEZNICA

Prema već usvojenim programima treba ubrzati rad na elektrifikaciji i modernizaciji naših željeznica. Odlučeno je da treba nastaviti s radovima na izmjeni sistema elektrovuče na dijelu pruge od Srpskih Moravica do Rijeke. Sredstva su osigurana, a posao izvode domaća poduzeća.

Daljnjom modernizacijom željeznica prema razrađenoj projektnoj dokumentaciji planirana je elektrifikacija pruge Split – Knin s odvojkom za Perkovići – Zadar. Razmatra se mogućnost povezivanja sa željeznicom Bosne i Hercegovine gradnjom dionice Dubrovnik – Čapljina.

Željezničko transportno poduzeće Zagreb uvest će u promet suvremenu opremu za udobniji smještaj putnika na dionicama Zagreb – Split i Zagreb – Rijeka. Oprema će se osigurati iz Italije.

Za daljnju budućnost razmatra se mogućnost gradnje jadranske željeznice od Rijeke prema Dubrovniku.

Također treba ubrzati uvođenje elektronske signalizacije na svim prugama. Elektronske signalne uređaje isporučit će domaći i strani proizvođači.

I. R.

## PROIZVODNJA UDRUŽENE ELEKTROPRIVREDE

Ukupna netoproizvodnja električne energije udružene jugoslavenske elektroprivrede u razdoblju siječanj – kolovoz 1990. godine ostvarena je u iznosu od 49,3 milijardi kWh, što je 4,5 posto ispod plana, a 0,8 posto iznad ostvarene proizvodnje u istom razdoblju prošle godine.

Proizvodnja hidroelektrana ostvarena je u iznosu od 12,3 milijardi kWh, što je 32,5 posto ispod plana, a 18,3 posto ispod ostvarene proizvodnje u istom razdoblju prošle godine. Ostvareni dotoci vode kod hidroelektrana su 38 posto ispod planiranih. Ukupno stanje energije u akumulacionim bazenima iznosi 1,9 milijardi kWh, što je 36 posto od mogućeg sadržaja.

Proizvodnja električne energije u termoelektanama na ugljen ostvarena je u iznosu od 30,4 milijardi kWh, što je 9,5 posto iznad plana ili 10,5 posto iznad ostvarene proizvodnje u istom razdoblju prošle godine.

Ukupna proizvodnja na tekuća i plinovita goriva ostvarena je u iznosu od 3,2 milijardi kWh, što je oko 30 posto iznad plana.

Nuklearna elektrana »Krško« ostvarila je proizvodnju električne energije u iznosu od 3,4 milijardi kWh, što je 6,4 posto iznad plana, a 3,2 posto ispod ostvarenja proizvodnje u istom razdoblju prošle godine. Ukupna ostvarena brutopotrošnja električne energije u razdoblju siječanj – kolovoz 1990. godine, iznosi 47,9 milijardi kWh, što je 0,7 posto ispod ostvarene potrošnje u istom razdoblju prošle godine. Ostvaren je ukupan uvoz električne energije u iznosu od 1,9 milijardi kWh, a izvoz od 2,2 milijardi kWh.

I. R.

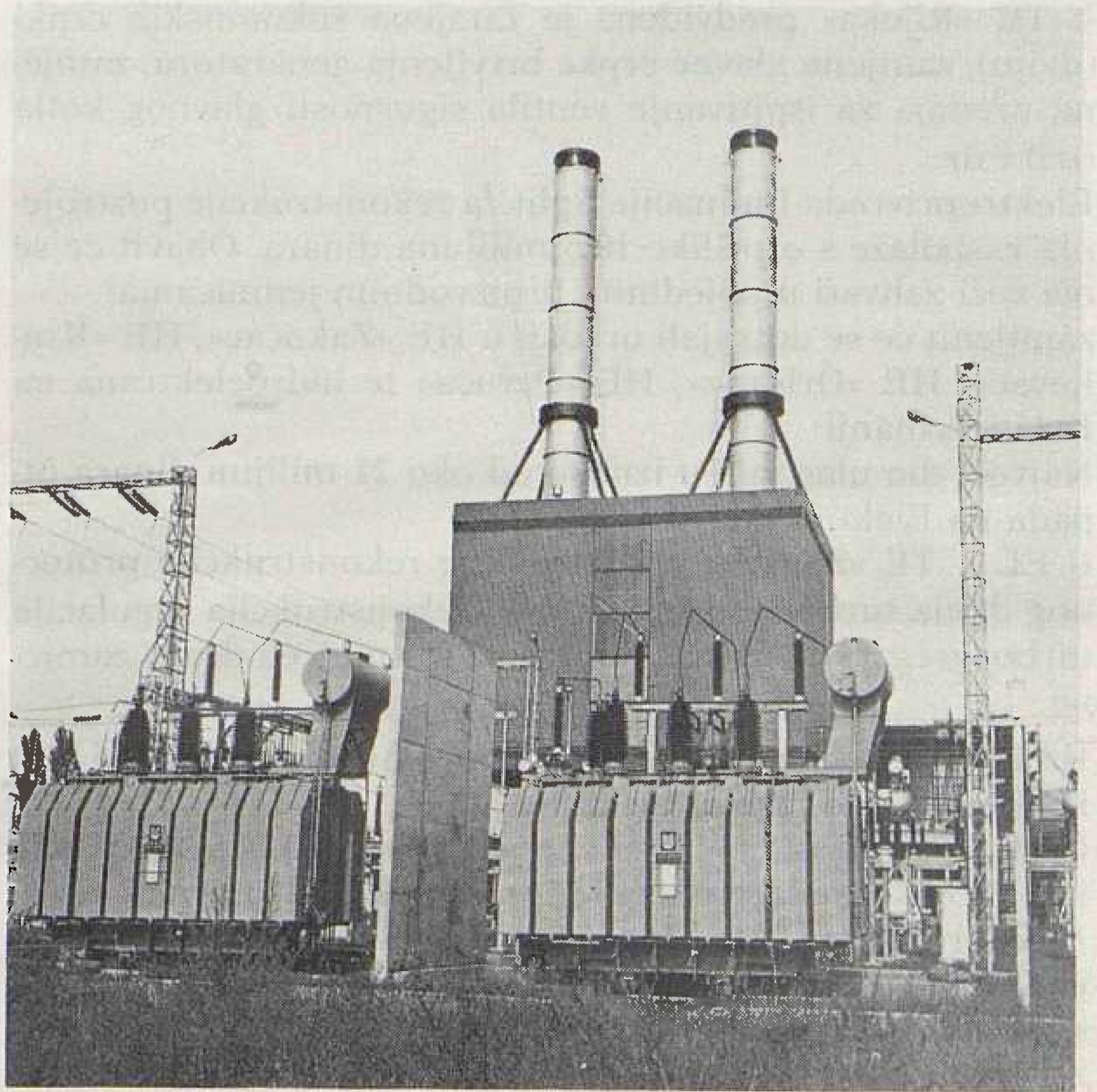
## REVITALIZACIJA PTE OSIJEK

Program revitalizacije termoelektana u Hrvatskoj obuhvatio je i PTE Osijek, snage 2 × 25 MW. Ta elektrana ostvarila

je prvih godina vrijeme korištenja od 1 300 h, odnosno prosječno vrijeme svih 15 godina pogona 960 h, što najbolje govori o njezinoj ulozi u elektroenergetskom sustavu – rezerva, a katkada i u funkciji vršnog postrojenja. Otkidanje komada svječice prouzrokovalo je havariju – oštećenje lopatice prvog stupnja rotora. Taj popravak, ako se pokaže opravdanim, trebalo bi iskoristiti, kad je već obustava pogona, za još neke radove na temelju uočenih nedostataka, što se onda zapravo svodi na revitalizaciju elektrane za dalji pogon od najmanje 15 godina. Ti se radovi mogu podijeliti u dvije grupe:

- Poboljšanje svojstva agregata s novim saznanjima ili u međuvremenu dostignutim unapređenjima, što bi obuhvatilo:
  - uređaj za pranje kompresora i
  - uređaj za odsisavanje uljnih para.
- Obnavljanje svih onih dijelova koji imaju znakove dotrajlosti ili oštećenja, kao što su:
  - toplinska i akustička izolacija
  - popravak komore za izgradnju
  - zamjena dizni za plin i dr.

Revitalizacija, prema tome, obuhvaća uklanjanje kvara i dodatne radove koji se po svojim karakteristikama stvarno ubrajaju u radove revitalizacije, uklanjanje uočenih nedostataka zbog dotrajalih zastarjelih uređaja.



Pogled na PTE Osijek

Traženje opravdanosti za revitalizaciju zasniva se na promatranju učinka revitalizirane PTE Osijek u elektroenergetskom sustavu (s potrebnim investicijama i godišnjim troškovima) i učinka alternativnog rješenja – izgradnje TE na ugljen, dakle nove elektrane. U slučaju revitalizacije računat će se sa snagom PTE Osijek za daljnjih 15 godina, dok će se za novu termoelektanu na ugljen računati sa 30 godina.

Analize su pokazale:

- da je revitalizacija prvog agregata PTE Osijek, pri danas važećim cijenama goriva ekonomski znatno povoljnija

od alternativnog rješenja iako su troškovi goriva (uvozni ugljen) svedeni na najnižu moguću mjeru

- da je revitalizacija prvog agregata PTE Osijek ekonomski izjednačena kod stope aktualizacije od 5 do 40 posto više cijene svih goriva i povoljnija kod viših stopa aktualizacije i
- da je za slučaj povećanja cijena goriva izvan okvira predviđenih u ovim analizama potrebno ponoviti proračun.

I. R.

## REKONSTRUKCIJA PROIZVODNIH POGONA

Plan rekonstrukcije i modernizacije u djelatnosti proizvodnje električne energije za 1990. godinu u Hrvatskoj se uspješno ostvaruje. Planirana su ulaganja u visini 57 milijuna dinara, koja su raspoređena na elektroprivredne organizacije Osijeka, Rijeke, Splita i Zagreba.

Od planiranih ulaganja elektroprivreda Rijeke ulaže u HE »Senj« i »Sklope« za nabavu dotrajale dijelove opreme. U HE »Nikola Tesla« Vinodol planirana je rekonstrukcija mjernih transformatora i rekonstrukcija pogona 35 kV rastavljača i prekidača, a u strojarnici će se rekonstruirati dizalica 60 tona te turbinska kola, a obavit će se manje zamjene na pojedinim uređajima.

Kvarnerske elektrane obavljaju rekonstrukciju zaštite, ulazne signalizacije i dr.

U TE »Plomin« ugradit će se sabirničke zaštite na 110 kV postrojenju, zamijenit će se više diznih ispuhivača i kompresorske stanice.

U TE »Rijeka« predviđena je zamjena vakuumskih crpki (dviju), zamjena glavne crpke brtvljenja generatora, zamjena uređaja za ispitivanje ventila sigurnosti glavnog kotla (tri) i dr.

Elektroprivreda Dalmacije Split za rekonstrukcije postrojenja raspolaže s otprilike 10,5 milijuna dinara. Obavit će se ovi veći zahvati u pojedinim proizvodnim jedinicama:

zamijenit će se dotrajali uređaji u HE »Zakućac«, HE »Kraljevac«, HE »Orlovac«, HE »Peruća« te hidroelektrana na Krki i Zrmanji.

Najveći dio ulaganja u iznosu od oko 21 milijun dinara otpada na Elektroprivredu Zagreb.

U EL — TE »Zagreb« predviđena je rekonstrukcija protočnog dijela turboagregata 30 MW, rekonstrukcija regulacije turboagregata 12 MW, kompresorske stanice i druge zamjene.

U TE »Sisak« rekonstruirat će se strojarnica (građevini dio) izmijenit će se rashladne crpke.

U TE — TO »Zagreb« završena je rekonstrukcija 30 kV ćelija, rekonstrukcija regulacije i mjerenja u strojarnici bloka 1 i 2, proširenje skladišta kiselina, lužina i tehničkih plinova, rekonstrukcija plinske rampe na kotlu bloka 3, rekonstrukcija razvoda goriva na kotlovima i još neke zamjene. Za rekonstrukciju postrojenja za kemijsku pripremu tehnološke vode u TE »Jertovec« ulaže se oko 4,1 milijun dinara, a predviđene su i još neke manje zamjene.

U HE »Gojak« — izvodi se rekonstrukcija prekidača, rastavljača, zamjena zaštite, signalizacije i manje zamjene.

U dravskim elektranama na području Hrvatske u HE »Čakovec« predviđene su razne zamjene, a u HE »Varaždin« izvodi se rekonstrukcija daljinskog upravljanja branom (elektronička oprema i zamjena turbinskih regulatora).

I. R.

## POTROŠNJA GORIVA U TERMoeLEKTRANAMA

U razdoblju siječanj — kolovoz 1990. godine u termoelektranama Hrvatske elektroprivrede ukupan potrošak goriva ostvaren je u termoelektranama u sljedećim količinama:

	Plan	I — VIII.	
		ostvarenje	%
Ugljen	119 100	205 912 tona	173
Loživo ulje	469 500	490 685 tona	104,5
Zemni plin	130.5	315.4 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	241,7
Koksnii plin	51.0	20.8 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	41,0

Povećano korištenje zemnog plina najviše je iskazano u TE Sisak, EL — TO »Zagreb«, TE — TO »Zagreb«, TE — TO »Osijek« i TE »Jertovec«. Koksnii plin koristila je samo TE Rijeka, (oko 21,0 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>).

Isporuke loživog ulja su se kretale uglavnom u okvirima planiranih količina.

I. R.

## ENERGETSKO KORIŠTENJE KUPE

Izrađen je Osnovni projekt energetskeg korištenje voda rijeke Kupe. Predviđena je gradnja hidroelektrane Kupari kao derivacijskog postrojenja. Tlačnim tunelom dužine 6 852 metra i promjera 3,75 metra voda bi se iz akumulacijskog jezera dovodila do vodne komore, a nakon toga tlačnim cjevovodom promjera 3,25 metra i dužine 119,5 metara do turbine.

Predviđena je veličina izgradnje od 34 m<sup>3</sup>/sek i ugradnja samo jednog agregata. Proizvodnja električne energije iznosila bi oko 65 GWh, a snage 18,9 MW. Kao što je već rečeno, u osnovnom projektu koncepcijsko rješenje HE Kupari zasnovano je kao derivacijsko s dužinom tunela 6 852 metra. Smanjenjem tunela po 1 000 metara do pribanskog postrojenja uz istu veličinu izgradnje proračunat će se investicijska ulaganja i moguća proizvodnja električne energije, te će se uklapanjem pojedine promatrane varijante izgradnje HE Kupari u elektroenergetskom sistemu odrediti najpovoljnije.

U posebnoj studiji »Hidroelektrana Kupari — različite varijante izgradnje — obrađeno je šest varijanti. Investitor i projektanti izabrat će najrentabilniju i najpovoljniju varijantu za izgradnju hidroelektrane Kupari.

I. R.

# IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

## SNIŽAVA SE CIJENA STRUJE IZ VJETROELEKTRANA U DANSKOJ

Pokazalo se da su elektrane na vjetar ekološki povoljniji i ekonomični izvori energije. Dokaz za to je razvoj upotrebe takvih uređaja u Danskoj. Danas u toj zemlji ima više od 2 000 vjetroelektrana, ukupne instalirane snage od oko 150 MW. Ta se snaga godišnje povećava za nekih 50 MW. Uređaji su pretežno u vlasništvu privatnika ili zadruga, gdje svako domaćinstvo dobiva godišnje svoj dio proizvodnje. Cijena jednog kWh proizvedenog u vjetroelektrani znatno se smanjila. Dok je 1980. godine stajala 0,27 DEM/kWh, godine 1989. ona je pala na 0,08 DEM/kWh. Danski su proizvođači uređaja to postigli rubustnom i kvalitetnom konstrukcijom u klasi instalirane snage 200 do 300 kW. Uređaji rade ekonomično i s velikom pouzdanošću. Tome je pridonio i danski savez posjednika vjetroelektrana koji izdaje mjesečnu statistiku o radu postrojenja. Odmah se registriraju svi kvarovi s oznakom kvara, kao upozorenje ostalima. Treba istaći da su i u SR Njemačkoj također već postigli sniženje cijene na 0,13 DEM/kWh struje iz vjetrenjača.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 89 (1990), br. 8

Mrk.

## PROVJERA PRORAČUNA TEMPERATURE OPTEREĆENOG VODIČA

Pri kontroli provjera vodiča dalekovoda u pogonu potrebno je između ostalog znati i stvarnu temperaturu vodiča. Za utvrđivanje te temperature razrađene su računске metode koje su u njemačkom elektroproizvodnom poduzeću Badenwerk A. G. htjeli provjeriti. Konkretna su mjerenja provedena na vodu 110 kV, na dva tipa vodiča različite starosti. Mjereno je sljedeće:

- struja u vodiču u trafostanici
- temperatura vodiča, pomoću radiosonde pričvršćene na vodič; podaci su hvatani u radiostanici terenskog vozila
- smjer i brzina vjetra, temperatura zraka, meteorološkim instrumentima na visini vodiča te globalno zračenje
- temperatura površine zemlje.

Poteškoća se pojavila pri utvrđivanju statističkih vrijednosti temperature. Stalna promjena brzine vjetra utjecala je na mjerne vrijednosti temperature, pa je trebalo računati prosjeke. Unatoč tome proračunane i mjerene vrijednosti nisu se razlikovale više od  $\pm 3$  °C. Treba međutim računati da se temperatura površine i jezgre vodiča razlikuje za neka 3 °C pri srednjem vjetru.

Pokazalo se da se dobiju dovoljno točni podaci o stvarnoj temperaturi opterećenog vodiča, ako se mjeri struja, te na visini oko 2 m iznad zemlje temperatura, brzina, smjer vjetra i globalno zračenje.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 89 (1990), br. 9

Mrk.

## RASIPANJE ENERGIJE U DR NJEMAČKOJ

Uz različite probleme kao što je npr. monetarni i mnogobrojni drugi koji se pojavljuju u vezi sa sjedinjenjem dviju

njemačkih država pojavljuju se i energetske problemi. Oko 17 milijuna žitelja DR Njemačke troši godišnje 130 milijuna SKE (ekvivalentnog ugljena), ponajviše domaći smeđi ugljen. Statistike pokazuju veliko energetske rasipanje. Da se proizvede vrijednost od 1 000 DEM Njemačka DR treba 414 kg SKE, a SR Njemačka tek 217 kg.

Godišnja potreba energije po stanovniku u Njemačkoj DR iznosi 7,7 t SKE, a u SR Njemačkoj 6,2 t.

U termoelektranama izgara smeđu ugljen bez pročišćavanja dimnih plinova, što teško opterećuje okoliš. Dio sumpor-dioksida, koji računom po stanovniku odlazi u atmosferu deset je puta veći nego u susjednoj SR Njemačkoj.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 89 (1990), br. 9

Mrk.

## REGISTRACIJA ATMOSFERSKIH PRAŽNENJA

Francuska tvrtka Dimensions razvila je uređaj nazvan *safir* kojim je moguće unaprijed predvidjeti atmosferska pražnjenja prilikom nevremena i time upozoriti na prijeteće gromove. Uređaj je montiran i ispitan na aerodromu Kennedy na Floridi, aerodrom Konrou u Francuskoj Gvajani i ispitnom centru kraj Bordeauxa.

Safir reagira na električne i elektromagnetske fenomene koji su važni pri razvoju olujnih oblaka. Radiointerometričke metode omogućuju da se odredi lokacija visokofrekventnih zračenja od munje u oblacima ili na zemlji. Uređaji također mjere i električno polje na zemlji na temelju čega se može zaključiti o smjeru i veličini udara munje. Safir se sastoji od 3 automatske mjerne stanice i centralne stanice gdje se sakupljaju i obrađuju dobiveni podaci. Stanice hvataju signale na frekvencijama 100 do 140 MHz u krugu od nekih 200 km. One se postavljaju tako da je njihova međusobna udaljenost 20 do 100 km. Pokrivena površina iznosi maksimalno 300 km × 300 km, a lociranje groma dobiva se s točnošću od nekoliko stotina metara do 5 km. Dobiveni podaci obrađuju se u centralnoj stanici te se pojavljuju na ekranu slično radaru. Dolazak prvih munja može se na taj način predvidjeti 30 minuta ranije.

Tvrtka Dimensions nudi i jednostavnu izvedbu sa samo jednom stanicom.

*Elektrizitätswirtschaft*, god. 89 (1990), br. 9

Mrk.

## HIDROELEKTRANA ZAPADNE EVROPE I SKANDINAVIJE

U mjesečniku *Water Power*, 1990, br. 3 izašao je zanimljiv pregled hidroelektrana i pumpnih elektrana zapadne Evrope i Skandinavije, koji u nešto skraćenom obliku donosimo u ovom osvrtu. U tablici je dano 10 podataka o hidroelektranama zemalja navedenih područja. Prvo je dana tehničko-ekonomski moguća iskoristivost hidroenergetskih izvora kao očekivana srednja godišnja proizvodnja u GWh. Zatim su dane dvije grupe kolona. Prve se odnose na čiste hidroelektrane, a druge na pumpne hidroelektrane. Kao za hidroelektrane u pogonu tako i za one u gradnji navedena je instalirana snaga u MW. Za elektrane u pogonu navedena je proizvodnja u 1989. godini, a za one u gradnji planira-

na proizvodnja srednje godine u GWh. Daljnja kolona daje postotak proizvodnje u hidroelektranama od ukupne proizvodnje električne energije u toj zemlji. Na kraju su izneseni podaci o broju pumpnih hidroelektrana i njihova instalirana snaga, kako onih u pogonu, tako i onih u gradnji.

Podaci upućuju na velik postotak izgrađenosti hidroizvora u promatranom području, osim na Islandu, Portugalu i

Španjolskoj gdje su ispod 35%. Udio hidroelektrana u ukupnoj proizvodnji pada u svim zemljama, samo na Islandu i Norveškoj blizu je 100%. Švicarska i Švedska, poznate po svojim vodnim snagama, sada tek neznatno preko polovine svojih elektroenergetskih potreba namiruju iz hidroizvora.

Mrk.

### Hidroelektrane zapadne Evrope i Skandinavije

Zemlja	Potencijal iskoristivosti tehnički i ekonomski GWh/g	Hidroelektrane					Pumpne hidroelektrane			
		U pogonu		U gradnji		Proizv.	U pogonu		U izgradnji	
		Inst. MW	Proizv. GWh/g	Inst. MW	Srednje GWh/g	HE %	Broj	Inst. MW	Broj	Inst. MW
Austrija	53 700	10 200	36 136	200	520	72,0	17	2081	0	
Belgija	...	93	356	3	...	3,8	2	1 211	0	0
Danska	70	10	4	...	...	0,0	0	0	0	0
Finska	20 000	2 600	12 770	40	150	25,1	0	0	0	0
Francuska	72 000	69 200	120	457	21,0	22	4 900	0	0	
Island	45 000	752	4 213	150	720	94,2	0	0	0	0
Irska	1 180	220	676	0,3	2	5,1	1	252	0	0
Italija	65 000	13 300	35 000	600	800	17,8	20	5 150	2	1 338
Luksemburg	120	28	76	0	0	5,7	1	1 096	0	0
Nizozemska	500	24	10	12	35	0,0	0	0	0	0
Norveška	172 000	25 500	118 650	1 200	2 949	99,6	22	1 339	1	600
Njemačka SR	24 000	3 559	19 342	80	400	4,5	26	3 726	1	150
Portugal	35 920	3 096	12 968	628	...	59,0	4	558	0	0
Španija	67 220	11 678	18 936	490	605	13,3	22	4 831	3	1 320
Švedska	99 000	16 200	70 806	200	400	50,9	3	427	0	0
Švicarska	41 000	11 600	30 485	270	828	57,4	12	1 178	1	3
Velika Britanija	5 200	1 295	3 912	0	0	1,5	5	3 023	0	0

### PROIZVODNJA ELEKTROENERGIJE U ČEŠKOSLOVAČKOJ

Češkoslovačka je država površine 128 000 km<sup>2</sup> sa 15,6 milijuna stanovnika. U godini 1988. potrošeno je 3 182 PJ primarne energije. U zemlji je proizvedeno 2 187 PJ, i to prvenstveno na bazi čvrstih goriva, dok je razlika, po prilici trećina, uvezena. Od ukupno potrošene primarne energije 58% otpada na čvrsta goriva, okruglo 20% na tekuća, 12% na plinovita, a preostalih 10% čine različita druga goriva.

U 1988. godini proizvodnja električne energije kretala se kako slijedi:

ukupna proizvodnja	87 430 GWh
ukupna potrošnja	90 477 GWh
instalirana snaga elektrane	21 722 MW
vrh opterećenja	13 525 MW

Potrošnja kao i vrh opterećenja povećali su se u posljednjih 10 godina 25%. To daje prosječni desetogodišnji porast do 2,2% godišnje.

Proizvodnja električne energije na generatoru bila je na bazi slijedećih energenata (u GWh).

	Elektroprivreda	Industrija	Ukupno
Para	49 548	10 339	59 887
Voda	4 254	—	4 254
Nuklearna en.	23 289	—	23 289
Vlastiti potrošak	-5 463	-603	-6 065
Raspoloživo	71 628	9 736	81 364
Kupnja od ind.	838	-838	
Uvoz	9 659	—	9 659
Ukupno raspoloživo	82 125	8 898	91 023

Od uvezenih 9 659 GWh izvezeno je 6 611 GWh tako da je saldo uvoza oko 3 TWh. Gubici u mreži iznose 5 892 GWh, odnosno 7,2% ukupno raspoložive električne energije.

ÖZE, god. 43 (1990), br. 5

Mrk.

### VOD 220 kV IZMEĐU AUSTRIJE I ŠVICARSKE

Početkom travnja 1990. u pogon je stavljena nova visokonaponska veza između Austrije i Švicarske. Dosada se izmjena električne energije između ove dvije zemlje mogla vršiti samo zaobilazno preko njemačke mreže. Dalekovod 220 kV veže sjeveroistočne švicarske elektrane (NoK) i rasklopnu stanicu Meiningen u Vorarlbergu u Austriji. Tim povezivanjem znatno je povećana pogonska sigurnost mreža istočnog dijela Švicarske i omogućen optimalni pogon elektrana jedne i druge zemlje.

ÖZE, god. 43 (1990), br. 5

Mrk.

### POTROŠAK PRIMARNE ENERGIJE U SR NJEMAČKOJ 1989.

Potrošak primarne energije u SR Njemačkoj 1989. iznosio je ukupno 383,5 milijuna tona SKE (ekvivalenta kamenog ugljena 29,3 GJ/t), što je 1,6% manje od potroška prethodne godine. Glavni energent još je uvijek nafta čiji udio u ukupnoj primarnoj energiji iznosi 40,3%, ali je njezin potrošak za 5,5% niži nego 1988.

Udjeli energenata i promjene potroška u postocima dani su u sljedećem pregledu:

Energent	Udio	Prema 1988. g.
Ukupno primarne energije	100%	- 1,6%
Nafta	40,3	- 5,5
Kameni ugljen	19,2	- 1,6
Zemni plin	16,9	+ 4,2
Nuklearna energija	12,5	+ 2,4
Smeđi ugljen	8,5	+ 2,9
Vodna energija	1,4	- 11,5
Ostalo	1,2	-

Kao što iz tablice proizlazi, znatno je povećan potrošak zemnog plina i nuklearne energije, a pala hidroproizvodnja zbog meteoroloških prilika.

*Energie*, god. 42 (1990), br. 4

Mrk.

### ISTRAŽIVANJE ZAGAĐENOSTI SJEVERNOG MORA

U toku 1988. i 1989. godine provedeno je 15 mjesečno ispitivanje zagađenja Sjevernog mora. Istraživanje je organizirao britanski Natural Environment Research Council (NERC) s Nijemcima i Nizozemcima brodom Challenger. Cilj ispitivanja je bilo dobivanje realnog modela kvalitete vode. Model bi trebao pokazati precizne podatke o zagađenju, posljedicama ispuštanja nafte i ubacivanju otpadaka. Brod je pravio 15 krstarenja po istoj ruti mjesečno. Na 120 mjesta mjerila se kvaliteta vode na površini i transfer kemikalija iz atmosfere u more. Dosada se mislilo da more apsorbira oko 50% ugljik-dioksida koji se umjetno proizvede na zemlji, ali ta su istraživanja pokazala da je taj iznos samo 30%. To ukazuje da bi se efekt staklenika mogao ubrzati. Istraživanja algi su pokazala da su one krive za oko četvrtinu kiselih kiša koje padaju nad Evropom. One proizvode kemikaliju dimetilsulfid koja u atmosferi djeluje na stvaranje sumpor-dioksida i kiselina. Proizvodnja kiselina na sjevernom moru šest puta je veća nego na otvorenim morima jer je ono biološki najaktivnije na svijetu. Istraživano je i cvjetanje mora i u vezi s tom koncentracijom dušika i fosfora iz umjetnog gnojiva i deterdženata. Time je omogućeno da NERC sastavi prvi atlas hranjivih sastojaka u Sjevernom moru.

*Energie*, god. 42 (1990), br. 4

Mrk.

### NORVEŠKA POSTAJE EVROPSKA ENERGETSKA VELESILA

Norveška će devedesetih godina postati evropski dobavljač energije broj jedan. Dobava energenata iz Norveške praktički je privredna i ekološka alternativa nuklearnoj energiji, plinu iz SSSR-a i nafti. Od prvih nalazišta prošlo je 20 godina, a istraživanja i eksploatacija sve se više razvijaju. Novo nalazište Troll nalazi se u moru 100 km zapadno od Bergena. Planira se da će 1996. ta bušotina davati godišnje 16,5 milijardi m<sup>3</sup> plina, a to je energija koja odgovara električnoj energiji što je norveška industrija dobiva iz hidroelektrana.

Danas norveški plinovod svršava u Emdenu u Njemačkoj, a u planu je gradnja još dvaju plinovoda, koji bi završavali u Belgiji ili Nizozemskoj. Predviđa se da bi potkraj stoljeća

tri polja — Ekofisk, Sleipner i Troll — mogli davati 40 milijardi m<sup>3</sup> plina godišnje.

Posljednjih 10 godina Norveška se razvija u tehnološki samostalnog naftnog i plinskog isporučioaca. Isprva ovisni o američkoj i engleskoj tehnici, Norvežani su postali potpuno samostalni i pri tome bitno usavršili i pojeftinili tehniku bušenja.

Projekt Troll ne samo što će omogućiti iskorištenje nalazišta od 400 milijuna m<sup>3</sup> nafte već će zaposliti i 1 500 radnika.

Norveška još ima velike mogućnosti iskorištenja bogatih nalazišta koja leže daleko na sjeveru. Tamo 100 milijardi m<sup>3</sup> plina čeka platformu. No poteškoća je u tome da se ono nalazi 3 000 km od evropskog potrošača. Danas nema tehnologija koja bi ekonomično mogla iskoristiti ove mogućnosti.

*Energie*, god. 42 (1990), br. 5

Mrk.

### U KANADI 30 NUKLEARKI DO 2014. GODINE

Nasuprot čestom mišljenju da u svijetu opada interes za izgradnju nuklearnih elektrana može se tvrditi obrnuto. Samo u 1989. godini ušlo je u pogon 10 novih nuklearki, a mnoge zemlje grade svoju energetska budućnost na nuklearnoj energiji, npr. Kanada. Ona ima u planu da u sljedećih 25 godina izgradi 10 novih nuklearnih elektrana ukupne snage oko 9 000 MW. Udio električne energije iz nuklearnih elektrana već sada iznosi 51% da bi do 2014 godine narasla na 67%. Tada bi u zemlji bilo u pogonu 30 nuklearki.

*Energie*, god. 42 (1990), br. 4

Mrk.

### ZA ČISTU RAJNU 20 MILIJARDI DEM

U studiji Njemačke komisije za čistoću Rajne izneseno je, a sjevernovestfalski ministar za čistoću okoliša objavio da će se nečistoće koje u Rajnu odbacuje industrija i kanalizacija do 1995. godine smanjiti na polovinu. Ona bi se do godine 2000. toliko pročistila da bi u njoj opet mogli živjeti lososi. Na temelju ovako očekivanih poboljšanja voda ove rijeke mogla bi se upotrijebiti i za piće.

Ukupno će iz vode nestati 30 štetnih tvari, i to ponajprije pročišćavanjem kanalske vode na bazi najnovijih tehničkih dostignuća. Procijenjeno je da će komunalni i industrijski pročistači stajati oko 20 milijardi DEM.

To će, dakako povećati iznose koji građani plaćaju za odvodnju. Posebna je radna grupa komisije osnovana za studij mogućnosti zaštite od zagađenja iz poljoprivrede i ostalog.

*Energie*, god. 42 (1990), br. 5

Mrk.

### EdF PLANIRA PRODAJU STRUJE U ENGLESKU

Francusko državno elektroprivredno poduzeće Electricite de France (EdF) upravo je pred potpisivanjem ugovora za prodaju električne energije Velike Britanije. U sljedeće tri godine Velika Britanija plaćala bi godišnje 1,5 milijardi do 3 milijarde FRF, a EdF bi stavio na raspolaganje snagu 1 550 MW. Ovim je ugovorom u Velikoj Britaniji vezano 12 distributivnih poduzeća.

*ETZ*, god. 111 (1990), br. 7/8

Mrk.

## KRIMSKA EKSPERIMENTALNA SUNČEVA ELEKTRANA

Krimska eksperimentalna solarna elektrana krenula je u pogon u rujnu 1985. To je uređaj sa zrcalima kojima se grije para za pogon turboagregata. Parabolična zrcala pojedinačne površine 25 m<sup>2</sup>, ukupne površine 40 000 m<sup>2</sup> automatski se upravljaju tako da se snop sunčevih zraka fokusira na parogenerator. U njemu se proizvodi para pod tlakom od 40 bara i 250°C. Uređaj za proizvodnju električne energije je standardnog klasičnog tipa. Turbina pokreće generator snage 5,6 MW i preko transformatora energije ulazi u javnu mrežu 35 kV.

Glavni problemi pri uhodavanju elektrane bio je rad automatike za fokusiranje heliostata. Mnogo je bilo i drugih potrebnih poboljšanja, npr. trebalo je smanjiti toplinske gubitke, organizirati čišćenje zrcala i slično.

Nužno je uskladiti suradnju različitih instituta i dobavljača, što treba nastojati u budućim gradnjama takvih elektrana. Kako je rad ove eksperimentalne elektrane povoljno ocijenjen, smatra se pogodnim da bi takav tip mogao biti građen uz klasične termoelektrane kao njihova dopuna. Na području Krima planira se gradnja i drugih tipova nekonvencionalnih elektrana, npr. fotovoltaičkih i vjetroelektrana.

Krimska solarna elektrana proizvodi godišnje 250 000 kWh.

*Električeskie stancii*, god. 1990, br. 4

Mrk.

## ELEKTROENERGETSKI PLANOVI TURSKE

Turska ima u planu brzo povećanje svoje energetske potrošnje, ali zemlja ne raspolaže potrebnim financijskim

sredstvima da izgradi potrebne energetske objekte. Zbog toga država nastoji privući privatni i inozemni kapital kako bi ga uložio u sektor energetike. Predlaže se da bi se investicije uložene u elektrane otplaćivale prodajom električne energije turskom elektroprivrednom poduzeću TEK. Za nekih 15 do 20 godina elektrane bi postale tursko vlasništvo. Potencijalni inozemni investitori postavljaju, međutim, pitanje političke i ekonomske stabilnosti zemlje i niskih tarifa TEK.

Predviđa se da se do 2000. godine utrostruči proizvodni potencijal hidroelektrana, poveća 2,5 puta proizvodnja lignita, i 2,6 put proizvodnja električne energije. U razmatranju je korištenje nuklearne energije i povećano dobivanje nafte u zemlji.

*RGE*, god. 1990, br. 1

Mrk.

## NAJVEĆA EVROPSKA PLINSKA TURBINA ZA ŠVEDSKU

Zapadnonjemačka tvrtka Siemens primila je od Švedskog elektroprivrednog poduzeća Sydkraft iz Malmö narudžbu za dobavu kompletne plinske elektrane koja bi se gradila u mjestu Halmstadu na švedskoj zapadnoj obali. Maksimalna snaga turbine iznosit će 172 MW, a ulazak u pogon predviđen je 1993. godine. To je zasada plinska turbina najveće snage u Evropi.

*ETZ*, god. 111 (1990), br. 9

Mrk.

# SAVJETOVANJA I KONFERENCIJE

## IZ DJELOVANJA JUKO CIGRE U 1990. GODINI

Ovogodišnje djelovanje JUKO CIGRE odvijalo se u nekoliko pravaca.

U prvom redu to je bio rad što se odvijao u 15 studijskih komiteta koji su u toku godine raspravljali o užoj stručnoj tematici iz područja svoga djelovanja

Tijekom godine održani su i širi specijalizirani skupovi koji su razmatrali specifične probleme iz područja djelovanja pojedinih studijskih komiteta (STK):

1. U organizaciji STK 31-Distributivne mreže, u hotelskom naselju Solaris u Šibeniku održana je od 24 do 27. rujna stručna konzultacija o normativima za reviziju, održavanje i remont elektrodistributivnih objekata.

Razmotreno je 28 referata, a razmatrana problematika bila je svrstana u sedam tematskih područja:

- transformatorske stanice
- nadzemni vodovi
- kabelski vodovi
- transformatori
- uzemljenja

- zaštitni uređaji
- optimalni oblik organizacije održavanja.

Na ovoj konzultaciji sudjelovalo je 149 sudionika. Konzultaciju su kao sponzori podržale firme:

- EMO — Ohrid
- Dalekovod — Fusterer — Zagreb
- Rade Končar — Zagreb
- Sediver — Paris
- TEP — Zagreb.

2. U organizaciji STK 21 Energetski kabeli u Vrdniku na Fruškoj gori održan je od 15 do 20. listopada »12. simpozij o energetskim kabelima«.

Razmotreno je 28 referata, a problematika o kojoj se raspravljalo bila je svrstana u pet stručnih grupa:

- konstrukcija kabela i kabelski materijal
- kabelski pribor i polaganje kabela
- eksploatacija kabela
- kabelske mreže
- standardi i propisi.

Sudjelovalo je 178 sudionika. Domaćin simpozija bila je DP »Novosadska fabrika kabela«, a sponzori:



RAYCHEM GmbH, München  
MP MARTINEK ENERGIETECHNIK, Austrija  
RTB BOR FABRIKA KABLOVA ZAJEČAR  
ELKA, Zagreb  
TEP, Zagreb  
ELEKTROVOJVODINA, Novi Sad  
ELEKTROVOJVODINA JUŽNA BAČKA, Ruma.

3. U organizaciji STK 35 Komunikacije i daljinsko upravljanje i STK 39 Pogon i vođenje elektroenergetskog sistema održano je u Cavtatu od 6 do 9 studenog »VIII. stručno savjetovanje o upravljanju i informatici u elektroprivredi Jugoslavije«.

Na Savjetovanju je razmotreno 49 referata svrstanih u šest grupa:

- centri vođenja
- lokalno i daljinsko upravljanje u objektima
- programska oprema — aplikacije
- baze podataka
- računarske komunikacije i prikupljanje podataka
- telekomunikacije.

Sudjelovalo je 209 stručnjaka, a sponzori su bile firme:

UNION INVEST — CAMILLE BAUER  
RADE KONČAR INŽENJERING  
EMPROS — SDU — M. PUPIN — N. TESLA

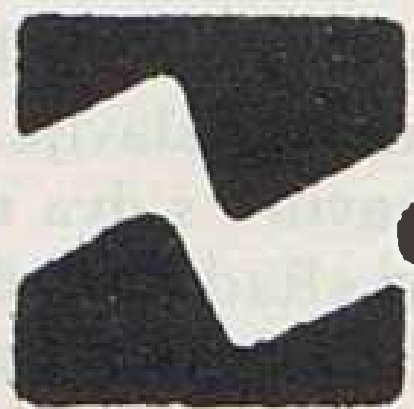
ABB — MCS  
ELEKTROTEHNA ELZAS — MOTORO LA STORNO  
EI INDUSTRIJSKA ELEKTRONIKA  
ISKRA ELEKTROZVEZE  
DIGIT — Zemun.

STK 33 održao 17. i 18. listopada u Sarajevu kolokvij o ZnO-odvodnicima. Stručnjaci JUKO CIGRE aktivno su sudjelovali na Savjetovanju koje je organizirao JUGEL od 23. do 26. travnja u Ohridu na temu »Razvoj elektroprivrede Jugoslavije od 1991. do 2000. godine«.

Na savjetovanju međunarodne CIGRE u Parizu od 26. kolovoza do 1. rujna sudjelovali su i stručnjaci iz Jugoslavije. Između ostalog, naši stručnjaci su se predstavili i s dva referata u grupi 11-Transformatori. Z. Godec iz »Rade Končara« s referatom Kako izbjeći neke systemske greške kod mjerenja zagrijavanja transformatora, a u grupi 35-Telekomunikacije i upravljanje V. Drašković iz Instituta M. Pupin i N. Simić iz Elektrotehničkog fakulteta Beograd govorili su o rezultatima višegodišnjeg eksperimentalnog ispitivanja kvalitete prijenosa podataka VF-vezama.

Na kraju napominjemo da se u JUKO CIGRE aktivno priprema XX. savjetovanje što će se održati od 21. do 25. travnja 1991. u Neumu.

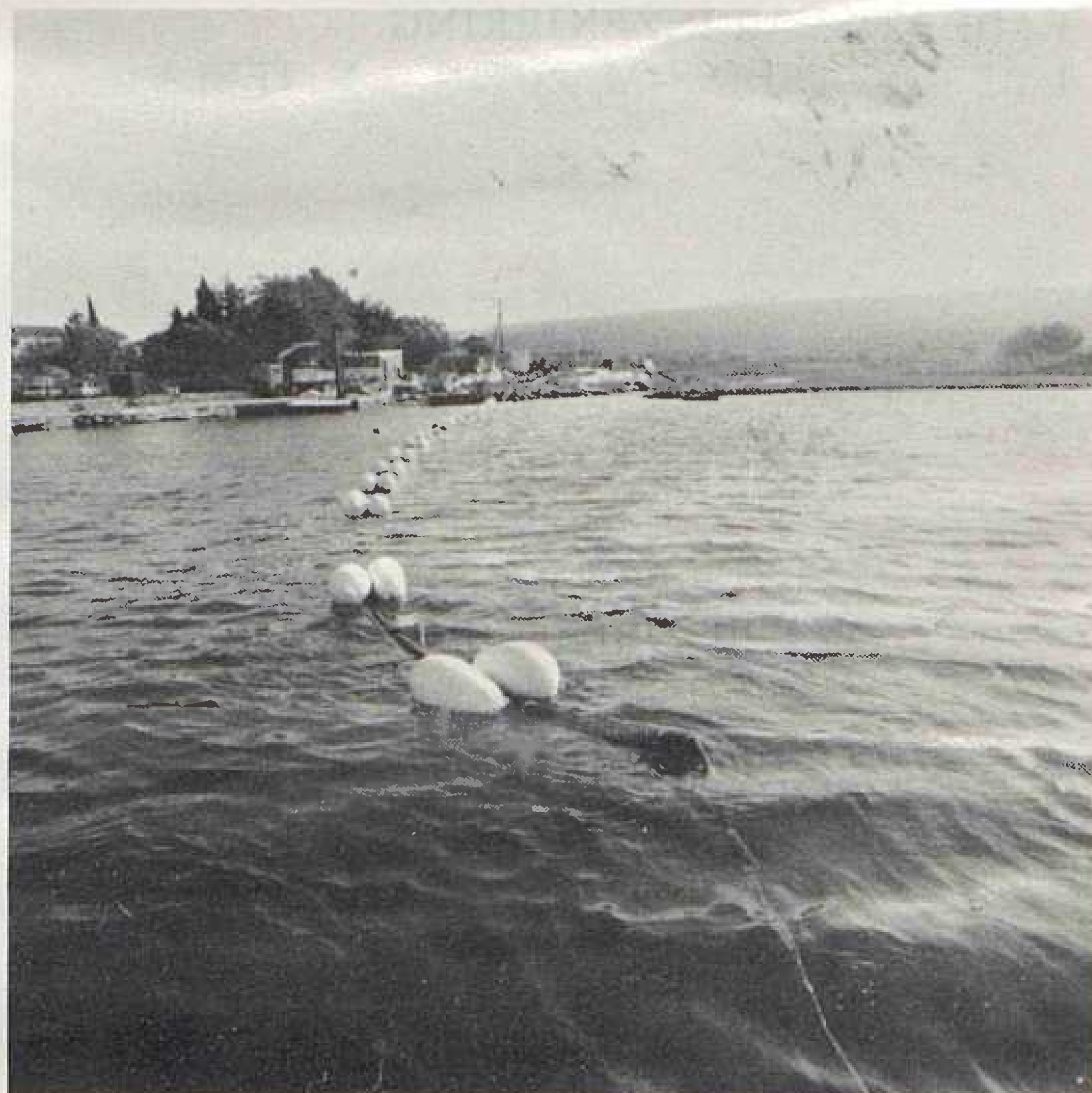
Dr. Zorko Cvetković



**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**